

# **Rehabilitation von Rohrleitungen**

**Sanierung und Erneuerung von Ver- und Entsorgungsnetzen**

Impressum:

Rehabilitation von Rohrleitungen - Sanierung und Erneuerung von Ver- und Entsorgungsnetzen  
ISBN: 978-95773-181-4

Herausgeber:

Weiterbildendes Studium Wasser und Umwelt  
Bauhaus-Universität Weimar  
Coudraystr. 7  
99421 Weimar  
Internet: <http://www.uni-weimar.de/wbbau/>

Bezugsmöglichkeiten:

Bauhaus-Universitätsverlag als Imprint von VDG Weimar  
[www.vdg-weimar.de](http://www.vdg-weimar.de)  
T: 03643-83030  
F: 03643-830313

Weiterbildendes Studium Wasser und Umwelt  
Bauhaus-Universität Weimar  
Coudraystr. 7  
99421 Weimar  
T: 03643-584627  
F: 03643-584637  
[info@bauing.uni-weimar.de](mailto:info@bauing.uni-weimar.de)  
[www.uni-weimar.de/wbbau/](http://www.uni-weimar.de/wbbau/)

Redaktion: Weiterbildendes Studium Wasser und Umwelt  
Satz und Layout: Dipl.-Ing. Roy Holzhey

Druck: Schätzl Druck GmbH & Co. KG, Donauwörth

Kromsdorf, 3. Auflage 2015

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind über <http://d-nb.de> abrufbar.

**BAUHAUS**  
UNIVERSITÄTSVERLAG

# Autorenverzeichnis

**Kapitel 1 – Technische Versorgung und Nutzung des unterirdischen Bauraums**

Prof. Dr.-Ing. habil. H. Roscher, Dr.-Ing. W. Berger, Dr.-Ing. D. Mälzer

**Kapitel 2 – Begriffsbestimmungen der Rehabilitation (Sanierung und Erneuerung)**

Prof. Dr.-Ing. habil. H. Roscher

**Kapitel 3 – Rohrmaterialien und ihre Eigenschaften**

Prof. Dr.-Ing. habil. H. Roscher

**Kapitel 4 – Sanierung und Erneuerung von Wasserversorgungsnetzen**

Prof. Dr.-Ing. habil. H. Roscher

**Kapitel 5 – Sanierung und Erneuerung von Gasrohrnetzen**

Prof. Dr.-Ing. habil. H. Roscher

**Kapitel 6 – Rehabilitationsstrategien**

Prof. Dr.-Ing. habil. H. Roscher, Dipl.-Ing. (FH) M. Beck, Dipl.-Ing. I. Kropp

**Kapitel 7 – Sanierung von Abwasserkanälen und -leitungen**

Prof. Dr.-Ing. B. Bosseler, Dipl.-Ing. B. Diburg

**Kapitel 8 – Rehabilitation von Fernwärmekanälen und -leitungen**

Prof. Dr.-Ing. habil. H. Roscher

entwickelt im Zuge des  
Weiterbildenden Studiums Wasser und Umwelt der  
Bauhaus-Universität Weimar





## Vorwort

Seit der 1. Auflage des Skriptes „Rehabilitation von Rohrleitungen – Sanierung und Erneuerung von Versorgungsnetzen“ und den Nachauflagen in den Jahren 2008 und 2012 haben weitere interessante Entwicklungen auf diesem Gebiet stattgefunden.

Es ist insbesondere festzustellen, dass der Erneuerungsbedarf in den nächsten Jahren und Jahrzehnten anwachsen wird, da nicht nur überalterte Netzteile und Bauwerke erneuert oder saniert werden müssen. Ebenso müssen Rohrleitungen mit unzureichendem Korrosionsschutz oder in steinigem Rohrgräben verlegte Kunststoffrohrleitungen aus den Jahrzehnten nach dem 2. Weltkrieg erneuert werden.

Neue Verfahren und Produkte wurden seither durch die Bauunternehmen und Rohrhersteller entwickelt und haben Eingang in die Baupraxis gefunden. Auch in der Produktnormung und in Richtlinien der Fachverbände gab es ständig Weiterentwicklungen und Neufassungen.

Es war wiederum erforderlich, diese Erkenntnisse und Erfahrungen der Sanierung und Erneuerung in die Neuaufgabe aufzunehmen.

Zu nennen sind folgende Aspekte:

- Weiterentwicklung resistenter Rohrmaterialien für grabenlose Bauverfahren – das betrifft sowohl metallische Rohrmaterialien als auch Kunststoffrohrmaterialien
- die Möglichkeit in größerem Umfang Hausanschlussleitungen grabenlos auszuwechseln oder auch neu einzubauen
- neue Verfahrensvarianten für grabenlose Bauverfahren
- Zulassung des Gewebeslauchverfahrens für Trinkwasserleitungen
- Weiterentwicklung der Sanierungsverfahren von Abwasserleitungen sowie von Schachtsanierungsverfahren usw.

Wesentliche Änderungen werden sich in Zukunft auf dem Gebiet der Gasversorgung ergeben, wobei die Zukunft bereits begonnen hat – Einspeisung von Biogas und anderen Gasen in vorhandene Gasrohrnetze. Regenerative Energiequellen werden bereits vielfach genutzt, allerdings sind es noch Einzelbeispiele. Zu beachten sind dabei vorrangig Sicherheitsaspekte.

Änderungen ergaben sich auch durch die Neufassung auf dem Gebiet des Baumschutzes (GW 125 „Bäume, unterirdische Leitungen und Kanäle“). Grabenlose Leitungserneuerungen eignen sich hervorragend für den Baumschutz.

Dadurch wuchs der Umfang des Manuskriptes und erforderte eine Auswahl in den Textfassungen und dem

verfügbaren Bildmaterial. Neben bereits in den vorangegangenen Auflagen verwendeten Bildmaterials kam neues hinzu.

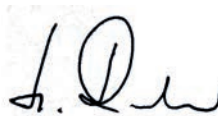
Neu aufgenommen wurde das Gebiet der Fernwärmeversorgung und der Rehabilitation von Kanälen und Schächten. In dieses Kapitel wurde auch die Erneuerung von Rohrleitungen in Sammelkanälen (Wasser- und Fernwärmeleitungen) eingefügt, da diese in den nächsten Jahren ansteht und es dazu bereits erste Projekte realisiert wurden (Beispiele Paris, Frankfurt/Oder und Jena).

Ein eigenständiges Kapitel 6 Rehabilitationsstrategien wurde ebenfalls eingefügt, welches bisher dem Kapitel Wasserversorgung zugeordnet war.

Der Verfasser möchte sich bei den Mitautoren und den Mitarbeitern der Bauhaus-Universität des Weiterbildenden Studiums für die sehr gute Zusammenarbeit recht herzlich bedanken.

Dank gilt auch den beteiligten Bauunternehmen und Firmen

- Duktus Rohrsysteme (Wetzlar)
- Fuchs-Rohre Siegen
- Mannesmann Rohrwerke
- Fachgemeinschaft Gussrohre
- Pro Aqua Stahlrohre
- Kunststoffrohrverband
- Berkel Rohrtechnik GmbH (Gladbeck)
- Pfaffinger Unternehmensgruppe (Berlin)
- Karl Weiss Technologies GmbH (Berlin)
- Gelsenwasser AG
- Diringer & Scheidel Rohrreparatur (München, Mannheim)
- Berliner Wasserbetriebe
- TRACTO-TECHNIK GmbH (Lennestadt)
- Fa. Ludwig Pfeiffer Kassel/Leipzig
- IAB Institut für Angewandte Bauforschung Weimar
- Stadtwerke Jena Anlagenservice GmbH (Herr Kirmse)
- Fa. Wähler Hamburg
- Breternitz Bauunternehmen (Jena)



Im Namen der Verfasser,  
Prof. Dr.- Ing. habil. H. Roscher

Weimar, im Februar 2015



# Inhaltsverzeichnis

	<b>Vorwort</b> .....	III
<b>1</b>	<b>Technische Versorgung und Nutzung des unterirdischen Bauraums</b> .....	1
1.1	Die Technische Versorgung der Städte [Roscher] .....	1
1.1.1	Aufgaben der Technischen Versorgungssysteme .....	1
1.1.1.1	Technische Versorgung als Bestandteil der Technischen Infrastruktur .....	1
1.1.1.2	Nutzung des unterirdischen Bauraums .....	1
1.1.1.3	Daueraufgabe Rehabilitation der technischen Versorgung .....	2
1.1.1.4	Entwicklung grabenloser Bauverfahren .....	2
1.1.2	Zur historischen Entwicklung der Technischen Versorgung [Roscher] .....	3
1.1.2.1	Stadt und Technische Versorgung .....	3
1.1.2.2	Wasserversorgung .....	4
1.1.2.3	Abwasserableitung .....	5
1.1.2.4	Gasversorgung .....	5
1.1.2.5	Fernwärmeversorgung .....	6
1.2	Stadtstraßen und Nutzung des unterirdischen Bauraums .....	7
1.2.1	Versorgungsleitungen im unterirdischen Bauraum .....	7
1.2.2	Ausbildung des Straßenquerschnittes .....	8
1.2.3	Straßenbefestigung .....	9
1.2.4	Baumschutzmaßnahmen und Baumpflanzungen im Bereich von Versorgungsleitungen .....	10
1.2.5	Offene Bauweise und geschlossene Bauweise im Vergleich .....	14
1.2.6	Wiederherstellung von Straßen und Vermeidung von Folgeschäden durch Baugruben bzw. Baugräben bei konventioneller Verlegung von Rohrleitungen .....	18
1.2.6.1	Zur Entstehung von Folgeschäden .....	18
1.2.6.2	Vermeidung von Folgeschäden im Straßenoberbau und an der Straßendecke .....	21
1.2.6.3	Wiederherstellung von Asphaltdecken .....	22
1.2.6.4	Wiederherstellung von Zementbetondecken .....	24
1.2.7	Einsatz von selbstverdichtenden Verfüllmaterialien (SVM) .....	26
1.2.7.1	Einsatz von selbstverdichtenden Verfüllmaterialien zur Vermeidung von Setzungen des Rohrgrabens .....	26
1.2.7.2	Selbstverdichtende Verfüllmaterialien .....	29
1.2.7.3	Besonderheiten der Rohrtragfähigkeitsberechnung bei Einsatz von SVM/ Bodenmörtel .....	33
1.3	Lage der Versorgungsleitungen im Straßenkörper .....	41
1.3.1	Lage und Tiefenlage sind entscheidend für die Rehabilitation .....	41
1.3.2	Einordnung der Leitungen in den unterirdischen Bauraum – Entwicklungs-etappen .....	41
1.3.3	Richtlinie für die Einordnung und Behandlung der Gas-, Wasser-, Kabel- und sonstigen Leitungen bei der Planung öffentlicher Straßen – DIN 1998 Ausgabe 10.31 .....	44
<b>1.A</b>	<b>Zeittafeln zur historischen Entwicklung</b> .....	46
<b>2</b>	<b>Begriffsbestimmungen der Rehabilitation (Sanierung und Erneuerung)</b> .....	53
2.1	Ziele der Rehabilitation .....	53
2.1.1	Rehabilitation als Daueraufgabe .....	53
2.1.2	Wasserversorgung .....	53
2.1.3	Gasversorgung .....	53
2.1.4	Fernwärmeleitungen und -kanäle .....	53
2.1.5	Abwasserableitung .....	54
2.2	Technische und betriebswirtschaftliche Nutzungsdauer .....	54
2.2.1	Einflussfaktoren und Zustandsbeurteilung .....	54
2.2.2	Ursachen von Schäden an Wasserversorgungsnetzen .....	54
2.2.3	Ursachen von Schäden an Gasrohrnetzen .....	55
2.2.4	Ursachen von Schäden Fernwärmeleitungen und -kanälen .....	56
2.2.5	Ursachen von Schäden an Abwassernetzen .....	56
2.3	Sanierungs- oder Erneuerungszeitpunkt .....	56
2.3.1	Wasserversorgung .....	56

2.3.2	Gasversorgung	57
2.3.3	Fernwärmeversorgung	57
2.3.4	Abwasserableitung	57
2.4	Grabenlose Rehabilitationsverfahren	57
2.5	Begriffsbestimmungen nach DIN 31051	58
2.5.1	Begriffsbestimmungen der Instandhaltung von Wasserversorgung	60
2.5.2	Begriffsbestimmungen der Instandhaltung von Gasversorgungsnetzen	60
2.5.3	Begriffsbestimmungen der Instandhaltung von Fernwärmeversorgungsnetzen	61
2.5.4	Begriffsbestimmungen der Instandhaltung von Abwasserleitungen	62
<b>3</b>	<b>Rohrmaterialien und ihre Eigenschaften</b>	<b>63</b>
3.1	Zur Entwicklung der Rohrleitungstechnik in 5 Jahrtausenden [Roscher]	63
3.2	Rohrmaterialien und Herstellung (Produktion und Eigenschaften) [Roscher]	65
3.2.1	Zur Entwicklung der Rohrleitungstechnik für die Wasserversorgung	65
3.2.1.1	Holzrohrleitungen für die mittelalterliche Wasserversorgung	68
3.2.1.2	Gussrohre	69
3.2.1.3	Stahlrohre	72
3.2.1.4	Zementmörtel-Auskleidung von Guss- und Stahlrohren	73
3.2.1.5	Stahlbeton und Spannbetonrohre sowie Betonrohre	75
3.2.1.6	Asbestzementrohrleitungen	76
3.2.1.7	Kunststoffrohre	76
3.2.1.8	Einteilung der Rohrmaterialien nach Generationen	80
3.2.2	Zum Problem der Korrosion und der Alterung	83
3.2.2.1	Das Phänomen der Korrosion	83
3.2.2.2	Korrosion metallischer Rohrleitungen	83
3.2.2.3	Elektrochemisch bedingte Korrosion	84
3.2.2.4	Korrosionsschutz heute	84
3.2.2.5	Graphitierung bei Graugussleitungen	86
3.2.2.6	Korrosion bei Asbestzement- und Betonrohren	86
3.2.2.7	Zeitstandsfestigkeit und Versprödung von Kunststoffrohren aus PE und PVC	86
3.3	Zur Entwicklung der Rohrleitungstechnik für die Gasversorgung [Roscher]	87
3.3.1	Rohrmaterialien und Schlauchliner	87
3.3.2	Leitungsgruppen – Rohrgenerationen	88
3.4	Zur Entwicklung der Rohrleitungstechnik in der Fernwärmeversorgung [Roscher]	88
3.5	Zur Entwicklung der Rohrleitungstechnik für die Abwasserableitung [Roscher]	89
3.5.1	Steinzeugrohre	89
3.5.2	Stahlbeton und Spannbetonrohre sowie Betonrohre	90
3.5.3	Mauerwerkskanäle	90
<b>4</b>	<b>Sanierung und Erneuerung von Wasserversorgungsnetzen</b>	<b>91</b>
4.1	Rohrnetzbestand in Deutschland	91
4.2	Schäden und Schadensursachen, Schadenserfassung und Zustandsbewertung	93
4.2.1	Aufgaben der Schadenserfassung und Zustandsbewertung	93
4.2.2	Vorbemerkungen zur Schadensforschung	93
4.2.3	Ergebnisse der Schadensforschung	93
4.2.4	Alter der Rohrleitungen kein Kriterium für Schäden und Zustand	93
4.3	Die zunehmende Beanspruchung der Rohrleitungen im Straßenraum	94
4.4	Schadenserfassung und Schadensstatistik	96
4.4.1	Ziele und Inhalt der Schadenserfassung	96
4.4.2	Schadensstatistik des DVGW	97
4.4.3	Unternehmensübergreifende Schadensstatistik	97
4.4.4	Instandhaltungsrelevante Daten	97
4.4.5	Datenerfassung, -zuordnung und -speicherung	98
4.4.6	Statistik der Bestands- und Zustandsdaten (Statistische Auswertung)	99
4.4.7	Qualitätssicherung bei der Datenerfassung und -auswertung	100
4.4.8	Nutzen der DVGW-Schadensstatistik Wasser für die Rehabilitationspraxis	100
4.4.9	Schadenserfassung im Unternehmen und Auswertung mit EDV	102
4.4.9.1	Schadenserfassung im Unternehmen und Auswertung mit EDV	102
4.4.9.2	Schadensstatistik als Planungsgrundlage?	102
4.4.9.3	Schadensstatistische Auswertung	104
4.4.9.4	Ergebnisse schadensstatistischer Auswertungen	105
4.5	Wasserverlustermittlung (W392 derzeitige Fassung, W392 liegt im Entwurf vor)	106
4.5.1	Wasserverluste in Trinkwassernetzen – ein Dauerproblem	106
4.5.2	Wasserverluste durch Lochkorrosion bei Längs- und Querrissen	107

4.5.3	Ziele der Wasserverlustermittlung	108
4.5.4	Wassermengenbilanz	108
4.5.5	Bewertung der Wasserverluste	109
4.5.6	Inspektion und Wartung von Ortsnetzen	110
4.5.7	Wasserverlustmessung	110
4.5.7.1	Verfahren der Wasserverlustmessung	110
4.5.7.2	Ermittlung der Wasserverluste durch Zuflussmessung	111
4.5.7.3	Leckortungsmethoden	111
4.6	Beurteilung des Zustandes liegender Rohrleitungen	113
4.6.1	Vorbemerkungen	113
4.6.2	Schadenserkennung und Schadensentstehung	113
4.6.3	Beurteilung des Zustandes liegender Rohrleitungen	114
4.6.4	Durchführung materialtechnischer Untersuchungen im Labor für metallische Rohrleitungen	116
4.6.5	Ziele der materialtechnischen Zustandsbewertung	127
4.6.5.1	Zustandsbeurteilung nach Brussig	127
4.6.5.2	Zustandsbeurteilung nach Böhm	127
4.6.5.3	Materialtechnische Zustandsbewertung nach Sorge	128
4.7	Planung der Rehabilitation	132
4.7.1	Ziele der Instandhaltung von Trinkwasserrohrnetzen	132
4.7.2	Rehabilitationsstrategie	132
4.7.3	Ziele der Instandhaltung von Trinkwasserrohrnetzen	133
4.7.3.1	Planung und Durchführung der Rehabilitation	133
4.7.3.2	Unterlagen für die Netzanalyse	133
4.7.3.3	Bildung von Leitungsgruppen	133
4.7.4	Zustandsorientierte Instandhaltungsstrategie	133
4.7.5	Optimale Rehabilitationsstrategie	133
4.7.6	Flächenhafte Rehabilitation	135
4.7.6.1	Beispiele flächenhafter Rehabilitation	135
4.7.6.2	Vorteile der flächenhaften Rehabilitation - Untersuchungsergebnisse Erfurt	135
4.7.6.3	Synergieeffekte Flächenhafte Rehabilitation	138
4.7.7	Effektivität von Instandhaltungsmaßnahmen	139
4.8	Vorbereitungsarbeiten zur Durchführung von Rehabilitationsmaßnahmen	140
4.8.1	Zur Entwicklung der Rehabilitationsverfahren	140
4.8.2	Auswahl des geeigneten Verfahrens	142
4.8.3	Reparatur – sofortige Beseitigung von Rohrschäden	142
4.8.4	Vorbereitung der Rehabilitationsmaßnahmen	144
4.8.4.1	Bauablauf	144
4.8.4.2	Sicherung von Baustellen auf öffentlichen Grundstücken	144
4.8.4.3	Ersatzversorgung	145
4.8.5	Rohrreinigung in Abhängigkeit vom Sanierungsverfahren	147
4.8.5.1	Verfahrensbedingte Anforderungen	147
4.8.5.2	Verfahren der Rohrreinigung	147
4.8.5.3	TV-Inspektion und Videoaufzeichnungen	148
4.8.6	Untersuchungen zur Wirtschaftlichkeit grabenloser Rohrverlegung	149
4.9	Rehabilitationsverfahren	151
4.9.1	Zementmörtelauskleidung	151
4.9.1.1	Merkmale des Verfahrens und Zustand des Altröhres	151
4.9.1.2	Arbeitsablauf und Anforderungen an das ausführende Fachunternehmen	151
4.9.1.3	Verfahrensdurchführung	151
4.9.1.4	Anforderungen an die eingesetzten Materialien und den Festmörtel	152
4.9.1.5	Eignungsprüfung, Güteprüfung, Ausgangsstoffe	153
4.9.1.6	Beschaffenheit der Auskleidung	153
4.9.1.7	Wiederinbetriebnahme	153
4.9.1.8	Schutzwirkung des Zementmörtels	154
4.9.1.9	Einsatzbereiche der Zementmörtelauskleidung	154
4.9.1.10	Kontrolle und Gütesicherung	156
4.9.2	Gewebeschlachrelining-Verfahren nach GW 327 für Gas- und Wasserrohrleitungen mit Verklebung des Inliners	156
4.9.2.1	Merkmale des Verfahrens	156
4.9.2.2	Verfahrensbeschreibung	156
4.9.2.3	Materialien und Auskleidung	157
4.9.2.4	Hausanschlüsse, Inbetriebnahme und Nachweise	157
4.9.2.5	Verfahrensvarianten (SANFLEX, Process Phoenix, starline)	158



4.9.2.6	Prüfgrundlagen des Gewebeschlauch-Verfahrens bei Wasserrohrleitungen (auszugsweise aus W 330 (P))	165
4.9.3	Rohrstrang-Relining mit Ringraum nach GW 320-1 (Erneuerung von Gas- und Wasserrohrleitungen durch Rohreinzug oder Rohreinschub)	166
4.9.3.1	Merkmale des Verfahrens	166
4.9.3.2	Rohrstrang-Relining mit PE-Rohren (PE 80, PE 100) bzw. PE-Xa-Rohren	167
4.9.3.3	Relining mit Stahl- und duktilen Gussrohren	171
4.9.3.4	Rohrstrang-Relining mit Verformung nach GW 320-2	174
4.9.4	Grabenlose Auswechslungen von Gas- und Wasserrohrleitungen mit Press-/Ziehverfahren und Hilfsrohrverfahren (GW 322-1 und GW 322-2)	177
4.9.4.1	Verfahrensentwicklung aufgrund des Berliner Straßengesetzes	177
4.9.4.2	Verfahrensbeschreibung	177
4.9.4.3	Press- und Ziehverfahren für Haupt- und Versorgungsleitungen nach GW 322	177
4.9.4.4	Anforderungen an die Fachunternehmen	178
4.9.4.5	Anforderungen an das Rohrmaterial	178
4.9.4.6	Vorbereitende Arbeiten und Ausführung	179
4.9.4.7	Press-/Ziehverfahren -hydros	180
4.9.4.8	Hilfsrohrverfahren Verfahrensbeschreibung	184
4.9.4.9	Rohre und Rohrverbindungen für Press-/Ziehverfahren und Hilfsrohrverfahren	186
4.9.4.10	Bodenarten	187
4.9.4.11	Auswechsellängen	187
4.9.4.12	Verfahrenstechnische Gütesicherung bei der Durchführung	188
4.9.4.13	Dokumentation und Rückverfolgbarkeit	188
4.9.5	Berstliningverfahren	189
4.9.5.1	Zur Verfahrensentwicklung	189
4.9.5.2	Dynamisches Berstliningverfahren	189
4.9.5.3	Statisches Berstlining mit Schnellklinkengestänge	189
4.9.6	Abbruch-, Sanierungs- und Instandhaltungsarbeiten an Wasserrohrleitungen mit asbesthaltigen Bauteilen und Beschichtungen	194
4.9.6.1	Gefahrenstoffverordnung	194
4.9.6.2	Meldepflichten und Gefährdungsbeurteilung	194
4.9.6.3	Leitung und Beaufsichtigung der Arbeiten durch Sachkundige und Durchführung durch fachkundiges Personal	194
4.9.6.4	Sicherheitstechnische Maßnahmen (Geprüfte Arbeitsverfahren)	194
4.9.6.5	Arbeitsmedizinische Vorsorge	195
4.9.6.6	Gefahrstoffgerechte Entsorgung asbesthaltiger Teile	195
4.9.7	Steuerbarer grabenloser Vortrieb	195
4.9.8	Rehabilitationsverfahren Hausanschlussleitungen nach GW 325 und [Rameil und Naujoks, 2006]	197
4.9.8.1	Zur Lage der Hausanschlussleitungen und den früher eingesetzten Rohrmaterialien	197
4.9.8.2	Verfahren zur Auswechslung von Hausanschlussleitungen	197
4.9.8.3	Bestandsaufnahme, Auswahl und Anwendung des Verfahrens (nach GW 325)	198
4.9.8.4	Produktrohre und Verbindungen	198
4.9.8.5	Bettung und Überwachung der Zugspannungen	198
4.9.8.6	Baugruben und Hausein-/Mauerdurchführung, Außerbetriebnahme, Leitungstrennung und -ersatzversorgung	199
4.9.8.7	Verfahren nach GW 325	199
4.9.9	Straßen-Folgeschäden im Bereich der Hausanschlussgruben	201
4.9.10	Bohrloch-Verfahren (Keyhole-Bohrtechnik) [Roscher et al., 2012]	201
4.10	Fernwasserversorgungssysteme	205
4.10.1	Zum Bau von Fernwassersystemen in Deutschland	205
4.10.2	Zum Einsatz von Rohrmaterialien	206
4.10.2.1	Kriterien für die Auswahl der Rohrwerkstoffe	206
4.10.2.2	Zum Einsatz von Grauguss-, Duktulguss- und Stahlrohren	206
4.10.2.3	Zum Einsatz von Spannbetonrohren und Stollen	206
4.10.2.4	Inspektion, Wartung und Betriebsüberwachung von Fernwasserverteilungsanlagen [DVGW, 2011a]	207
4.10.3	Rohrleitungsschäden	207
4.10.4	Inspektion und Wartung von Rohrleitungen	209
4.10.5	Wasserqualität	209
4.10.6	Rehabilitation von Fernwasserleitungen - Beispiele	209
4.10.6.1	Rehabilitation mit Hilfe von Interimsleitungen [Gernke und Rink, 2009]	209
4.10.6.2	Zementmörtelauskleidung [Berkel, 2012]	210

4.10.6.3	Reliningverfahren mit duktilen Gussrohren [Haupt, 2008a], [Haupt, 2008b] . . . . .	211
4.10.6.4	Großrohrsanierung von Trinkwasserleitungen mit Kunststoffrohren bzw. -auskleidungen [Meyer, 2012] . . . . .	213
<b>5</b>	<b>Sanierung und Erneuerung von Gasrohrnetzen</b> . . . . .	<b>215</b>
5.1	Zur Entwicklung der Gasversorgung in Deutschland . . . . .	215
5.1.1	Erdgaseinsatz und Rehabilitation der Gasrohrnetze [Cerbe, 1999] . . . . .	215
5.1.2	Rohrmaterialien und Schlauchliner [Cerbe, 1999], [Hüning und Homann, 1997], [DVGW, 1999a] . . . . .	215
5.1.3	Sonderprogramm Grauguss . . . . .	216
5.1.4	Sicherheit und Risikobewertung im Gasfach . . . . .	217
5.1.4.1	Sicherheit im Gasfach . . . . .	217
5.1.4.2	Zur Definition Schaden . . . . .	217
5.1.4.3	Zur Definition Risiko . . . . .	218
5.2	Netz- und Schadensstatistik als Grundlage für Instandhaltungsstrategien . . . . .	218
5.2.1	Die Neufassung des Arbeitsblattes G 402 (A) . . . . .	218
5.2.2	Begriffe, Symbole, Einheiten und Abkürzungen . . . . .	218
5.2.3	Grundsätze der Instandhaltung für Gasverteilungsnetze . . . . .	219
5.2.4	Instandhaltungsrelevante Daten . . . . .	219
5.2.5	Aufbereitung der Schadens- und Zustandsdaten . . . . .	221
5.2.6	Leistungsgruppen . . . . .	221
5.3	Grundsätze der Instandhaltung von Gasverteilungsnetzen . . . . .	222
5.3.1	Instandhaltungsstrategien . . . . .	222
5.3.1.1	Langfristige Instandhaltungsstrategie . . . . .	222
5.3.1.2	Mittelfristige Instandhaltungsplanung . . . . .	222
5.3.1.3	Kurzfristige Instandhaltungsmaßnahmen . . . . .	223
5.3.1.4	Folgen unzureichender Instandhaltung . . . . .	223
5.4	Schadens Erfassung und Überprüfung nach G 465-1 . . . . .	223
5.4.1	Überprüfung von Gasrohrnetzen mit einem Betriebsdruck bis 4 bar . . . . .	223
5.4.2	Beurteilung nach GW 465-2 . . . . .	224
5.4.2.1	Ursachen von Leckstellen . . . . .	224
5.4.2.2	Einflussgrößen auf die Gasausbreitung . . . . .	224
5.4.2.3	Leckgröße, Leckmenge und Leckklassifikation . . . . .	225
5.5	Leckortung [Hüning und Homann, 1997] . . . . .	226
5.5.1	Die Anfänge der Leckortung . . . . .	226
5.5.2	Heutige Gasspürtechnik . . . . .	226
5.5.3	Austritt größerer Gasmengen unter dichten Oberflächen . . . . .	226
5.5.4	Gasaustritt bei gestörtem Erdreich und Rissen in der Oberfläche . . . . .	227
5.6	Rehabilitationsverfahren . . . . .	227
5.6.1	Zur Entwicklung der Dichtungs- und Rehabilitationsverfahren . . . . .	227
5.6.2	Dichtungsverfahren . . . . .	227
5.6.3	Entwicklung der grabenlosen Sanierungs- und Erneuerungsverfahren . . . . .	228
5.6.4	Reparatur- und Instandsetzungsverfahren . . . . .	229
5.6.5	Sicheres Arbeiten an Gasleitungen [Stevens et al., 2003], [Woborschil, 2008] . . . . .	230
5.6.6	Einsatz von Absperrblasen . . . . .	232
5.6.7	Gewebeschlauchrelining-Verfahren nach GW 327 für Gas- und Wasserrohr- leitungen mit Verklebung des Inliners . . . . .	233
5.6.8	PE-Relining . . . . .	233
5.6.9	Rohrstrang-Relining mit Ringraum nach GW 320-1 . . . . .	233
5.6.9.1	Anforderungen an die Fachunternehmen . . . . .	233
5.6.9.2	Anforderungen an das Rohrmaterial und das Verfüllmaterial . . . . .	233
5.6.9.3	Vorbereitende Arbeiten . . . . .	233
5.6.9.4	Einbau . . . . .	235
5.6.9.5	Netzeinbindung, Abzweige, Anschlussleitungen . . . . .	236
5.6.9.6	Dokumentation und Druckprüfung . . . . .	236
5.6.10	PE-Relining ohne Ringraum - U-Liner-Verfahren . . . . .	236
5.6.10.1	Zur Verfahrensentwicklung und Anwendung . . . . .	236
5.6.10.2	Das U-Liner-Verfahren . . . . .	236
5.6.10.3	Berstlining . . . . .	238
5.6.11	Trennen und Anschluss von Rohrleitungen . . . . .	240
5.6.11.1	Trennen und Anschluss von Rohrleitungen bei der Rehabilitation nach G 465-2 . . . . .	240
5.6.11.2	Durchführung der Arbeiten . . . . .	240

<b>6</b>	<b>Rehabilitationsstrategien</b> .....	241
6.1	Risikobasierte Budgetierung von Instandhaltungsmaßnahmen für Wasser- und Gasnetze (auszugsweise aus [Kornatz, 2008]) .....	241
6.1.1	Risikomanagement als Bestandteil der Unternehmensführung .....	241
6.1.1.1	Risikobasierte Budgetierung .....	241
6.1.1.2	Water Safety Plans - Trinkwassersicherheitskonzept .....	241
6.2	Optimierung von Versorgungsnetzen der Wasser- und Gasversorgung .....	242
6.2.1	Erarbeitung einer Rehabilitationsstrategie für Druckrohrleitungen .....	242
6.2.1.1	Bewertung von Druckrohrnetzen mit OptNet® [Ahrens, 2008] .....	242
6.2.1.2	Zielsetzung der Erneuerungsplanung von Wasserversorgungsnetzen (Fichtener Asset Services & Technologies) .....	242
6.2.1.3	Erhaltung und Erneuerung von Druckrohrnetzen der Wasserversorgung .....	243
6.2.1.4	Umsetzung der Asset Strategie DVWG W 403/ISO 55000 .....	244
6.2.1.5	Integriertes Asset Management .....	246
6.2.1.6	Optimierter Vorschlag für die Erneuerungsstrategie .....	248
6.2.1.7	Grundlagen .....	248
6.2.1.8	Informationsbedarf zur Bewertung der Netze .....	251
6.2.1.9	Hydraulische Rohrnetzberechnung .....	255
6.2.1.10	Zustand .....	257
6.2.1.11	Kosten .....	261
6.2.1.12	Übliche Nutzungsdauern .....	262
6.2.1.13	Optimale Gestaltung des Netzes .....	263
6.2.1.14	Durchmesseroptimierung .....	264
6.2.1.15	Entwicklung der Rehabilitationsstrategie .....	266
6.2.1.16	Bestimmung der notwendigen Rehabilitationsrate .....	266
6.2.1.17	Entwicklung des Abnutzungsvorrates und der Schadensrate .....	268
6.2.1.18	Maßnahmenplanung .....	269
6.2.1.19	Aufwand und Nutzen der Rehabilitation .....	270
6.3	EDV-gestützte Rehabilitationsplanung mit KANEW .....	271
6.3.1	Zielstellung des EDV-Programms KANEW .....	271
6.3.2	Planungssoftware KANEW .....	271
6.3.3	Historie und Erstanwendungen .....	271
6.3.4	Anwendung des EDV-Programms KANEW .....	272
6.3.4.1	Asset Management Framework .....	272
6.3.4.2	Strategien der Instandhaltung .....	272
6.3.4.3	Der KANEW Analyserahmen .....	272
6.3.4.4	Zustandsanalyse und Bewertung .....	273
6.3.4.5	Bedarfsprognose und Strategie .....	274
6.3.4.6	Prioritäten bei der Netzerneuerung .....	276
6.3.4.7	Controlling mit Hilfe von Kennzahlen .....	277
6.3.4.8	Datenaustausch .....	277
6.3.4.9	(Mindest-) Datenanforderungen .....	277
<b>7</b>	<b>Sanierung von Abwasserkanälen und -leitungen</b> .....	279
7.1	Anforderungen an die Sanierung .....	279
7.1.1	Allgemeines .....	279
7.1.2	Schäden, Schadensursachen, Schadensfolgen .....	279
7.1.2.1	Abnutzungsvorrat und Qualitätsverlauf .....	279
7.1.2.2	Ursachen und Folgen baulicher Schäden .....	281
7.1.2.3	Schadensbeispiel Wurzeleinwuchs .....	282
7.1.2.4	Praxisbeispiel Zustandsbildkatalog Abwasserschächte .....	282
7.1.3	Anforderungen .....	283
7.1.3.1	Funktionalanforderungen .....	283
7.1.3.2	Leistungsanforderungen .....	283
7.1.3.3	Normung, Richtlinien und Zulassungen .....	285
7.1.4	Praxisbeispiel IKT-Warentest .....	287
7.2	Zustandserfassung, -klassifizierung und -bewertung .....	287
7.2.1	Zustandserfassung .....	288
7.2.2	Zustandsklassifizierung und -bewertung .....	288
7.2.3	Praxisbeispiel: Inspektion teilgefüllter Kanäle .....	289
7.2.4	Grenzen der optischen Inspektion .....	291
7.2.5	Perspektiven: Erfassung und Bewertung des Rohr-Boden-Systems .....	292
7.3	Planung der Sanierung .....	292
7.4	Technische Sanierungsansätze .....	293
7.4.1	Erarbeitung ganzheitlicher Lösungen .....	293



7.4.2	Hydraulische Sanierung .....	293
7.4.3	Umweltrelevante Sanierung .....	294
7.4.4	Bauliche Lösungen .....	294
7.4.5	Betriebliche Lösungen .....	295
7.5	Reparatur .....	295
7.5.1	Einteilung der Verfahren .....	295
7.5.2	Innenmanschetten in nicht begehbaren Kanälen .....	296
7.5.2.1	Verfahrensmöglichkeiten .....	296
7.5.2.2	Örtlich erhärtende, reaktionsharzgetränkte Gewebemanschetten .....	296
7.5.3	Injektionsverfahren – Allgemeines .....	297
7.5.3.1	Injektionsmittel .....	297
7.5.3.2	Wirkung der Injektionsmittel auf das Grundwasser .....	298
7.5.4	Injektion von Außen .....	298
7.5.5	Injektion von Innen .....	299
7.5.5.1	Boden- und/oder Hohlrauminjektion .....	299
7.5.5.2	Rissinjektion .....	300
7.5.5.3	Injektion von Rohrverbindungen .....	300
7.5.6	Verfahren zur Abdichtung von Kanalabschnitten .....	302
7.5.7	Praxisbeispiel Sanierung von Anschlussstutzen .....	302
7.5.7.1	Schäden .....	302
7.5.7.2	Reparatur .....	302
7.6	Renovierung .....	304
7.6.1	Beschichtungsverfahren .....	304
7.6.1.1	Mörtelbeschichtung .....	304
7.6.1.2	Polyurethanbeschichtung .....	306
7.6.1.3	Verfahrenstechniken .....	306
7.6.2	Auskleidung von Kanälen – Verfahren und Anforderungen .....	308
7.6.2.1	Einteilung der Auskleidungsverfahren – Begriffsdefinition .....	308
7.6.2.2	Anforderungen .....	309
7.6.2.3	Auskleidung mit montierten Einzelelementen .....	310
7.6.2.4	Auskleidung mit Rohren .....	311
7.6.3	Rohrrelining – Auskleidung mit vorgefertigten Rohren .....	311
7.6.3.1	Konventionelle Rohrstrangverfahren .....	312
7.6.3.2	Weiterentwickelte Rohrstrangverfahren .....	313
7.6.3.3	Einzelrohr-Lining .....	316
7.6.4	Wickelrohrverfahren – Auskleidung mit örtlich hergestellten Rohren .....	317
7.6.5	Schlauchverfahren – Auskleidung mit örtlich hergestellten und erhärtenden Rohren .....	318
7.7	Erneuerung .....	322
7.7.1	Notwendigkeit und Umsetzung der Erneuerung .....	322
7.7.2	Erneuerung in geschlossener Bauweise .....	322
7.7.2.1	Überfahren .....	322
7.7.2.2	Berstverfahren .....	323
7.8	Auswahlkriterien für Verfahren zur baulichen Sanierung .....	324
7.8.1	Entscheidungsprozess zur Verfahrensauswahl .....	324
7.8.2	Reparatur – Renovierung – Erneuerung .....	325
7.8.3	Auswahlkriterien Wirtschaftlichkeit und Lebenszyklus .....	326
<b>8</b>	<b>Rehabilitation von Fernwärmekanaln und -leitungen .....</b>	<b>329</b>
8.1	Historische Entwicklung der Fernwärmeversorgung [Brockhaus, 1901-1904], [Schiller, o.J.], [Bärthel, 1975c], [Bärthel, 1975b], [Geier, 1978] .....	329
8.2	Historische Fernwärmekanaln und Bauweisen .....	331
8.3	Grundlagen der zentralen Wärmeversorgung (Lindner/Roscher in [Roscher, 1989]) .....	332
8.3.1	Bestandteile der zentralen Wärmeversorgung .....	332
8.3.2	Zustandsgrößen und Eigenschaften des Wärmeträgers .....	332
8.3.3	Wärmeerzeugungsanlagen .....	332
8.3.3.1	Heizkraftwerke .....	332
8.3.3.2	Heizwerke .....	332
8.3.3.3	Industriebetriebe mit Hochtemperaturprozessen (Metallurgie, Chemie u.a.) .....	332
8.3.3.4	Insel- bzw. Verbundbetrieb, regionaler Betrieb .....	332
8.3.3.5	Nutzung von Geothermalenergie (Sonderform - keine Wärmeerzeugung) .....	333
8.3.3.6	Nutzung der Rücklaufenthalpie (Sonderform - keine Wärmeerzeugung) .....	333
8.3.3.7	Heißwasserspeicher (Sonderform- keine Wärmeerzeugung) .....	333

8.4	Wärmetransportsysteme (Lindner/Roscher in [Roscher, 1989])	333
8.4.1	Netzformen	333
8.4.2	Anschlussarten der Abnehmer	333
8.4.2.1	Wärmeträger Heißwasser	333
8.4.2.2	Wärmeträger Dampf	335
8.4.2.3	Transportsysteme und Verlegeverfahren	335
8.4.2.4	Abzweigstationen	336
8.5	Bauweisen von Fernwärmeleitungen	337
8.5.1	Einteilung der Verlegeverfahren	337
8.5.2	Fernwärmekanäle in Fertigteilbauweise	337
8.5.3	Fernwärmeleitungen in Sammelkanälen und Leitungsgängen	339
8.5.4	Kanalfrei verlegte Fernwärmeleitungen	341
8.5.5	Fernwärmeleitungen auf Sockeln und Stützen	345
8.6	Schadensursachen	346
8.6.1	Schäden an Fernwärmekanälen und Fernwärmeleitungen	346
8.6.2	Schäden an kanalfrei verlegten Fernwärmeleitungen	346
8.6.3	Schäden an Sockel- und Stützenleitungen	347
8.6.4	Schäden an Fernwärmeleitungen in Sammelkanälen bzw. Leitungsgängen	347
8.6.5	Schadensuntersuchungen von Fernwärmeleitungen in Kanalstrecken	347
8.6.5.1	Untersuchung des Kanalzustandes und des Zustandes der Isolierung vom Fernwärmeleitungen mit der Kanalraupe (Teleraupe)	347
8.6.5.2	Schadensuntersuchungen mit Hilfe der Thermographie	348
8.6.5.3	Leckerkennung in Kanälen	349
8.6.6	Schadensuntersuchungen an kanalfrei verlegten von Fernwärmeleitungen	349
8.6.7	Schadensuntersuchungen von Fernwärmeleitungen in Sammelkanälen und Leitungsgängen	349
8.6.8	Schadensuntersuchungen von Fernwärmeleitungen auf Sockeln und Stützen	349
8.7	Rehabilitationsstrategie (AGFW FW 114 Entwurf auszugsweise)	349
8.7.1	Begriffe und Definitionen der Rehabilitation	349
8.7.2	Abschätzung der technischen Nutzungsdauer	350
8.7.3	Grundstrategien der Instandhaltung	351
8.7.3.1	Ereignisorientierte Instandhaltung	351
8.7.3.2	Zeitorientierte Instandhaltung	351
8.7.3.3	Zustandsorientierte Instandhaltung	351
8.7.3.4	Risikoorientierte Instandhaltung	351
8.7.4	Ermittlung des Erneuerungsbedarfs	351
8.8	Instandsetzung und Rehabilitationsmaßnahmen von Fernwärmeleitungen	352
8.8.1	Betriebsstörungen und Schäden	352
8.8.2	Abschätzung der technischen Nutzungsdauer	352
8.8.3	Rehabilitationsmaßnahmen von kanalverlegten Strecken	352
8.8.4	Rehabilitationsmaßnahmen von kanalfrei verlegten Strecken	353
8.8.5	Rehabilitationsmaßnahmen von Fernwärmeleitungen in Sammelkanälen und Leitungsgängen	353
8.9	Begriffsbestimmung Sammelkanäle	354
8.9.1	Einbau neuer Gussrohre unter dem Champs-E`lyse`es in Paris [Planel, 2014]	354
8.9.2	Erneuerung einer Trinkwasserleitung DN 300 in einem Sammelkanal [Schneider und Rau, 2010]	355
8.9.3	Neue Duktulgussrohrleitungen im Sammelkanal Frankfurt/Oder [Rau, 2014]	356
8.9.4	Betoninstandsetzung und Dichtungsarbeiten in Sammelkanälen [Breternitz GmbH, o.J.]	357
	<b>Literaturverzeichnis</b>	359
	<b>Glossar</b>	377
	<b>Gesetze und Richtlinien</b>	399
	<b>Abkürzungsverzeichnis</b>	400
	<b>Stichwortverzeichnis</b>	401

# 1 Technische Versorgung und Nutzung des unterirdischen Bauraums

Prof. Dr.-Ing. habil. H. Roscher, Dr.-Ing. W. Berger, Dr.-Ing. D. Mälzer

## 1.1 Die Technische Versorgung der Städte [Roscher]

Prof. Dr.-Ing. habil H. Roscher

### 1.1.1 Aufgaben der Technischen Versorgungssysteme

#### 1.1.1.1 Technische Versorgung als Bestandteil der Technischen Infrastruktur

Die heutigen rohrleitungsgebundenen (stadt-) **Technischen Versorgungssysteme** entstanden mit der industriellen Entwicklung im 19. Jahrhundert und wurden im 20. Jahrhundert innerhalb der Städte ausgebaut. Hinzu kamen außerdem im 20. Jahrhundert Fernversorgungssysteme der Wasser- und Gasversorgung sowie städtische Fernwärmesysteme. Vereinzelt wurden auch Müll-transportssysteme und Fernkälteanlage gebaut.

Sie sind gemeinsam mit dem Verkehrswesen Bestandteile der technischen Infrastruktur der Territorien und gleichzeitig Teilbereiche der Wasserwirtschaft, der Energie- und Brennstoffwirtschaft, des Informationswesens und der Kommunalwirtschaft.<sup>1</sup>

Stadttechnische Versorgungssysteme dienen der technischen Versorgung von Städten und Siedlungen. Sie schaffen die Voraussetzungen für ihre Funktionsfähigkeit und ermöglichen städtisches Leben – daraus abgeleitet wird auch der Begriff Stadttechnik<sup>2</sup> verwendet.

Die stadttechnischen Systeme der Wasser- und Energieversorgung, der Abwasserableitung und -behandlung, der Informationsübertragung sowie der Müll- und Abfallbeseitigung der Städte und Territorien mit den dazugehörigen Anlagen und Bauwerken bestehen aus:

- Gewinnungs-, Erzeugungs-, Aufbereitungs-, Umform- und Behandlungsanlagen
- Rohr- und Kabelnetzen sowie Freileitungen
- Bauwerken und Stationen.

Sie stellen einerseits in sich geschlossene, selbständige Systeme dar, andererseits ist jedoch aus Wirtschaftlichkeitserwägungen die gemeinsame Verlegung möglichst vieler Versorgungssysteme in gemeinsamen Gräben z.B. Gas und Wasserrohrleitungen oder Kabeltrassen der Energieversorgung und des Fernmeldewesens (bei

annähernd gleicher Tiefenlage oder in Sammelkanälen (auch als Infrastrukturkanal, Leitungsgang bezeichnet) anzustreben.

### 1.1.1.2 Nutzung des unterirdischen Bauraums

Technische Versorgungssysteme (stadttechnische Systeme) befinden sich überwiegend im **unterirdischen Bauraum** der Straßen. Dieser wird jedoch in zunehmendem Maße auch von anderen Nutzern beansprucht – von mehrgeschossigen Anlagen für den fließenden und ruhenden Verkehr, Tiefgeschossen von Kaufhäusern, Banken usw.

Die unterirdischen Straßenräume sind durch die vorangegangene Entwicklung intensiv belegt mit Versorgungsleitungen (nachfolgend wird grundsätzlich von Versorgungsleitungen gesprochen, auch wenn es sich um Abwasserleitungen also die Ableitung von gebrauchtem Wasser handelt und dafür z.T. der missverständliche Begriff Entsorgung benutzt wird).

Die stadttechnischen Versorgungssysteme stehen in engem Zusammenhang mit der Stadtstruktur, den zu versorgenden Objekten, den Geländebedingungen und anderen Standortfaktoren.

Die Erweiterung der Städte in West- und Ostdeutschland in der Zeit von 1945 bis 1990 durch die zahllosen Ein- und Zweifamilienhaussiedlungen sowie Gewerbegebiete in Stadtrandlage haben zu einem Rückgang der Bevölkerungszahlen in den Innenstädten und zu einer Erweiterung der Netze der technischen Versorgung (Zunahme der Netzlänge pro Einwohner) geführt.

Weitere Faktoren wirken auf die Technische Versorgung, wie die Zunahme der befestigten Flächen durch den ruhenden Verkehr und die Erhöhung der Regenwasserabflussmengen.

Weiterhin müssen Gesichtspunkte des rückgehenden Wasserverbrauchs und zunehmenden Energieverbrauchs (insbesondere Gas und Elektroenergie) bei der Neudimensionierung von Versorgungsnetzen berücksichtigt werden. Ebenso müssen auch die Sicherung des Löschwasserbedarfs und der Austausch nicht mehr zeitgemäßer Armaturen sowie die Anordnung der Armatu-

<sup>1</sup> Technische Infrastruktur - die materielle Infrastruktur umfasst die Gesamtheit der staatlichen und privaten Einrichtungen, die für eine ausreichende Daseinsfürsorge und die wirtschaftliche Entwicklung eines Raumes erforderlich sind und gliedert sich in **technische** Infrastruktur (Einrichtungen des Verkehrs- und Nachrichtenwesens, der Energie- und Wasserversorgung sowie der Entsorgung von Abfallstoffen) und **soziale** Infrastruktur... [Brockhaus, 1986 - 1994]

<sup>2</sup> Der Begriff Stadttechnik wurde erstmalig von Pfeiffer [Pfeiffer, 1937] in „Technik der Stadt“ gebraucht: „Aber wer nicht selbst mir der technischen Betrieben geschäftlich oder beruflich zu tun hat, weiß wenig von der Technik, die ihm während des ganzen Tages betreut, und übersieht die Lebensnotwendigkeit der Stadt. Im Einzelnen mag er sie erkennen, ihren Zusammenhang begreift er schlecht. Er sieht das Regenwasser auf die Straßen stürzen und im Gully verschwinden, weiß aber schon nicht mehr wohin es fließt. So ergeht es dem Städter mit allen anderen Elementen seiner Stadttechnik, die für ihn nur gewinnen, sofern es sie unmittelbar berührt, oder wo sie fehlen, wenn sie versagen.“

ren nach heutigen Gesichtspunkten beachtet werden - d.h. die bestehenden Netzteile können nicht einfach nur ersetzt werden, erforderlich sind **stadttechnische Versorgungssysteme für das 21. Jahrhundert**.

### 1.1.1.3 Daueraufgabe Rehabilitation der technischen Versorgung

Die Netze der Technischen Versorgung sind in den Innenstädten auf Grund ihrer Entstehungsgeschichte zum Teil mehr als 100 Jahre alt und bestehen zum Teil noch aus Rohrmaterialien und Armaturen, die heute nicht mehr zum Einsatz kommen bzw. aufgrund ihres Zustandes saniert werden müssen.

Daraus resultiert für die Versorgungsunternehmen die Aufgabe der Rehabilitation ihrer Netze, d.h. deren Sanierung oder Erneuerung, so dass zusammenfassend festzustellen ist:

- Das 19. Jahrhundert war das Jahrhundert der Entstehung moderner Infrastruktursysteme.
- Das 20. Jahrhundert war das Jahrhundert des Ausbaus und Wachstums der Infrastruktursysteme der Städte und der Regionalisierung von Infrastruktursystemen (Fernversorgung) der Gas- und Wasserversorgung, der Elektroenergieversorgung, der Informationsanlagen und von Produktenleitungen unterschiedlicher Art.
- **Das 21. Jahrhundert ist das Jahrhundert der Rehabilitation (Sanierung und Erneuerung)**

### der rohrleitungsgebundener Infrastruktursysteme [Roscher, o.J.b].

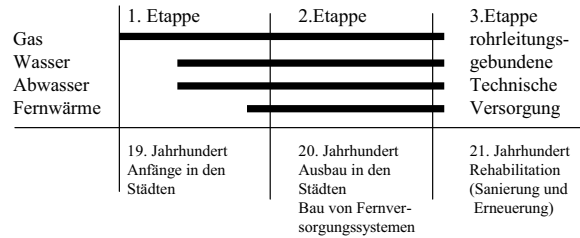
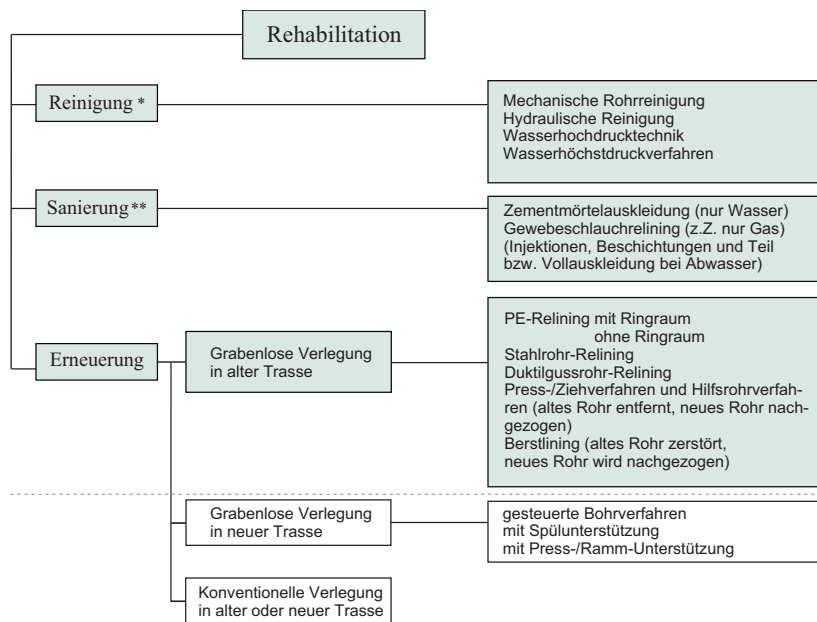


Abb. 1.1: Etappen der Entwicklung der rohrleitungsgebundenen Technischen Versorgung

### 1.1.1.4 Entwicklung grabenloser Bauverfahren

Die Entwicklung **gabenloser Bauverfahren** in den letzten 3 Jahrzehnten ist für die Sanierung und Erneuerung der Versorgungsnetze von besonderer Bedeutung, da die **Straßen im 21. Jahrhundert nicht noch einmal „aufgegraben“** werden sollten.

Gabenlose Bauverfahren schonen das Stadtgrün (siehe Kap. 1.2.4), dienen dazu, Folgeschäden an Straßen zu vermeiden bzw. zu vermindern (siehe Kap. 1.2.6) und verringern Belästigungen und Erschwernisse für Anwohner und Anlieger (sog. soziale Kosten für Verkehrs-umleitungen).



- Reinigung Beseitigung von Inkrustationen und Ablagerungen vor der Sanierung
- Erneuerung Ersatz einer außer Betrieb genommenen Leitung aufgrund aufgetretener Schäden oder vorhandener Mängel
- Sanierung Wiederherstellung der Funktionstüchtigkeit einer schadensbehafteten Leitung
- \* abhängig vom Verfahren
- \*\* Unterschiede bei Wasser, Gas und Abwasser

Abb. 1.2: Rehabilitationsmaßnahmen nach W 401 und G 401 aktualisiert sowie Ergänzungen für Abwasser



Ihre Vorteile lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- neue Trassen sind nicht erforderlich (begrenzter unterirdischer Bauraum)
- Straßenaufbrüche werden minimiert; weniger Rohrgrabenbrücken
- kürzere Bauzeiten und damit Versorgungsausfälle werden erreicht
- Anwohner und Anlieger werden durch Lärm, Staub, Abgase weniger beeinträchtigt
- der Straßen- und Anlieferverkehr von Geschäften wird weniger beeinträchtigt
- es treten weniger Folgeschäden, z.B. Bodenabsenkungen auf
- geringere Deponiebelastung durch Aushub- und Straßenaufbruchmaterial
- geringerer Bedarf an Austauschmaterial zum Wiederverfüllen
- weniger verkehrspolizeiliche Maßnahmen erforderlich
- eine große Zahl an Parkplätzen bleibt während der Baumaßnahmen erhalten
- Haltestellen der öffentlichen Verkehrsmittel können weitergenutzt werden
- Baumbestand und Bepflanzungen werden geschont
- wetterunabhängig
- meistens deutlich billiger als konventionelle Verfahren.

### 1.1.2 Zur historischen Entwicklung der Technischen Versorgung [Roscher]

#### 1.1.2.1 Stadt und Technische Versorgung

Die Gründung der deutschen Städte erfolgte vom 9. bis 13. Jahrhundert. Im 14. Jahrhundert lebten in Deutsch-

land etwa 13 Millionen Menschen, davon ein Viertel in 400 Städten. Schnelles Wachstum der Produktivkräfte, zunehmende gesellschaftliche Arbeitsteilung zwischen Landwirtschaft und Handwerk, die Bildung von Verwaltungszentren von Kirche und weltlicher Macht waren entscheidende Voraussetzungen für die Entwicklung der mittelalterlichen Städte. Nach der Blütezeit der mittelalterlichen Städte gegen Ende des 15. und zu Beginn des 16. Jahrhunderts durch Handwerk und Kultur gab es für viele von ihnen, mit Ausnahme der Residenzstädte, über 200 Jahre keine bedeutenden Fortschritte [Roscher et al., o.J.], [Roscher, 1984 ff.].

Die rohrliehungsgebundene „Technische Versorgung“ der mittelalterlichen Städte beschränkte sich auf die Wasserversorgung in einzelnen Städten in Holzrohrleitungen, ggf. die Überdeckung von Bachläufen und damit Anfänge der Kanalisation:

Von wesentlichem Einfluss auf die Entwicklung der neuzeitlichen stadttechnischen Versorgung waren naturwissenschaftliche Entdeckungen und technische Erfindungen des 19. und 20. Jahrhunderts und die Anwendung wissenschaftlicher Erkenntnisse in der Produktion, z.B. der Elektroindustrie (in der Zeit der industriellen Revolution) oder der Nachrichtentechnik (in der Zeit der wissenschaftlich-technischen Revolution).

Die zu rehabilitierenden Wasser-, Gas- und Abwasserleitungen stammen aus der Zeit von Mitte bis Ende des 20. Jahrhunderts, aber auch aus der Zeit nach 1945.

Nach dem Ende 2. Weltkrieges bestimmte zunächst der Wiederaufbau der Wirtschaft die Entwicklung der Technischen Versorgung, später der Bau neuer Wohngebiete in Stadtrandlage (sowohl mehrgeschossig als auch mit ein- und zweigeschossigen Gebäuden) sowie Gewerbegebieten ebenso in Stadtrandlage.

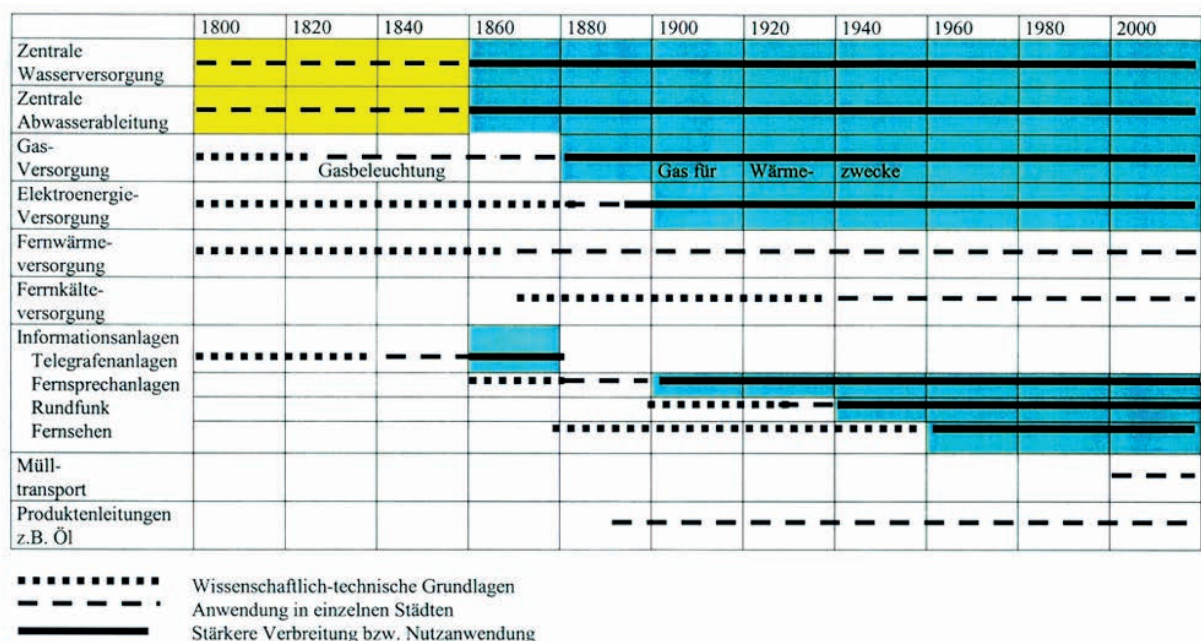


Abb. 1.3: Technische Versorgung [Roscher, 1981]

Dadurch wuchs die Länge der Wasser-, Gas- und Abwassernetze in beträchtlichem Maße. Nicht immer wurde geeignetes Rohrmaterial eingebaut (z.B. in Ostdeutschland Stahlrohre mit unzureichendem Korrosionsschutz, in Westdeutschland Duktulgussrohre der 1. Generation mit unzureichendem Korrosionsschutz sowie PE-Rohre in ungeeignetem Bettungsmaterial mit spitzen Steinen), so dass auch für „junge Rohrmaterialien“ Rehabilitationsmaßnahmen erforderlich werden.

### 1.1.2.2 Wasserversorgung

#### Entwicklung der neuzeitlichen Wasserversorgungstechnik – der Druckwasserversorgung im 19. Jahrhundert

Die Wasserversorgung der mittelalterlichen Städte erfolgte vorzugsweise aus öffentlichen Grundwasserbrunnen, deren Zustand in hygienischer und baulicher Hinsicht meist schlecht war und die oftmals von 20 bis 100 Personen genutzt wurden. Städte und Dörfer mit günstigen hydrogeologischen und topografischen Bedingungen hatten Rohrwasserversorgungen mit Holzleitungen. Die Notwendigkeit einer neuzeitlichen (genannt einheitlichen) Wasserversorgung – **der Druckwasserversorgung** – ergab sich aus der Industrialisierung und der damit verbundenen Ballung von Menschen und Arbeitskräften in großen Städten. Voraussetzung waren die Entwicklungen der Dampfmaschine für die Wasserförderung und von Rohrmaterialien, welche höheren Drücken standhielten.

1848 wurde in Hamburg nach dem großen Brand die **erste zentrale Wasserversorgung Deutschlands** nach den Vorschlägen *Lindleys* gebaut (1856 folgte Berlin, 1859 Magdeburg). Zur Erzielung eines gleichmäßigen Druckes im Versorgungsgebiet und zum Ausgleich von Verbrauchsschwankungen wurden Ausgleichbehälter möglichst im Schwerpunkt des Versorgungsgebietes vorgesehen. Der erste Wasserturm mit 2350 m<sup>3</sup> wurde in Hamburg 1853/55 gebaut, allerdings 1910 abgebrochen [Grahn, 1883 sowie 1898/1902].

#### Netzgestaltung

An die **Stadtrohrnetze** (Gesamtheit der zur Wasserverteilung in einem Ortsgebiet dienenden, in jede Straße einzulegenden Leitungszüge) stellte man am Anfang des 20. Jahrhunderts folgende Forderungen:

- zulässige Versorgung jeder Netzstelle mit ihrem Maximalbedarf
- Einhaltung eines stets genügenden, nie zu großen Druckes an jeder Netzstelle
- Vermeidung zu großer, Stöße bewirkender Wassergeschwindigkeit im Rohrnetz
- Dimensionierung unter möglicher Annäherung an ein Minimum der Jahreskosten (Verzinsung usw. des Anlagekapitals plus Betriebskosten).

Nach der **Netzgestaltung** unterschied man zwei Hauptsysteme in Rohrnetzen:

- a) die Verteilung durch unter sich verbundene Röhren (Ringnetz, Ringsystem, Zirkulationssystem, Kreislaufsystem)

- b) die Verteilung durch Röhren, welche sich von einem Stamme aus fächerförmig verästeln (Fächernetz, Fächersystem, Verästelungssystem).

**Verästelungsnetze** – Fächernetze waren zwar für die hydraulische Berechnung übersichtlicher und einfacher zu handhaben, erforderten durch die vielen Endstränge aber häufige Spülungen und verursachten bei Rohrbrüchen auf großen Strecken lange Versorgungsunterbrechungen. Aus Betriebsgründen wurden die Endpunkte miteinander verbunden. Schließlich entstanden Ringnetze, die neben Betriebsgründen (Versorgungszuverlässigkeit, Vermeidung der Stagnation des Wassers in Endsträngen usw.) den Vorteil boten, dass sie besser der Stadtentwicklung, auch unvorhergesehenen Entwicklungen angepasst werden konnten.

Bei der **Netzausbildung** spielte die **Anlage von Stammleitungen** (Ausgangspunkt Hochbehälter oder Gewinnungsart) eine wichtige Rolle, die sich oftmals fächerförmig über die Stadtgebiete ausdehnten und Grundlage für eine Vermaschung des Netzes waren. Diese sind in den Versorgungsnetzen **heute noch erkennbar (älteste Leitungen mit großen Dimensionen)**, da Ringbildungen mit nahezu gleicher Dimension der Hauptleitungen erst später erfolgten (großdimensionierte Leitungen mit geringerem Baualter).

Die neuzeitliche Wasserversorgung (nach [Grahn, 1883 sowie 1898/1902] „einheitliche“ Wasserversorgung) übernahm neben der Trinkwasserversorgung als weitere wichtige Funktion – die **Löschwasserversorgung**. So mussten bei der Bemessung der Rohrnetze die Minstdurchmesser und der Abstand der Hydranten (Feuerpfeifen) untereinander berücksichtigt werden. Die Rohrnetze wurden als Verästelungsnetze berechnet, aber als vermaschte Netze gebaut (Berechnung mit Druckausgleich an den Endpunkten).

Für die **Löschwasserversorgung** wurden in Abständen von 60 bis 100 m Hydranten mit mindestens 5 l/s Leistung angeordnet. Der Versorgungsdruck wurde durch Motorspritzen erhöht, nachdem man anfangs über den erforderlichen Leitungsdruck gestritten hatte. Der so genannte „**Bürgerliche Versorgungsdruck**“ (mind. 20 m über Straßenniveau), der im gesamten Netz vorhanden sein sollte, wurde durch Thiem Ende des 19. Jahrhunderts eingeführt.

**Damit waren zu diesem Zeitpunkt die wichtigsten, noch heute geltenden Grundsätze der zentralen Trinkwasserversorgung definiert – Netzgestaltung, Bildung von Druck- bzw. Versorgungszonen, Versorgungsdruck und Löschwasserversorgung.**

#### Werkstoffe

Die Werkstoffeigenschaften für die zunächst eingesetzten gusseisernen Rohre wurden durch **Herstellungsverfahren** laufend verbessert. **Neue Rohrmaterialien** kamen hinzu wie Stahl- und schmiedeeiserne Rohre, Asbestzement- und Stahlbeton- und Spannbetonrohre und nach 1945 Kunststoffrohre (erstes PVC-Rohr 1935 in Bitterfeld hergestellt, nach 1950 PE-Rohre, nach 1990 PE-Xa). Für Hausanschlüsse kamen Blei, verzinktes Eisenrohr, schmiedeeiserne Rohre und gusseiserne Rohre zum Einsatz.

Für die Rehabilitation der Rohrnetze ist zu untersuchen, ob die Rohrleitungen aufgrund ihres Zustandes noch **saniert** werden können oder ihre **Erneuerung** erforderlich ist.

### 1.1.2.3 Abwasserableitung

Während in einigen mittelalterlichen Städten Wasserläufe überwölbt wurden, besaßen viele nur Sickergruben und in geringer Entfernung wurde in Grundwasserbrunnen „Trinkwasser“ gewonnen. Vielfach erfolgte die Abwasserableitung oberirdisch in offenen Gerinnen; der in vielen Städten anzutreffenden Straßename „Steinstraße“ weist auf die ersten gepflasterten Straßen hin, die auch meist ein offenes Gerinne für das Abwasser besaßen.

#### Anfänge der Kanalisation

Erste ausgedehnte Kanalisationsnetze bauten in Deutschland Hamburg 1840, Berlin und Dresden um 1870, weitere folgten meist zu annähernd gleichem Zeitpunkt wie die Wasserversorgung.

Für den Bau von Kanalisationsnetzen waren Erkenntnisse der Städtehygiene sowie die Entwicklung entsprechender Bauverfahren für Abwassersammler in großer Tiefenlage (Verbausysteme; Pumpen für die Grundwasserhaltung usw.) von entscheidender Bedeutung. Steinzeugrohre wurden anfangs aus England importiert und erst ab 1869 in Deutschland produziert. Die Abwasserbehandlung spielte zunächst keine Rolle, da das Selbstreinigungsvermögen der Flüsse ausreichend war, durch die Industrialisierung verschlechterte sich die Flusswasserqualität (Entnahme von Rohwasser für die Trinkwasserversorgung und Reinigung in Langsandsandfiltern – später erforderliche Außerbetriebnahme der Flusswasserwerke – bekanntestes Beispiel Choleraepidemie in Hamburg 1892 verursacht durch Flusswasser, welches nur in Absetzbecken „gereinigt“ worden war).

Die Auffassungen über die Vor- und Nachteile des Trenn- und Mischverfahrens in der Stadtentwässerung änderten sich im Verlaufe von 150 Jahren ständig. Erst in den 90er-Jahren setzte sich die Erkenntnis über die Abhängigkeit von Entwässerungsverfahren und Gewässerbelastung durch und führten zum modifizierten Misch- und Trennverfahren.

Die meisten Städte leiten demzufolge in den Kernbereichen ihr Abwasser im Mischverfahren ab, in den Neubaugebieten in Stadtrandlage erfolgt dagegen die Abwasserableitung vorzugsweise im Trennverfahren.

Aufgrund des erhöhten Versiegelungsgrades der städtischen Territorien (insbesondere durch die Motorisierung und den Parkplatzbedarf) sind Maßnahmen der Versickerung und der Regenrückhaltung erforderlich, um mit den vorhandenen Kanalnetzen die Aufgaben der Abwasserableitung zu erfüllen.

#### Rohrwerkstoffe

Die Anzahl der eingesetzten Rohrmaterialien vergrößerte sich im Verlaufe der Zeit. Neben dem traditionell eingesetzten Steinzeugrohren kamen Betonrohre, später Asbestzement- und Kunststoffrohre zum Einsatz, für

große Kanalprofile und Sonderbauwerke Klinkermauerwerk.

Neben dem für kleine Nennweiten angewendetem Kreisprofil wurden Eiprofile und andere eingesetzt. Dementsprechend vielfältig sind auch die Sanierungsverfahren für Abwasserleitungen und -kanäle.

Analog zur Wasserversorgung wirken sich gegenwärtig in der Abwasserableitung und -behandlung folgende Faktoren aus:

- der Rückgang des Wasserverbrauchs und dadurch des Schmutzwasseranfalls
- die Erhöhung des Anteils befestigter Flächen in den Städten und dadurch erhöhte belastete Regenwassermengen
- die Versickerung von nicht zu behandelndem Regenwasser
- undichte Abwasserkanäle und Hausanschlüsse und dadurch Exfiltration von Abwasser bzw., Infiltration von Grundwasser in die Kanäle.

Für die Rehabilitation von Abwassernetzen können zahlreiche Verfahren der Sanierung (Injektion, Beschichtung, Teil- und Vollauskleidung, Schlauchliner) und der Erneuerung (Berstlining u.a.) angewendet werden. Hinzu kommt die erforderliche Sanierung von Abwasserschächten.

### 1.1.2.4 Gasversorgung

#### Anfänge der Gasanwendung und -versorgung

Im 18. Jahrhundert wurden die bei der Zersetzung der Kohle unter Luftabschluss entstehenden Gasgemenge wissenschaftlich erkannt, aber eine Verwendung in der Energieversorgung nicht beabsichtigt.

1784 gewann Minkelaers (Belgien) Gas bei der Kohleentgasung und verwendete es für die Beleuchtung eines Hörsaales, 1790 beleuchtete Murdock (England) ein Wohnhaus mit Gas und transportierte es in Schweineblasen. 1795 baute er industrielle „Gasretorten“ zur Beleuchtung einer Fabrik. In Deutschland beschäftigten sich Bickel und Lampadius systematisch mit der Verwendung des Steinkohlengases für Beleuchtungszwecke. Bickel beleuchtete 1785 sein Laboratorium mit Gas und Lampadius (1811) in Freiberg vorübergehend eine Straße.

Prechtel baute 1818 in Wien ein kleines Gaswerk zur Straßenbeleuchtung und Blochmann errichtete in Dresden ein kleines Gaswerk zur Beleuchtung seines Institutes und beleuchtete 1825 probeweise einen Raum im königlichen Schloss. 1827 wurde durch Blochmann das erste Gaswerk deutscher Produktion errichtet und 1828 Gas in gusseisernen Rohren transportiert. Weitere Gaswerke entstanden nachfolgend in Leipzig (1837), Aachen und Elberfeld (1839), Köln (1840), Stuttgart (1845), Hamburg (1846), München (1850) und anderen Städten; die öffentliche Gasbeleuchtung wurde in vielen größeren Städten eingeführt. Steinkohlengas wurde bis zur Mitte des 19. Jahrhunderts nur für Beleuchtungszwecke eingesetzt.



### Neue Etappe der Gasversorgung - Warmwasserbereitung und Heizung

1855 konstruierte Bunsen den nach ihm benannten Bunsenbrenner und ermöglichte durch die Flammentemperatur den Einsatz für die Wärmeerzeugung. Neue Verwendungszwecke im Haushalt, Gewerbe und in der Industrie wurden erschlossen.

1860 gab es 176 Gaswerke, 1868 bereits 557, und die Gaserzeugung stieg von 45 Mill. m<sup>3</sup> auf 152 Mill. m<sup>3</sup>. Gas wurde auch als Antriebsmittel verwendet – so fuhr in den 90er Jahren des 19. Jahrhunderts in Dessau eine „Gas“-Straßenbahn.

Die städtische Gasversorgung gewann zwischen 1860 und 1880 eine zunehmende Bedeutung. Die Gaserzeugung erfolgte nach verschiedenen Verfahren (feste Brennstoffe – Entgasung und Vergasung, flüssige Brennstoffe und gasförmige Brennstoffe – thermische Spaltverfahren, partielle Verbrennung usw.).

### Gasfernversorgung

Die entfernte Lage der Kohlevorräte führt bald zum Gedanken der Fernversorgung. Anfang des 20. Jahrhunderts begann die Fortleitung von Überschussgas aus Kokereien im rheinisch-westfälischen Industriegebiet – Essen, Gelsenkirchen, Barmen usw. legten ihre eigenen Gaswerke still. Der Ferngasversorgung über 100 km mit Kokereigas (1911) folgte 1929 der Beginn des Aufbaus der Ferngasversorgung von Magdeburg und 1943 der Zusammenschluss der Ferngasnetze im Ruhrgebiet, Saar- und Rheingebiet, Mitteldeutschland bis Berlin zu einem Gasverbundnetz.

Nach 1945 begann eine unterschiedliche Entwicklung in Ost- und Westdeutschland. In der DDR wurden die Großgasereien Schwarze Pumpe, Böhlen, Lauchhammer und Magdeburg errichtet und versorgten das Gebiet der DDR. 1973 erfolgte der Erdgasanschluss an die Sowjetunion.

In der BRD folgte der schrittweisen Reduzierung der Gaserzeugung im Ruhrgebiet der Aufbau der Ferngasversorgung aus der Nordsee.

### Vom Stadtgas zum Erdgas

Während bei der Verwendung von sog. Stadtgas ein „nasses“ Gas verteilt wurde, wird beim Ferngas ein „trockenes“ Gas verwendet.

Das hatte zur Folge, dass in Programmen Innendichtungsmaßnahmen vor allem bei Rohrleitungen mit Stemm-Muffen durchgeführt werden mussten, um Gasaustritte zu verhindern. Bruchgefährdete Graugussleitungen vor allem kleiner Nennweiten mussten erneuert werden (sog. Graugussprogramm – siehe G 401).

Die heutigen Rehabilitationsmaßnahmen umfassen die Sanierung mit dem Gewebeschlauchverfahren und die Erneuerung der Rohrleitungen mit Relining- und Berstliningverfahren.

### Einspeisung von Biogas und weiteren Gasen

Als neue Aufgabe kam in den letzten Jahren die Einspeisung von Biogas und weiteren aus CO<sub>2</sub> und Was-

serstoff gewonnenen Gasen hinzu. Die Forschungen wurden intensiviert und sind Gegenstand der Fachpublikationen.

### 1.1.2.5 Fernwärmeversorgung

#### Anfänge der Fernwärmeversorgung

Die zentrale Wärmeversorgung erhielt durch die Verwendung von Pumpen gegen Ende des 19. Jahrhunderts einen starken Auftrieb. Dampf- und Warmwasserheizungen nach dem Schwerkraftprinzip waren bereits in England, Frankreich und Deutschland verbreitet. Die Entwicklung zur Heißwasserheizung mit Umwälzpumpen bzw. zur Heißwasserfernheizung vollzog sich nach 1920.

In Deutschland wurden die ersten zentralen Wärmeversorgungen in Berlin, Hamburg, Dresden und München gebaut. 1884 entstand in Berlin eine Fernwärmeversorgungsanlage für die Technische Hochschule, 1893 wurde das Berliner Rathaus aus dem Elektrizitätswerk mit Wärme versorgt. 1894 folgte Dresden mit dem Sächsischen Staatsbahnhof.

Die 1902 für das Schloss, den Zwinger und die Oper gebaute Fernwärmeversorgungsanlage wird als erste europäische Fernwärmeversorgungsanlage bezeichnet.

Das Jahr 1920 wird als Beginn des Baus von Städteheizungen in Deutschland bezeichnet (Hamburg 1921, Kiel 1922, Barmen, Berlin-Neukölln 1921/22, Mannheim 1924 usw.), 1933 bestanden bereits 21 größere Anlagen in Deutschland (Berlin, Braunschweig, Dresden, Halle, München, Schwerin u.a.).

Nach dem zweiten Weltkrieg entstanden größere Fernwärmenetze in England, Österreich, Finnland und Polen. In Ägesta wurde 1960 die Beheizung mit Warmwasserbereitung durch Schwedens erstes Atomkraftwerk realisiert.

#### Aufbau der Fernwärmeversorgung in Wohngebieten und Satellitenstädten

In der Bundesrepublik Deutschland begann der Bau von Fernwärmeversorgungen mit dem Wiederaufbau der Städte nach dem 2. Weltkrieg. Mit dem Bau von geschlossenen Wohngebieten in Stadtrandlage (bzw. sog. Satellitenstädten) sowie innerstädtischen Baulückengebieten ging man zum Bau von Heizwerken (nicht Heizkraftwerken) und Fernwärmeversorgungen über.

Ab 1960 erfolgte auch in der DDR der Aufbau von Fernwärmeversorgungssystemen insbesondere für die Neubaustädte (Eisenhüttenstadt, Hoyerswerda, Schwedt, Halle-Neustadt) aus Heizwerken bzw. Heizkraftwerken. Weiterhin wurden große Wohnkomplexe in den Bezirksstädten und großen Städten aus Heizwerken bzw. Heizkraftwerken mit Fernwärme versorgt.

Entscheidendes Kriterium für den Bau und Betrieb von Fernwärmeversorgungsanlagen ist die Bebauungsdichte und damit einer sog. Wärmedichte (MW/km<sup>2</sup>).

Der Wärmetransport erfolgte anfangs vielfach mit Heißdampf in Zweileiternetzen, später mit Heißwasser in Zwei-, Drei- und seltener in 4-Leiternetzen (getrennt



für die Wohnraumbeheizung und die Warmwasserbereitung).

**Vorteile der Fernwärmeversorgung**

Die Vorteile der Fernwärmeversorgung liegen insbesondere in folgenden Faktoren

- Verbesserung des Mikroklimas (Wegfall der Rauchbelästigung durch Kohleeeinzelfeuerstätten bzw. durch Abgase der Gasbeheizung)
- Wegfall der Brennstoffanlieferung bei Kohleheizung und der Ascheabfuhr
- Mögliche zweischienige Energieversorgung (d.h. Elektroenergie für den Allgemeinbedarf und Fernwärme für Wohnraumheizung und Warmwasser)

**Rehabilitation von Fernwärmenetzen**

Als Rehabilitation werden die zusammenhängenden, großflächigen oder größeren Sanierungs- und Erneuerungsmaßnahmen zur Erhaltung der Funktionsfähigkeit von bestehenden Fernwärmenetzen bezeichnet.

Sie kann notwendig sein, wenn:

- der betroffene Leitungsabschnitt durch einen Schaden ausgefallen und eine Instandsetzung durch Reparatur technisch und wirtschaftlich zu aufwendig ist
- ein bestimmungsgemäßer Betrieb des betreffenden Leitungsabschnittes nicht mehr zuverlässig gewährleistet werden kann
- andere wirtschaftliche, technische, strategische oder rechtliche Gründe für eine Rehabilitation geltend gemacht werden können.

**Sanierung**      Ertüchtigung eines vorhandenen Instandhaltungsobjekts, d.h. der Ausbau des alten Instandhaltungsobjekts und Ersatz an derselben Stelle (örtlich gleich) oder die weitergehende Nutzung von vorhandenen Netzbestandteilen (Bauwerk, Lagerung etc.).

**Erneuerung**      Ersatz des vorhandenen, alten Instandhaltungsobjekts, ohne dessen Ausbau, durch einen Neubau (die selbe Funktion) an anderer Stelle (örtlich unterschiedlich) und ohne weitere Nutzung von vorhandenen Netzbestandteilen (Bauwerk, Lagerung etc.).

**Verbesserung**      Kombination von technischen und administrativen Maßnahmen sowie Maßnahmen des Managements zur Erhaltung oder Verbesserung des Ist-Zustandes (Beispiele: Fernwärme Stationsumbau von direkt nach indirekt; Verwendung neuer Bogenradien zur besseren Durchströmung. Anpassung an die zu erwartende hydraulische Situation).

**1.2 Stadtstraßen und Nutzung des unterirdischen Bauraums**

Als Quelle für diesen Abschnitt wird [Roscher et al., o.J.] angegeben.

**1.2.1 Versorgungsleitungen im unterirdischen Bauraum**

**Prof. Dr.-Ing. habil H. Roscher**

Die heute anzutreffenden Straßen haben durch die Entwicklung des Kraftfahrzeugs und des Verkehrsaufkommens hinsichtlich der **Nutzung und des konstruktiven Aufbaus** im Verlauf des letzten Jahrhunderts wesentliche Veränderungen erfahren.

Die bei der Neuverlegung von Rohrleitungen und Kabeln in bestehenden Straßen notwendigen umfangreichen Eingriffe in die Straßenkonstruktion führen oftmals zu Folgeschäden an Straßen, da die Wiederherstellung des ursprünglichen Zustandes nicht möglich ist (siehe *Kap. 1.2.3 Straßenbefestigung und Kap. 1.2.6 Wiederherstellung von Straßen und Vermeidung von Folgeschäden durch Baugruben bzw. Baugraben bei konventioneller Verlegung von Rohrleitungen*).

Die Kenntnis der Lage der Versorgungsleitungen im unterirdischen Bauraum ist auch bei der Rehabilitation der Gas- und Wasserleitungen wichtig, um **Folgeschäden an benachbarten Leitungen zu vermeiden**, insbesondere an denen, welche in annähernd gleicher Tiefenlage und in geringer Entfernung liegen, z.B.

- durch das Eindringen von Scherben beim Berstlining oder
- die Verschiebung bzw. Verdrängung bei Durchmesservergrößerung (Press-/Ziehverfahren).

Tab. 1.1: Rohrleitungen, Kabel und Kanäle

Rohrleitungen (bzw. Kanäle)	– Abwasser (Schmutz-, Regen- oder Mischwasser) Wasser Gas Fernwärme (kanallose Verlegung) Fernkälte (kanallose Verlegung) Mülltransport
Kanäle	– Fernwärme (Kanalverlegung) Fernkälte (Kanalverlegung) Fernmeldekabel (Kanalverlegung) Sammelkanäle (Infrastrukturkanäle bzw. Leitungsgang)
Kabel	– Elektroenergie (Mittelspannung, Niederspannung) Fernmeldekabel Signalkabel Weitere Kabel

Die Art, Anzahl, Lage und Verteilung, welche sich im Straßenkörper befinden, sind in erster Linie von ortsspezifischen Gegebenheiten (Ortssatzungen) wie Straßenbreite, Entwässerungsverfahren, Anlieger und Bebauung abhängig.

Die heutige Anordnung der stadttechnischen Versorgungssysteme geht auf den Beginn der „einheitlichen“ stadttechnischen Versorgung der Städte zurück (Beginn mit Gas- und Wasserversorgung).

Als die Städte mit dem Bau von Entwässerungsnetzen begannen, bestanden in den meisten Städten bereits seit einigen Jahren die Gas- und Wasserversorgung, wobei die dafür notwendigen Rohrleitungen nicht nach einheitlichen Gesichtspunkten verlegt worden waren.

Beim Bau der in jedem Fall tiefer liegenden Abwasserkanäle traten deshalb insbesondere in engen Straßen der Altstädte oftmals Schwierigkeiten auf, z.B. sind erste Schäden an Wasserleitungen durch Bodenbewegungen bekannt und führten zu Undichtigkeiten an Rohrverbindungen oder zu Rohrbrüchen der Leitungssysteme. Auch war man teilweise gezwungen, Gas- und Wasserleitungen neu einzuordnen, um Platz für die neu hinzugekommenen Abwasserleitungen zu schaffen.

Bei Straßen geringer Breite und geringer Verkehrsdichte war es um 1890 üblich, den Abwasserkanal in die Mitte der Straße, die Wasserleitung auf die eine und die Gasleitung auf die andere Seite zu legen. Bei breiten Bürgersteigen wurde empfohlen, unter jedem eine Gas- und eine Wasserleitung anzuordnen. Bei größeren Fahrbahnbreiten wurden in der Regel Doppelberohrungen für Gas- und Wasserrohrleitungen vorgesehen.

Allgemein gültige Regeln wurden in Deutschland erst 1931 mit der **DIN 1998** verfasst (siehe *Kap. 1.3 Lage der Versorgungsleitungen im Straßenkörper*). **1978** erfolgte die **Neubearbeitung** der Richtlinie aufgrund der Anpassung an die in einem Zeitraum von 30 Jahren geänderten Verhältnisse, insbesondere den Einsatz leitungsgebundener Energieträger in Verbindung mit Forderungen des Umweltschutzes, des steigenden Wohnkomforts, der zunehmenden Anzahl von Versorgungsleitungen und der Entwicklung neuer Kommunikationstechniken.

Der zur Verfügung stehende Raum wurde in nach Breite und Tiefenlage gestaffelte Zonen eingeteilt (StVZO), innerhalb derer die Anordnung der einzelnen Versorgungsleitungen und sonstigen Einbauten dem jeweiligen Versorgungsträger überlassen bleibt. Kreuzungen von Leitungen konnten auch mit der neuen Norm wegen der Vielschichtigkeit und der gegenseitigen Abhängigkeit nur durch allgemeingültige Hinweise erfasst werden.

Im **DDR-Standard TGL 23425** Blatt 1 bis 4 „Einordnung von Versorgungsleitungen in den unterirdischen Bauraum“ wurden außerdem horizontale und vertikale Abstände der Leitungen festgelegt.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass durch die relativ späte Normung die Unterbringung der Leitungen und Anlagen in öffentlichen Flächen (unterirdischer Bauraum) Abweichungen von der Zonenaufteilung vorkommen; weiterhin bestehen durch nicht fachgerechte Umlegungen von Versorgungsleitungen im Zuge von Baumaßnahmen insbesondere in Altstadtgebieten nicht immer genaue **Kenntnisse über die Einordnung der Leitungen**. Das kann zu Beeinträchtigungen und Baukostensteigerungen insbesondere bei Erneuerungsmaßnahmen führen.

Es ist daher notwendig, mit den vorhandenen Straßen sorgsam umzugehen und bereits bei Planungs- und Vorbereitungsarbeiten der Sanierung und Erneuerung stadt-

technischer Leitungen umfassend den Straßen- und Wegebau in die Betrachtung einzubeziehen.

**Überraschungen sind daher bei Baumaßnahmen nicht ausgeschlossen!**

## 1.2.2 Ausbildung des Straßenquerschnittes

**Prof. Dr.-Ing. habil H. Roscher**

Der motorisierte **Straßenverkehr** hat die Ausbildung des **Straßenquerschnittes** maßgeblich beeinflusst, Straßenbepflanzungen mussten breiteren Fahrspuren weichen, Versorgungsleitungen, die ursprünglich unter Bürgersteigen lagen, befinden sich heute unter der Fahrbahn, Leitungen großer Dimensionen unter von Schwerlastverkehr befahrenen Straßen usw.

Der Ausbildung des Straßenquerschnittes widmete man am Ende des 19. Jahrhunderts große Aufmerksamkeit und berücksichtigte unterschiedliche Anforderungen, so nennt Genzmer folgende Anforderungen an das Längsprofil und Querprofil [Genzmer, 1897] S. 64–113:

1. Längsprofil und Höhenlage der Straßen
  - a) Anforderungen des Verkehrs
  - b) Rücksichten auf die Entwässerung
  - c) Rücksichten auf den Anbau
  - d) Rücksichten auf die äußere Erscheinung
2. Querprofil
  - a) Anforderungen des Verkehrs
  - b) Rücksichten auf den Anbau
  - c) Rücksichten auf die Bepflanzung (einschl. Wechselwirkung Bepflanzung – Versorgungsleitungen!)
  - d) Rücksichten auf die Entwässerung
  - e) Rücksichten auf die äußere Erscheinung

Grundlage für die Festlegung der Mindestbreite war eine Fahrdammbreite, welche für zwei sich begegnende Fuhrwerke ausreicht, nämlich 5 m zuzüglich jeweils 1 m für die beidseitigen Bürgersteige. Als Mindestbreite für eine altstädtische Straße untergeordneter Bedeutung empfahl er 5 m (ein schweres Fuhrwerk im Richtungsverkehr), als günstiger empfahl er Straßenprofile für zweispurige Straßen.

Bei größeren verfügbaren Straßenbreiten empfahl er dreispurige Fahrbahnen. Für Straßen mit Straßenbahn sah er es als zweckmäßig an, die Straßenbahn in Mittel-lage anzuordnen.

Für „größtstädtische, mit hervorragenden Gebäuden besetzte Luxusstraßen“ wurden größere Bürgersteigbreiten empfohlen.

**Umfassend wurde die Anordnung von Baumreihen in breiten Straßen einschließlich der Lage der Versorgungsleitungen behandelt (in breiten Straßen Doppelberohrung, 3 m Abstand zu Gasleitungen, Dichtung der Rohrverbindungen von Abwasserleitungen mit Gussasphalt, um das Eindringen von Wurzeln zu verhindern).**

Die veränderte Funktion der Straßen hatte also gravierende Auswirkungen auf die stadtechnischen Versorgungsnetze.

Arnold [Arnold, 1943] differenzierte in „Städtischer Tiefbau“ 1943 bei der Ausbildung des Straßenquer-

schnittes in Hauptstraßen und Wohnstraßen und gab die Fahrbahn- bzw. Fahrspurbreite mit Abmessungen an, die den heutigen nach StVZO nahekommen.

Gleichzeitig befasste er sich mit der Lage der Versorgungsleitungen im Straßenkörper DIN 1998 (Ausgabe 05.41 [DIN, 1941]) und zeigt verschiedene Straßenquerschnitte.

Neuartig gegenüber den oben kurz dargelegten Grundsätzen nach [Genzmer, 1897] sind die veränderte Funktion der Straßen (Hauptstraßen, Wohnstraßen) entsprechend der Verkehrsart und Bedeutung im Stadtstraßennetz, die zurückgedrängte Bedeutung gestalterischer Grundsätze (Bebauung und Bepflanzung), die veränderte konstruktive Gestaltung der Straßenbefestigung (Teer- und Asphalt- sowie Zementbetondecken) und die neu hinzugekommene Funktion der Straße für den ruhenden Verkehr.

Tab. 1.2: Breite der Fahrbahn [Arnold, 1943] und StVZO

Abmessungen nach Arnold		Abmessungen nach StVZO in m	
Fahrzeuge	Breiten in m	Fahrzeugbreite (Grundmaß)	Lichtraumbreite
gewöhnliche Fuhrwerke	1,60–1,80	1,75	2,25
Kraftwagen	1,55–2,00	2,10 (Lieferwagen)	
Lastkraftwagen	2,00–2,50	2,50	2,60 (2,35)
Autobusse	2,30–2,50	2,50	3,00 (2,75)
Heu- und Erntewagen	3,00–3,50	2,50	3,00 (2,75)
Straßenbahn	3,00–3,50		

Für die Fahrbahnbreite sind die verkehrenden Fahrzeuge maßgebend

**Die weitere Zunahme des Motorisierungsgrades sowie der hohe Anteil an Schwerlastverkehr in Hauptnetzstraßen in den letzten Jahrzehnten haben die Situation für die im Straßenkörper liegenden Versorgungsleitungen weiter verschärft. Die Fahrspurbreiten wurden weiter vergrößert und an Verkehrsknotenpunkten weitere Fahrspuren für Rechts- und Linksabbieger angeordnet, so dass Leitungen heute unter Fahrspuren liegen, welche vorher unter Geh-, Radbahnen und Grünstreifen lagen.**

### 1.2.3 Straßenbefestigung

#### Prof. Dr.-Ing. habil H. Roscher

In der 1. Hälfte des 19. Jahrhunderts ging man dazu über, die städtischen Straßen mit Steinpflaster zu versehen, wobei man möglichst hartes Material einsetzte (z.B. Basalt – später schlechte Erfahrung dadurch, dass die Straßen sehr glatt wurden und Kanten durch Hufschlag sich abrundeten, vielfach erfolgten Erneuerungen). Später verwendete man weichere Sorten wie Granit und Porphyr usw. und erreichte eine gleichmäßigere

Abnutzung und Beibehaltung einer gewissen Rauheit. Zur Pflasterung kamen Kopfsteine (unregelmäßige Form) und Reihensteine (guter Verband des Pflasters) zum Einsatz.

In der 2. Hälfte des 19. Jahrhunderts baute man in zunehmendem Maße Stampf- und Gussasphaltbefestigungen. Bei Stampfasphaltstraßen wurde auf einer 15 bis 25 cm starken Betonschicht der 5 cm starke Asphaltbelag aufgebracht.

Gegen Ende des Jahrhunderts machte man auch Versuche mit Zementbetondecken. Bürgersteige erhielten Bekiesung, Ziegelflachsichten, gebrannte Tonplatten, Zementplatten, natürliche Steinplatten, Mosaikpflasterung, Gussasphalt, Stampfasphalt bzw. Asphaltplatten.

Die Entwicklung nach der Jahrhundertwende war dadurch gekennzeichnet, dass Zementbetonstraßen, Asphalt- und Teerstraßen (Asphalt, Bitumen, Teer) in zunehmendem Maße zum Einsatz kamen.

Arnold [Arnold, 1943] konnte in „Städtischer Tiefbau“ (1943) folgende Einteilung bei Fahrbahnbefestigungen vornehmen:

- Kies- und Schlackenwege,
- Steinschlagbahnen (alte Schotterbahn und Riesenschotterdecke),
- Steinpflasterbahnen,
- Kunststeinpflaster,
- Holzpflaster,
- Betonstraßen,
- Asphalt und Teerstraßen.

Folgende Bauweisen und Eigenschaften wurden von ihm dazu angegeben.

*Kies- und Schlackenwege* eignen sich nur für leichten Verkehr. Grober Kies wird in 1–15 cm Stärke auf feuchten Untergrund aufgebracht, profilgerecht abgeglichen und abgewalzt. Günstiger sind Kies auf leichter Packlage aus 8–15 cm Stärken Steinen. Schlackenwege werden in 12–15 cm Stärke mit und ohne Unterbettung in 1–2 Schichten hergestellt.

Bei *Steinschlagbahnen* wurde zunächst die Packlage (15–25 cm) hergestellt und mit Steinschlag aus Basalt oder Granit oder anderem harten Gestein die Deckschicht gewalzt (schnelle Zerstörung durch Kraftverkehr); bei der Riesenschotterdecke wird auf festen Unterbau oder einer Packlage eine etwa 7–10 cm starke Splittlage und anschließend Riesenschotter von 9–11 cm aufgebracht und gewalzt.

*Steinpflasterbahnen* wurden in vielfältigster Form ausgebildet. Nach der Steinform kann unterschieden werden in Rundstein-, Spaltstein- und Kopfsteinpflaster (nur für untergeordnete Straßen und Wege sowie Landstraßenbau), nach der Anordnung der Steine in Reihen-, Schiebe- und Diagonalpflaster und nach der Steingröße in Groß-, Mittel- und Kleinpflaster.

Für *Kleinsteinpflaster* wurden Schlackenstein- und Klinkerpflaster eingesetzt, diese sind aber nur regional aufgrund des örtlich verfügbaren Materials verbreitet.





Abb. 1.4: Straßenbahn-Unterbauerneuerung/rechts nach Fertigstellung

Der Betonstraßenbau erhielt durch den Autobahnbau kräftige Impulse und wurde als besonders geeignet für den Kraftverkehr erkannt (geräuschlos, blendsicher, sauber und rau, geringe Querneigung von 1–2,5% und Längsneigung = 0,5 %).

Das Merkblatt für den Bau von Betonstraßen von 1940 unterschied in vier Gruppen:

- Gruppe 1 Stark beanspruchte Straßen mit Durchgangsverkehr
- Gruppe 2 Straßen mit mittlerem Verkehr
- Gruppe 3 Wohn- und Siedlungsstraßen ohne Durchgangsverkehr
- Gruppe 4 Parkplätze und Einstellhöfe ohne Lastkraftwagenverkehr.

Die Herstellung erfolgt meist in zwei Lagen, die untere 15–18 cm, die Verschlusschicht in 5–7 cm Stärke.

Bei *Asphalt- und Teerstraßen* wurde je nach Verkehrsbelastung ein 15–25 cm starker Unterbau gewählt und darauf die Decke aufgebracht. Durch die nachfolgende und von Zeit zu Zeit zu wiederholende Oberflächenbehandlung wurde die Lebensdauer verlängert, es handelte sich um einen dünnen Überzug über vorhandene Decken. Sog. Makadamdecken bestehen aus Schichten etwa gleicher Korngröße, die Schichtstärke nimmt mit der Korngröße ab; diese beträgt etwa das 1,5–2fache des gewählten Kornes. Die Zwischenräume enthalten das Bindemittel.

Hohlraumarme Decken sind so aufgebaut, dass zwischen dem Gemisch aus verschiedenen Körnungen (Grobsplitt, Feinsplitt, Sand und Füller) möglichst wenig Hohlraum verbleibt.

*Gehbahnen* haben aufgrund der geringeren Belastungen und wegen der zu erwartenden Aufbrüche zur Reparatur von Versorgungsleitungen, zur Herstellung der Hausanschlüsse eine andere Befestigung wie:

- Kies- und Schlackenwege,
- Steinpflaster,
- Plattenbelag,
- fugenlose Fusswegdecken (Estriche).

Bei Steinpflaster wurde unterschieden in Großpflaster (würfelförmige Steine von 10–12 cm Kantenlänge), Kleinpflaster, Mosaikpflaster und Klinkerpflaster, wobei je nach Pflasterart eine Sandbettung bis zu 10 cm eingebracht wurde.

Als Plattenbelag kamen Steinplatten (Granit, Kalkstein, fester Sandstein und Basaltlava) und künstliche Platten (Beton, gebrannter Ton, Asphaltplatten) zur Verwendung, ebenfalls in Sand verlegt.

*Fugenlose Fußwegdecken* wurden als Beton oder Zementestrich bzw. Gussasphalt oder Streichasphalt ausgeführt. Bei Betondecken wurde auf einer 8–10 cm starken Betonschicht eine 2 cm starke Zementmörtelschicht unter Verwendung von scharfen Sand und Hartsteinkplittzusatz aufgebracht (u.U. auf einer 5 cm starken Sauberkeitssandschicht). Bei Guss- oder Streichasphalt wurde auf einer 8–10 cm starken Betonschicht oder 10–15 cm gewalztem Schotterschicht etwa 2 cm stark Guss oder Streichasphalt aufgebracht.

Radwege wurden ebenso wie Gehbahnen als Kies- und Schlackenwege, Steinpflaster und Plattenbeläge hergestellt bzw. als Asphalt und Teerdecken (Beton oder Schotterunterbau und Deckschicht), Betonradwege wurden in der Regel einschichtig mit 8–10 cm Beton ausgeführt.

Straßenbefestigungen im Bereich der Straßenbahn (ohne eigenen Bahnkörper) erfolgten unter besonderer Berücksichtigung der Entwässerung. Anstelle von Packlagen wurde auch Betonunterbau verwendet. Bei Verlegung der Straßenbahn auf eigenem Bahnkörper wurde Schotter als Unterbau verwendet. Heute fahren Straßenbahnen auf einem anderen Unterbau, z.B. wie ihn die *Abb. 1.4* zeigt.

### 1.2.4 Baumschutzmaßnahmen und Baumpflanzungen im Bereich von Versorgungsleitungen

**Prof. Dr.-Ing. habil H. Roscher**

Die Erhaltung des Baumbestandes und die Bepflanzung von Straßen, Wegen und Plätzen gehört zu den wichtigen städtebaulichen und stadthygienischen Aufgaben. Daher sollte der Lebensraum einschließlich des Wurzelbereichs von Bäumen durch den Bau von Versorgungsleitungen nicht eingeschränkt werden.

Der Wurzelraum muss groß genug sein, um die Wasser- und Nährstoffversorgung zu sichern und die Standsicherheit zu gewährleisten. Entscheidende Faktoren für das Wurzelwachstum sind neben der Verfügbarkeit von Wasser und Nährstoffen der Porenraum und die Lagerungsdichte von Böden.

**Die Verlegung von Leitungen in offenen Gräben erfordert den lagenweisen Einbau und eine sorgfältige Verdichtung des Bodens. Es können auch selbstverdichtende Materialien (Bodenmörtel, Flüssigboden) eingesetzt werden. Offene Gräben haben einen maßgeblichen Einfluss auf den Baumbestand. Dagegen haben grabenlose Bauweisen in Abhängigkeit von der Tiefenlage und dem Querschnitt der eingebrachten Leitung einen geringeren Einfluss; Beschädigungen der Wurzeln sind in der Regel gering.**

Wesentlich ist auch, ob Rohrleitungen und Rohrverbindungen wurzelfest sind, um eine Beeinträchtigung der Funktionsfähigkeit zu gewährleisten. Umwurzelungen von Leitungen stellen u.U. auch ein Gefährdungspotential dar (mechanische Beanspruchung von Leitungen durch Umschlingungen nach GW 125 (M) – 02/2013 (bzw. DWA-M 162) unterscheidet aktive und passive Schutzmaßnahmen, wobei die bekannteste Schutzmaßnahme die Einhaltung des Mindestabstandes ist.

Versorgungsunternehmen und Grünflächenämter haben die Pflicht, sich abzustimmen, um die Beeinträchtigung des Baumbestandes so gering wie möglich zu halten. Neben GW 125 (M) sind folgende DIN zu beachten:

- DIN 1998, Unterbringung von Leitungen und Anlagen in öffentlichen Flächen, Richtlinien für die Planung
- DIN 4124, Baugruben und Gräben – Böschungen, Verbau, Arbeitsraumbreiten
- DIN 18915, Vegetationstechnik im Landschaftsbau – Bodenarbeiten
- DIN 18916, Vegetationstechnik im Landschaftsbau – Pflanzen und Pflanzarbeiten
- DIN 18917, Vegetationsflächen im Landschaftsbau – Rasen und Saatarbeiten
- DIN 18920, Vegetationstechnik im Landschaftsbau – Schutz von Bäumen, Pflanzenbeständen und Vegetationsflächen und Baumaßnahmen sowie
- weitere DVGW- und ATV-Richtlinien zur grabenlosen Verlegung von Leitungen

Die Existenz von Bäumen kann gefährdet werden durch:

- Entfernen von Haltewurzeln - dadurch Umsturzgefahr
- Entfernen von Feinwurzeln bei zu geringem Abstand zum Stamm – dadurch Absterben als Folge von Unterversorgung
- Pilzinfektion (kein Gegenmittel) als Folge von Stamm- und Wurzelverletzungen
- Verfüllen der Baugrube mit pflanzenfeindlichen Stoffen und Materialien
- Dauerdrainagewirkung beim Verfüllen der Baugrube mit ungeeigneten Materialien
- längerfristige oder dauernde Grund- oder Schichtenwasserabsenkung
- Verdichtung des Wurzelraumes durch Belastung der Wurzelfläche mit Materialien, Geräten oder Fahrzeugen
- Überdeckung bzw. Eindeckung des Stammes durch Auffüllungen

- aufheizen des Bodens durch Fernwärmeleitungen oder hoch belastete Stromkabel – dadurch Austrocknung des Wurzelraumes
- austreten von leitungstransportierten Stoffen im Lebensbereich der Bäume
- mechanische Beschädigung von Stamm und Krone.

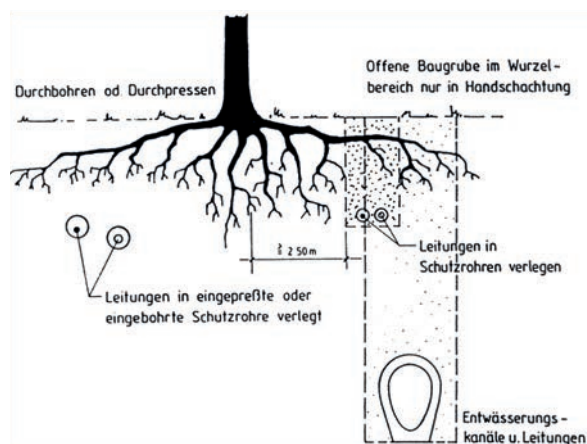


Abb. 1.5: Bau von Versorgungsleitungen im Wurzelbereich vorhandener Bäume (GW 125 [DVGW, 1989])



Abb. 1.6: Straßenerneuerung und Baumschutz

**Die Beurteilung der Standsicherheit von Bäumen kann durch nachträglich eingebaute Leitungen erschwert werden. Dies kann zu erhöhten Risiken für Personen und Sachen durch nicht rechtzeitig erkannte Umsturzgefahr führen.**

Die Betriebssicherheit von unterirdischen Versorgungsanlagen kann gefährdet werden durch:

- Wurzeln von Bäumen, die sowohl die Versorgungsanlagen als auch Kabel- und Rohrumhüllungen, Muffen, Rohrverbindungen und Hydrantentleerungen verdrängen, beschädigen oder unwirksam machen können
- Belastungen durch Kippmomente, die vom Baum ausgehen
- Entwurzelungen von Bäumen bei Sturm- und Schneebruchschäden
- Verwendung aggressiver Böden und Materialien bei Pflanzungen



1. Technische Versorgung und Nutzung des unterirdischen Bauraums

- Verwendung von Düngemitteln, die den Leitungswerkstoff, dessen Umhüllung oder die Dichtung angreifen
- Arbeiten an Pflanzgruben oder am Wurzelwerk
- Entzug von Feuchtigkeit aus dem Erdboden durch Bäume, die zu einer Reduzierung der Strombelastbarkeit und der Lebensdauer von Kabeln führt
- erschwerte Überwachung des Betriebszustandes
- erschwerte Schadensbehebung und damit längere Versorgungsunterbrechungen
- Erhöhung der Blitzgefahr für unterirdische Versorgungsanlagen durch die Ableitfunktion der Bäume

Während der Bauarbeiten an Versorgungsleitungen und an Straßen sind Bäume im Stammbereich zu schützen und im Wurzelbereich Abstände nach GW 125 einzuhalten, erforderlichenfalls Handschachtungen vorzunehmen und Leitungen in Schutzrohren zu verlegen.



Abb. 1.7: Schädigung des Wurzelbereiches durch „konventionelle“ Neuverlegung



Abb. 1.8: Baumschutz bei Straßenbauarbeiten



Abb. 1.9: Schonung des Baumbestandes durch Neuverlegung mit steuerbarem Vortrieb unter einer Baumreihe (vgl. Kap. 4.9.7 Steuerbarer grabenloser Vortrieb)

Tab. 1.3: Begriffe

Begriffe	Definition
Anstehender Boden	Boden, der vor Bau- oder Pflanzmaßnahmen bereits vorhanden war
Hauptverfüllung	Verfüllung zwischen Oberkante Leitungszone und Oberkante Gelände oder Damm, soweit zutreffend, der Unterkante der Straßen- oder Gleiskonstruktion (Planum)
Leitungsgraben	Graben im Sinne von der DIN 4124 bzw. Bild 1 der DIN EN 1610 zum Einbau unterirdischer Leitungen
Leitungszone	Verfüllung im Bereich unterirdischer Leitungen bestehend aus Bettung, Seitenverfüllung und Abdeckung
Pflanzgrube	Großvolumiger Grubenraum, bei dem der anstehende Boden durch Substrate oder Böden ersetzt wurde
Pflanzloch	Bei der Pflanzung hergestellte Vertiefung in der Vegetationsfläche oder in der Pflanzgrube zur Aufnahme des Ballens oder des Wurzelwerks
Vegetationsschicht	Bodenschicht, die aufgrund ihrer Zusammensetzung und Eigenschaften für den Bewuchs mit Pflanzen geeignet ist
Wurzelbereich	Bodenbereich, der vom Baum durchwurzelt ist
Wurzeldruck	Druck, der durch die Wurzeln auf unterirdischen Leitungen ausgeübt wird
Wurzelfest	Eigenschaft von Stoffen und Bauteilen, in die Wurzeln
Wurzelgraben	Graben zur gezielten Führung von Wurzeln außerhalb der Pflanzgrube, z.B. zu anderen durchwurzelbaren Bereichen

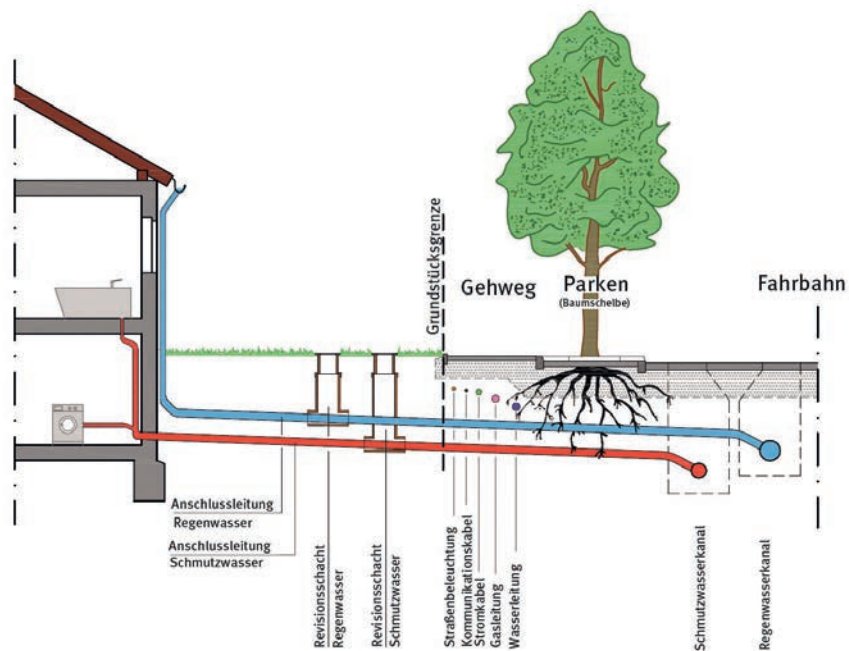


Abb. 1.10: Schematische Darstellung von Baum und unterirdischen Leitungen [DVGW, 2013]

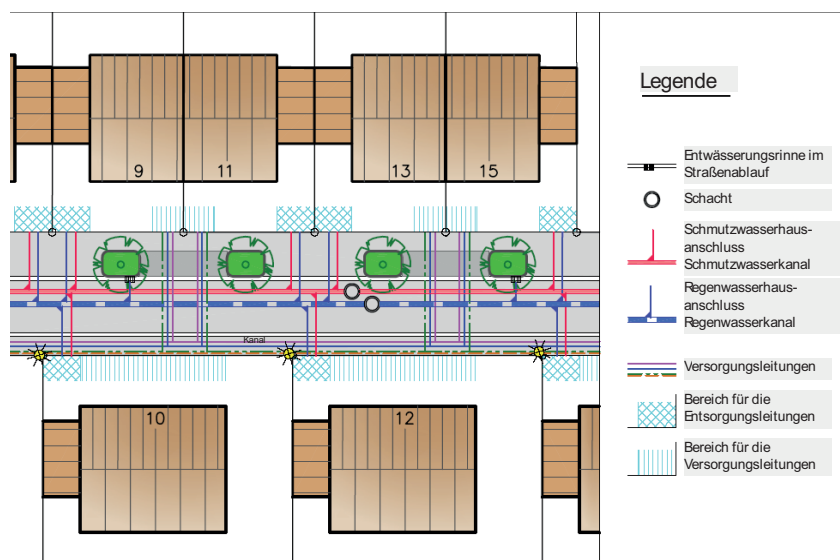


Abb. 1.11: Beispielhafte Darstellung von Leitungsverläufen, Baumstandorten und Nutzungszonen [DVGW, 2013]



Bei der Rehabilitation von Versorgungsleitungen in grabenloser Bauweise kommen wesentliche Vorteile hinsichtlich des Baumschutzes bestehender Baumpflanzungen zum Tragen. Der Wurzelbereich der Bäume wird geschont (nur im Bereich von Baugruben bei zu geringem Abstand verletzt) und Versorgungsleitungen werden nicht nachfolgend durch das Entfernen von Haltewurzeln und der Umsturzgefahr beschädigt.

Ein außergewöhnliches Beispiel der Neueinordnung einer Wasserleitung im Wurzelbereich einer Baumallee ist in Kap. 4.9.7 *Steuerbarer grabenloser Vortrieb* dargestellt, durch welche der Wurzelbereich kaum geschädigt worden ist.

### 1.2.5 Offene Bauweise und geschlossene Bauweise im Vergleich

Prof. Dr.-Ing. habil H. Roscher

In einer Studie des Instituts für Rohrleitungsbau Oldenburg, erarbeitet im Auftrag des Rohr-sanierungsverbandes, wurde festgestellt, dass die Kostenvorteile grabenloser Bauverfahren gegenüber offenen Bauweisen in Deutschland nicht ausgeschöpft werden. Der Anteil der grabenlosen Bauweisen beträgt nach [Bayer, 2004] ca. 15 % – im Vergleich zu anderen Ländern ein sehr niedriger Wert.

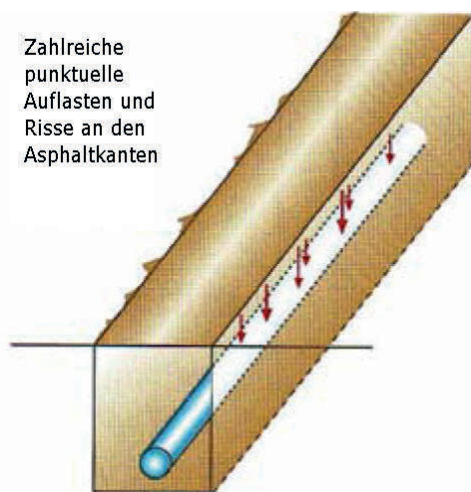


Abb. 1.12a) Offene Bauweise

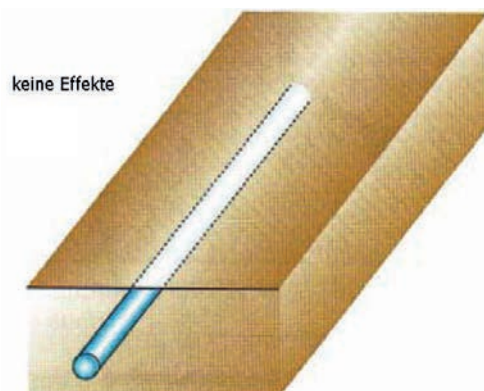


Abb. 1.12b) Grabenlose Bauweise

Abb. 1.12: Verlegewirkungen auf das Rohr nach mehreren Jahren [Rameil und Naujoks, 2006]

Die heute angewandten Sanierungs- und Erneuerungsverfahren sind ausgereifte und bewährte Alternativen zur offenen Rohrverlegung. An das Rohrmaterial ist die Anforderung zu stellen, dass durch das angewandte Verfahren keine Schädigungen eintreten. Bei der Verlegung im offenen Graben treten im Verlauf der Liegezeit zusätzliche Belastungen ein; außerdem ist in der Straßendecke durch die Verkehrsbelastungen mit Schäden zu rechnen.

Selbst unter der Voraussetzung, dass bei der Verlegung der Leitungen die jeweilig gültigen Vorschriften und Regelwerke eingehalten werden, ist damit zu rechnen, dass sich die ursprüngliche Struktur und die bodenmechanischen Eigenschaften des Verfüllmaterials im Laufe der Zeit durch Nachverdichtung sowie durch den Chemismus des Sickerwassers und durch Wechselwirkungen mit dem ursprünglichen Boden verändern.

Nicht völlig auszuschließen ist der Einbau nicht geeigneten Materials wie Stein, Holz, Papier, Laub usw., auch Hohlräume bei der Verfüllung oder später durch Sickervorgänge und Ausspülen von feinkörnigem Material, wodurch Einsenkungen entstehen können

Von [Rameil und Naujoks, 2006] und [Bayer, 2004] wurde die Vorteile grabenlosen Bauens dargestellt und folgende Kriterien herangezogen:

- **Geräteinsatz und Transportfahrten** (Mehrausstattung an Baumaschinen bei der offenen Bauweise. Baugruben bei der Berstmaßnahme mit minimalem Geräteinsatz; Mehraufwand der offenen Bauweise bei der Betrachtung der erforderlichen LKW-Fahrten für den Abtransport des Grabenaushubes und den Antransport des Verfüllmaterials)
- **benötigte Bauzeit** (Beim Bersten können bei guter Vorbereitung weit mehr als 150 m Rohrerneuerung pro Tag erzielt werden; bei der offenen Bauweise ist sicher mindestens der 4- bis 5-fache Zeitaufwand erforderlich)
- **beanspruchte Verkehrsflächen** (bei der offenen Bauweise mindestens 300 bis 400 m<sup>2</sup>, bei der grabenlosen Bauweise mit dem Berstverfahren fällt nur Platzbedarf für Geräte und Material sowie Arbeitsraum an den Gruben an).
- **Faktor Lärm und Staub** (Faktor Lärm und Staubanfall der offenen Bauweise gegenüber der grabenlosen Bauweise mindestens 10:1; vielfach jedoch deutlich mehr).
- **benötigte Baustoffmengen** (siehe dazu Tabelle; im Beispiel: Bedarfsmenge von ca. 190 m<sup>3</sup> Sand, ca. 880 m<sup>3</sup> Vorabsiebung, ca. 215 m<sup>3</sup> Asphaltrecyclingmaterial sowie ca. 40 m<sup>3</sup> Feinasphalt.; bei der grabenlosen Ausführung: ca. 35 m<sup>3</sup> Sand, ca. 155 m<sup>3</sup> Vorabsiebung, ca. 38 m<sup>3</sup> Asphaltrecyclingmaterial sowie ca. 7 m<sup>3</sup> Feinasphalt – insgesamt jeweils eine Ersparnis um ca. 80 bis 85 %)
- **indirekte Kosten** (Verlege- oder Sanierungsmaßnahme eine Beeinträchtigung der oberirdischen Verkehrssituation dar. Insbesondere in innerstädtischen Bereichen ergeben sich Behinderungen des Verkehrsflusses oder der Geschäftstätigkeit. Hinzu kommen Lärm- und Schadstoffimmissionen. Diese Beeinträchtigungen werden zwar durch die



jeweilige Baumaßnahme verursacht, sie werden jedoch dem jeweiligen Auftraggeber bzw. der Baumaßnahme nicht angelastet. Sie verursachen jedoch der Allgemeinheit Kosten oder führen zu besonderen individuellen Belastungen, die erhebliche Größenordnungen erreichen können. Zu den indirekten Kosten sind im Wesentlichen zu rechnen:

Weitere Verursacher von indirekten Kosten können z.B. sein:

- Oberflächenfolgekosten
- Kosten durch Verkehrsbeeinträchtigungen
- Kosten durch Schädigungen des Bewuchses
- Kosten durch Beeinflussung des Einzelhandels.

Weitere Verursacher von indirekten Kosten können z.B. sein:

- Lärm-, Abgas- oder Staubemissionen
- Produktivitätsverluste
- Erschütterungen.
- **gesundheitliche Folgekosten** (Abgas- und Staubemissionen bei der offenen Bauweise führen manchmal zu gesundheitlichen Folgekosten (Gehörschäden, Atemwegserkrankungen, Stressbelastungen u.a.), die von den Krankenkassen und den Patienten getragen werden müssen.

### Vergleich Bersten und offene Bauweise

Rameil [Rameil und Naujoks, 2006] betrachtete in einem Vergleich die Erneuerung einer Altrohrleitung aus Grauguss und die Neuverlegung mit dem Berstverfahren einer Kunststoffrohrleitung mit Schutzmantel  $D_a$  110 mm und die Verlegung der Kunststoffrohrleitungen im offenen Graben. Er stellte fest, dass Aufbruch und Wiederherstellung der Oberflächen sowie Grabenverbau, Erdarbeiten und die Entsorgung von Aushub 60 bis 80 % der Gesamtkosten des Leitungsbaus bei einer Neuverlegung ausmachen.

Gegenübergestellt wurde eine Leitung im offenen Graben von 1.000 m Länge in 10 Teilabschnitten, einer Grabentiefe von 1,40 m und einer Grabenbreite von 0,5 m, dem Berstverfahren. Für das Berstlining wurde vorgesehen: Jede 2. Baugrube für die Berstmaschine mit 2,5 m Länge (Bersten von dort aus in 2 Richtungen) sowie Startbaugruben mit 3,5 m Länge und Zwischenbaugruben für 4 Hausanschlüsse pro Teilstrecke mit 1,5 m Länge. Alle Baugruben sollen eine Breite von 1,5 m haben:

Folgenden Kriterien wurden für den Vergleich herangezogen:

- Geräteinsatz und Transportfahrten
- Benötigte Bauzeit
- Beanspruchte Verkehrsflächen
- Faktor Lärm und Staub
- Benötigte Baustoffmengen

Als indirekte Kosten werden genannt:

- Oberflächenfolgekosten
- Kosten durch Verkehrsbeeinträchtigung
- Kosten durch Schädigung des Bewuchses
- Kosten durch Beeinflussung des Einzelhandels

Außerdem sind in Betracht zu ziehen

- Lärm-, Abgas- oder Staubemissionen
- Produktivitätsverluste
- Erschütterungen,

welche der Allgemeinheit individuelle Belastungen und Beeinträchtigungen bringen.

### Vergleich HDD Bohrspülung und offene Bauweise

Eine ähnliche Betrachtung hatte zuvor [Bayer, 2004] für eine HDD-Bohrspülung im Vergleich zu der offenen Bauweise geführt.



Abb. 1.13: Straßenschäden nach Längsverlegung einer Gasleitung in einer stark befahrenen Stadtstraße

Der Vergleich erfolgte für eine Neurohrleitung mit 1.000 m Länge in offener Bauweise einer Grabentiefe von 1m und einer Grabenbreite von 0,5 m sowie 6 Baugruben von jeweils 1 m × 1 m × 0,5 m und der HDD Bohrspülung in 5 Teilabschnitt von jeweils 200 m Länge.

Folgenden Kriterien wurden für den Vergleich herangezogen:

- Geräteinsatz und Transportfahrten
- benötigte Bauzeit
- beanspruchte Verkehrsflächen
- Faktor Lärm und Staub
- benötigte Baustoffmengen
- Ressourcenverbrauch
- Deponieraum

Und als indirekte Kosten werden genannt:

- Oberflächenfolgekosten
- unterschiedliche Lebensdauer der Leitungen

Zu dem zuletzt genannten Faktor stellt er fest, dass ein in Bentonit gelagertes Rohr eine wesentlich bessere Bettung hat als ein im offenen Graben verlegtes Rohr.

Die Ergebnisse beider Untersuchungen werden in Tab. 1.4. zusammengefasst.

Tab. 1.4: Vergleichende Bewertung offene Bauweise und grabenlose Bauweise ([Bayer, 2004]; [Rameil und Naujoks, 2006])

Kriterien	Offener Graben/Horizontalbohrtechnik		Offener Graben/Berstling	
		PE 110 1000 m Graben 1m tief, 0,5 m breit 6 Baugruben 1m×1m×0,5 m		Altrohr DN 100 Neurohr DN D <sub>a</sub> 110 mit Schutzmantel * 1000 m Graben 1,4 m tief, 0,5 m breit 6 Baugruben 1m×1m×0,5 m
Geräteinsatz und Transportfahrten	1 Großbagger, 1 Minibagger, 1 Kompressor, 1 Aufbruchhammer	50:1	290 LKW-Fahrten a 9 m <sup>3</sup>	50 LKW-Fahrten a 9 m <sup>3</sup>
Bauzeit	1000 m 3 Wochen a 5 bis 6 Arbeitstage	200 m 3 Tage Pilotbohrung Aufweiten Leitungseinzug	**	150 m/Tag
			Offener Graben/Berstling 4 bis 5 facher Zeitaufwand	
Verkehrsfläche	bei 200 m Länge 700 bis 800 m <sup>2</sup>	12 bis 16 m <sup>2</sup>	300 bis 400 m <sup>2</sup> pro Teilstrecke	ca. 10 m <sup>2</sup> plus Fläche zum Auslegen und Verbinden des Neurohres
Lärm und Staub	mindestens 10:1 vielfach 20 bis 50:1		mindestens 10:1	
Baustoffmengen	Sandbettung 20 cm Asphalt 8 bis 10 cm 100 m <sup>3</sup> Sand 450 m <sup>3</sup> Siebschutt 30 m <sup>3</sup> Recyclingasphalt 10 m <sup>3</sup> Feinasphalt		Sandbettung 20 cm Asphalt 15 cm Bindeschicht 8 cm 190 m <sup>3</sup> Sand 880 m <sup>3</sup> Siebschutt 215 m <sup>3</sup> Recyclingasphalt 40 m <sup>3</sup> Feinasphalt	35 m <sup>3</sup> Sand 156 m <sup>3</sup> Siebschutt 38 m <sup>3</sup> Recyclingasphalt 7 m <sup>3</sup> Feinasphalt
Ressourcenverbrauch	450 bis 500 m <sup>3</sup> Steinbruchmaterial 100 m <sup>3</sup> Sand 100 m <sup>3</sup> Sand 100 m <sup>3</sup> Sand	Bohrtechnik 2,5 m <sup>3</sup> Bentonit-Ton einschl. Deckgebirgsabtrag 5 m <sup>3</sup>		
Deponieraum	500 bis 550 m <sup>3</sup>			

\* der Fairness halber ist anzumerken, dass bei der offenen Bauweise ein kostengünstigeres konventionelles Kunststoffrohr verwendet worden wäre

\*\* im Beispiel also 20–25 m/Tag

\*\*\* im genannten Beispiel wurden konservativ 100 m/Tag angesetzt

Die mit CO<sub>2</sub>-Belastungen einhergehenden Aushub-, Rohrbau- und Verfüllarbeiten sowie Transportfahrten sind verfahrensbedingt bei den grabenlosen Bauweisen deutlich geringer als bei der offenen Bauweise. Als Praxiswert sind Reduzierungen *auf* 25 % bekannt.

### Umweltschonende nachhaltige Rehabilitation durch grabenlose Leitungsverlegung [Roscher, 2010], [Roscher, 2011]

#### Die Begriffe Umwelt und Nachhaltigkeit

Die **Umweltlehre** in ihrer heutigen Bedeutung ist die Wissenschaft von den Beziehungen der Organismen zu ihrer Umwelt, wobei unter Umwelt die Gesamtheit aller ökologischen Faktoren (Umweltfaktoren) zu verstehen ist, unterteilt in die abiotische (unbelebte Umwelt) und die biotische Umwelt (lebende Umwelt). In seiner gegenwärtigen Bedeutung entspricht der Begriff Umwelt dem aus den USA stammenden Begriff „environment protection“ (Umweltschutz).

Vor 100 Jahren kannte man den Begriff **Umwelt** nicht und verwendete den Begriff **Ökologie**, welcher eigentlich für Biologie stand und seine Wurzeln im Griechischen hat (1909 veröffentlicht Jacob Johann von Uexküll das Buch „Umwelt der Tiere“. Maßgeblich war in den letzten Jahrzehnten die folgende Bedeutung des Umweltbegriffes „Die Umgebung eines Lebewesens, die auf diese einwirkt und seine Lebensumstände beeinflusst.“)

**Nachhaltigkeit** ist ein Konzept und heißt, ein natürliches System ausschließlich so zu nutzen, dass seine wesentlichen Charakteristika langfristig erhalten bleiben.

Der Begriff Nachhaltigkeit geht auf eine Publikation von Hans Carl von Carlowitz von 1713 zurück, in der von der „nachhaltenden Nutzung“ der Wälder schrieb, ohne aber weiter auszuführen, wie sie zu erreichen sei.

Der Begriff Umwelt wird in der nachfolgenden Betrachtung in die natürliche, technische und soziale Umwelt gegliedert.

### Natürliche, technische und soziale Umwelt im Kontext zur Verlegung einer Rohrleitung

Die Verlegung einer Rohrleitung, unabhängig davon ob neu in einer neuen Trasse oder als Sanierung oder als Erneuerung in alter Trasse, ist ein Eingriff in die Umwelt der dort wohnenden Menschen sowie ein Eingriff in ihr soziales Umfeld, aber auch in das Wirtschaftsleben.

Es können Schäden auftreten, Ressourcen verbraucht bzw. genutzt werden.

Betrachtet man die **natürliche Umwelt** so können Schäden eintreten an:

- Bäumen,
- der übrigen Vegetation und dem
- Wasserhaushalt.

Betrachtet man die **technische Umwelt**, so ergeben sich Belastungen aus:

- Abgasen, insbesondere CO<sub>2</sub>-Belastung sowie Ausstoß von Dieselpartikeln bei Aushub- und Einbauarbeiten und Transportfahrten,
- Umwegen und Erzeugung von Verkehrsstau und
- Lärm.

Betrachtet man die **soziale Umwelt** einschließlich der wirtschaftlichen Folgen, so werden beeinträchtigt:

- das Leben der Bewohner während der Bauzeit,
- das Geschäftsleben,
- Dienstleistungen und soziale Dienste.

Nicht außer acht zu lassen sind potenzielle Gefahren durch offene Baugruben bzw. Gräben, Übergänge über offene Gräben, Sicherungsmaßnahmen durch Ersatzversorgungen. Zu unterscheiden sind messbare Größen und nicht messbare Größen, bzw. Belastungen oder Beeinträchtigungen.

### Dauer des Eingriffs und dessen Folgen

Wesentliche Unterschiede ergeben sich hinsichtlich der Inanspruchnahme der o.g. Faktoren bzw. der Zeitdauer der Baumaßnahmen im Vergleich der Neuverlegung einer Rohrleitung im offenen Graben bzw. bei grabenlosen Verfahren. Für letztere sind lediglich Start- und Zielgruben erforderlich und deren Flächen- und Ressourcenverbrauch (bzw. -inanspruchnahme) wesentlich geringer sind.

Treten Schäden auf, sollte wie in der Risikobewertung von Schäden im Gasbereich in

- Personenschaden,
- Sachschaden,
- Leistungsschaden - Ausfall einer Leitung

unterschieden werden.

Die fachgerechte Bewertung von Gefährdungen, Schutzziele und der Schutzwürdigkeit muss einen größeren Raum bekommen. In praxi heißt das, welche **Umweltvorsorge** ist zu treffen und welche Umweltstandards sind bei Baumaßnahmen heranzuziehen?

Zukünftig sollte auch bei der Bewertung von Baumaßnahmen hinsichtlich ihrer Eingriffe und Folgen unterschieden werden in:

- Zentrumsgebiete,
- Hauptnetzstraßen,
- Nebennetzstraßen,
- Außengebiete.

Baumaßnahmen in städtischen Straßen bringen Einschränkungen und Belastungen für die in der Straße wohnenden Personen, aber auch für die Bewohner eines Quartiers durch:

- Verkehrsumleitungen  
mehr Fahr-Kilometer für private und dienstliche Fahrzeuge (Krankentransporte, medizinische Dienste, Hauswirtschafts- und Altenpflege, Müllabfuhr, ggf. Anlieferung, bei Wohnungswechsel usw.)
- längere Fußwege einschließlich der potenziellen Gefahren durch offene Baugruben spielende Kinder, Neugierde von Bewohnern
- Wegfall von Parkplätzen und weitere Wege bei der Suche nach Parkplätzen

Zeitlich gesehen sind von Interesse:

- die Dauer der Baumaßnahmen,
- die Dauer der Belastungen (Baulärm, Abgase, Staub),
- der Fahrverkehr: privat und öffentlich,
- die Baustelleneinrichtungen usw.

Grabenlose Bauverfahren einzusetzen heißt demzufolge eine umweltschonende Rehabilitation durchzuführen. Umweltschonende Rehabilitation ist eine Aufgabe des 21. Jahrhunderts. Bestehende Rohrnetze müssen an heutige und zukünftige Anforderungen angepasst werden.

**Grabenlose Verfahren sind heute ausgereift und bewährt. Ständen anfangs Baupreise im Vordergrund, sind es heute und zukünftig Umweltaspekte.**

**Der Bedeutungswandel von der wirtschaftlichen Betrachtung hin zur Umweltvorsorge umfasst:**

- die Wohnumwelt bzw. das Wohnumfeld der Menschen<sup>3</sup>
  - Wohnumfeld (Beeinträchtigung durch Verschmutzung, Dauer der Baumaßnahmen, Gefährdung der Bewohner durch Baustellen)
  - Umwege für Bewohner
  - Nichtbenutzung der Parkplätze
  - Beeinträchtigung des Geschäftslebens – Umsatzverluste
  - Lärm durch Bauarbeiten während der Verfahrensdurchführung
  - Transporte von Boden (Abtransport von Boden, Antransport von Einbaumaterial)
  - Abgase
  - Erschütterungen
  - Regenwetter
- die Bewertung von Schäden
  - kleine Schäden mit geringem Wasserverlust

<sup>3</sup> Wohnumfeld - wie viele Bewohner sind betroffen, Einwohner/km Straße, Einwohnerdichte

- große mit großem Wasserverlust
- Folgen von Schäden (Unterspülungen, Bauwerken und Straßensetzungen)
- die Staukosten durch Schäden
- Transportfahrten durch Stadt oder Containerlagerung von Boden bei Wiedereinbau
- Lage der Schäden in Hauptnetz- oder Nebennetzstraßen
- die Vermeidung von Straßenschäden durch grabenlose Verlegung von Versorgungsleitungen im Zuge der Erneuerung
- den Baumschutz
  - Schädigung von Baumwurzeln durch Verlegung von Versorgungsleitungen im Wurzelbereich von Bäumen
  - weiterentwickelte Verfahren der Erneuerung von Rohrleitungen  
Berliner Hilfsrohrverfahren (Entfernung des Altrohres; Berücksichtigung des Berliner Straßengesetzes)  
Spülbohren zur Verlegung unter Bäumen (Altrohrleitungen verbleibt im stark befahrenen Straßenraum)
- den Ressourcenverbrauch von Sand, Straßenbaustoffen
- die Inanspruchnahme von Deponieraum
- Gefährdung benachbarter Leitungen

### Nachhaltigkeit

Wie beim Begriff Umwelt, ist auch bei dem Begriff Nachhaltigkeit zu unterscheiden in

- **ökologische Nachhaltigkeit,**
- **ökonomische Nachhaltigkeit und**
- **soziale Nachhaltigkeit.**

**Die ökologische Nachhaltigkeit** umschreibt die Zieldimension, Natur und Umwelt für die nachfolgenden Generationen zu erhalten. Dies umfasst den Erhalt der Artenvielfalt, den Klimaschutz, die Pflege von Kultur- und Landschaftsräumen in ihrer ursprünglichen Gestalt sowie generell einen schonenden Umgang mit der natürlichen Umgebung.

**Die ökonomische Nachhaltigkeit** stellt das Postulat auf, dass die Wirtschaftsweise so angelegt ist, dass sie dauerhaft eine tragfähige Grundlage für Erwerb und Wohlstand bietet. Von besonderer Bedeutung ist hier der Schutz wirtschaftlicher Ressourcen vor Ausbeutung.

**Die soziale Nachhaltigkeit** versteht die Entwicklung der Gesellschaft als einen Weg, der Partizipation für alle Mitglieder einer Gemeinschaft ermöglicht. Diese umfasst einen Ausgleich sozialer Kräfte mit dem Ziel, eine auf Dauer zukunftsfähige, lebenswerte Gesellschaft zu erreichen.

Entwicklung zukunftsfähig zu machen, heißt, dass die gegenwärtige Generation ihre Bedürfnisse befriedigt, ohne die Fähigkeit der zukünftigen Generation zu gefährden, ihre eigenen Bedürfnisse befriedigen zu kön-

nen. „Regenerierbare lebende Ressourcen dürfen nur in dem Maße genutzt werden, wie Bestände natürlich nachwachsen“

### 1.2.6 Wiederherstellung von Straßen und Vermeidung von Folgeschäden durch Baugruben bzw. Baugraben bei konventioneller Verlegung von Rohrleitungen

**Prof. Dr.-Ing. habil H. Roscher**

#### 1.2.6.1 Zur Entstehung von Folgeschäden

Bis Anfang des 20. Jahrhunderts wurde im städtischen Straßenbau fast ausschließlich Natursteinpflaster eingesetzt, danach kamen bituminös gebundene Straßendecken und Zementbetondecken hinzu.

In den letzten Jahrzehnten wurden gepflasterte Straßen mit Asphaltsschichten „überzogen“, so dass bei Baumaßnahmen an Versorgungsleitungen die vorherige Befestigung wieder sichtbar wird.

Seit Einführung der RStO in Deutschland ist die bewährte Variante des Straßenaufbaus eine Asphaltdeckschicht von 4 cm.

Wie oben bereits dargestellt, ist die Wiederherstellung der Straßenkonstruktion im „Urzustand“, also vor einer Rohrverlegung in offenen Gräben, bei der „konventionellen Verlegung“ bzw. im Bereich von Baugruben bei der Rehabilitation nicht möglich, da:

- Bodenmaterial im Leitungsgraben oder in Baugruben für Hausanschlüsse, Maschinen- oder Einzigruben eingebaut wird, welches nicht dem ursprünglich vorhandenen entspricht und auch trotz sorgfältigen Einbaus auch nicht entsprechend verdichtet werden kann (zum Teil erfolgt Bodenaustausch – Einbau von Sand anstelle von gewachsenem bindigen Boden),
- Pflasterdecken nicht im alten „Spannungszustand“ wiederhergestellt werden können und Sickervorgänge im neu gepflasterten Bereich zu Setzungen führen,
- in den Straßendecken unterschiedliches Materialien eingesetzt werden (Unterbau und Deckschichten) und unterschiedliche Wärmedehnungskoeffizienten der nicht aufgebrochenen Straßendecke und der neu eingebauten zu Schäden führen,
- durch Sog von Fahrzeugreifen beim Überfahren neu gepflasterter Straßendecken der Sand aus den Fugen herausgesaugt wird und damit Setzungen eintreten.

Folgeschäden entstehen auch beim Einbau oder Austausch von Armaturen im Baugrubenbereich an den Straßen.

Nach DIN EN 1610 [DIN, 1997b] bzw. EN 805 [DIN, 2000] werden Leitungsgräben<sup>4</sup> unterteilt in Hauptverfüllung und Leitungszone – diese wiederum in Bettung (obere und untere Bettungsschicht<sup>5</sup>), Seitenverfüllung und Abdeckung.

<sup>4</sup> gilt gleichermaßen für Baugruben bei der Rehabilitation von Rohrleitungen

<sup>5</sup> Bettungsschicht – bei direkter Auflagerung auf gewachsenem Boden ist dieser die untere Bettungsschicht



Nach DIN 4033 [DIN, 1979] darf im Bereich der Leitungszone nur steinfreier, verdichtungsfähiger Boden verwendet werden, an den gleiche Anforderungen gestellt werden wie an das Auflagermaterial.

In DIN EN 1610 [DIN, 1997b] werden an Baustoffe für die Leitungszone allgemeine Anforderungen gestellt, z.B. müssen Baustoffe eine dauerhafte Stabilität und die Lastaufnahme der Rohrleitung im Boden gewährleisten, Baustoffe dürfen den Rohrwerkstoff und das Grundwasser nicht beeinträchtigen usw.

Selbst unter der Voraussetzung, dass bei der Verlegung der Leitungen die jeweilig gültigen Vorschriften und Regelwerke eingehalten werden, ist also damit zu rechnen, dass sich die ursprüngliche Struktur und die bodenmechanischen Eigenschaften des Verfüllmaterials im Laufe der Zeit durch Nachverdichtung sowie durch den Chemismus des Sickerwassers und durch Wechselwirkungen mit dem ursprünglichen Boden verändern.

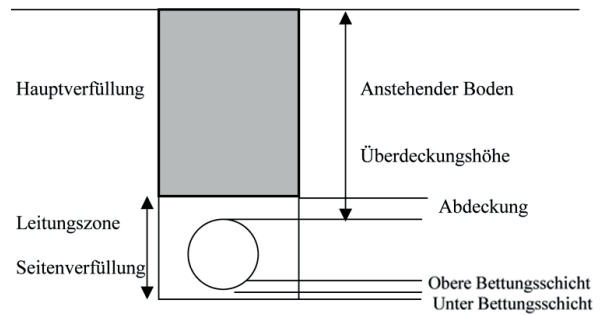


Abb. 1.14: Rohrgraben nach DIN EN 1610 [DIN, 1997b] bzw. EN 805 [DIN, 2000]

Nicht völlig auszuschließen ist der Einbau nicht geeigneten Materials wie Steine, Holz, Papier, Laub usw., auch Hohlräume bei der Verfüllung oder später durch Sickervorgänge und Ausspülen von feinkörnigem Material, wodurch Einsenkungen entstehen können (Abb. 1.15).



- a) Unzureichende Sicherung des Pflasters bei offener Grabenverlegung
- b) Unzureichende Sicherung des Pflasters bei offener Grabenverlegung
- c) Gute Sicherung des Pflasters bei grabenloser Leitungserneuerung
- d) Gute Sicherung des Pflasters bei grabenloser Leitungserneuerung
- e) Baugrube bei grabenloser Leitungserneuerung mit Verbaukasten

Abb. 1.15: Baugrubensicherung



1. Technische Versorgung und Nutzung des unterirdischen Bauraums



Abb. 1.16: Straßendeckenaufbau und Verfüllung beim Einbau von Armaturen





Abb. 1.17: Straßenschäden nach kurzer Liegezeit des Pflasters



Abb. 1.18: Straßen-Neuaufbau nach Armaturenwechsel – Unzureichender Unterbau der alten Straßenkonstruktion

### 1.2.6.2 Vermeidung von Folgeschäden im Straßenoberbau und an der Straßen- decke

Mit der Vermeidung von Schäden musste man sich bereits in den 20er-Jahren des vorigen Jahrhunderts auseinandersetzen. So ist im „Lehrbuch des Tiefbaus“ von 1922 [Esselborn, 1922] zur Unterbringung von Leitungen in Stadtstraßen nachzulesen:

„... die nach und nach im Straßenkörper städtischer Straßen untergebracht werden mussten, haben den Tiefbauämtern größerer Städte schwierige Aufgaben gestellt, die insofern mit der Pflasterfrage innig verbunden waren, als bei jeder notwendig werdenden Legung neuer Leitungen und bei jeder Veränderung bzw. Ausbesserung vorhandener Leitungen die Pflasterdecke aufgerissen werden musste, wobei erhebliche Störungen des Verkehrs entstanden und nach Verlegung bzw. Ausbesserung der betreffenden Leitungen, sich in dem wiederhergestellten Pflaster Senkungen bildeten, die zu neuen Leitungsbrüchen Veranlassung gaben und wiederholte Ausbesserungen notwendig machten“. ...

Typisch für Pflasterdecken ist die gute Durchlässigkeit im Fugenbereich, besonders bei einer Neupflasterung, so dass im Bereich der verschlossenen Baugruben eine gute Durchsickerung erfolgen kann und feine Bodenteilchen in den Untergrund gespült werden. Dadurch treten zwangsläufig Einsenkungen auf.

Pflasterdecken wurden im vorigen Jahrhundert vielfach mit einer Asphalt- oder Zementbetondeckschicht „eben“ gemacht. Die Deckschicht besitzt oft eine ungleichmäßige Stärke, so dass es zu Ablösung und Abtragungen kommt.

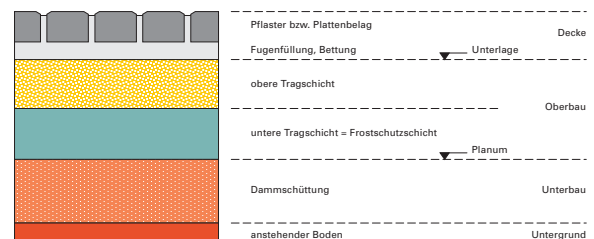


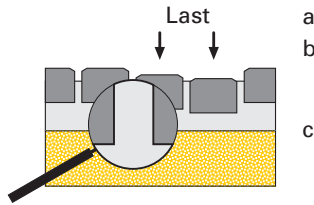
Abb. 1.19: Aufbau Pflasterdecke nach RStO

Wird im Zuge einer Tiefbaumaßnahme im Straßenbereich die vorhandene Pflasterdecke aufgerissen, geht die durch den Pflasterverband entstehende Verzahnung und Verspannung verloren und kann nicht wiederhergestellt werden. Um daraus resultierende Folgeschäden zu minimieren, ist großer Wert auf die Neuverlegung und Verfüllung des Pflasters zu legen. Die Verzahnung ist notwendig, um Verkehrslasten großflächig über die Pflasterdecke zu verteilen.

Zur Fugenverfüllung kann gebundenes (Zementmörtel, Kunstharze, Gussasphalt) oder ungebundenes Material (Brechsand, Natursand) verwendet werden. Pflasterfugen mit ungebundenem Fugenmaterial besitzen eine gute Durchlässigkeit für Oberflächenwasser. Jedoch ist auch bei gebundenen Fugenverfüllungen ein Durchsickern nicht ausgeschlossen. Besonders bei einer Neupflasterung kann im Bereich der verschlossenen Baugruben eine gute Durchsickerung erfolgen und feine Bodenteilchen werden in den Straßenoberbau gespült. Dadurch treten zwangsläufig Einsenkungen auf. Das sich in den Senkungen und Spurrillen sammelnde Wasser bildet zusätzlich eine Beeinträchtigung der Verkehrssicherheit (Sprühfahnen und Aquaplaning).

Die Pflasterbettung besteht i.d.R. aus einer 3 cm starken Sand- oder Kiesschicht. Ein Verlegen in einem Bettungsmörtel ist ebenfalls möglich. Im Vergleich zu einer Sand- oder Kiesbettung ist der Bettungsmörtel

wasserundurchlässig (da Mörtel der Mörtelgruppe M III verwendet werden sollte).



- Abb. 1.20: Spurrillenbildung (Nach K. Michael/T. Rost; dauerhafte Pflasterflächen-Schäden vermeiden durch optimale Verlegung, Veröffentlichung im Internet)
- a) Aussaugen/Ausspülen des ungebundenen Fugenmaterials
  - b) Lasteintragung direkt in Bettung und Tragschicht
  - c) Einrieseln des Fugenmaterials in die Bettung

Die ungebundenen Trag- und Frostschuttschichten (nicht bindig) sind im Regelfall wasserdurchlässig, damit einsickerndes Oberflächenwasser bis zum Planum gelangt und auf diesem seitlich abgeführt werden kann.

Ungebundenes Material aus Pflasterfuge und Bettung (Sand) sickert zusammen mit eindringendem Oberflächenwasser in die darunter liegenden, meist ungebundenen nicht bindigen Tragschichten. Auf längere Zeit kommt es so in der Tragschicht zu einer Anreicherung mit Material kleinerer Körnung und somit zu einer Änderung der Sieblinie.

Die Folgen sind eine Änderung der Wasserdurchlässigkeit und Wasseraufnahme. Dadurch kann es zur Verringerung der Tragfähigkeit und damit zu Setzungen und Frostschäden (Hebungen und Senkungen) kommen.

Pflasterdecken, in wasserundurchlässigen Bettungsmörtel gesetzt, sollten Fugenverfüllungen aus ebenfalls wasserundurchlässigem Material (entsprechender Zementmörtel oder Kunstharze) besitzen, da es sonst zu Frostschäden im Bereich der Fugen durch sich ansammelndes Wasser kommt.

Straßenaufbau mit wasserdurchlässiger Fuge, Bettung und Trag- bzw. Frostschuttschicht sollte nur bei Straßen mit geringer Verkehrsbelastung nach Arbeiten an Versorgungsleitungen wieder eingesetzt werden.

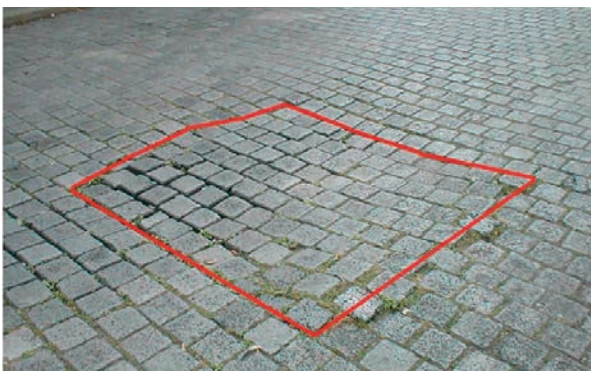


Abb. 1.21: Senkungsmulde in Pflasterdecke nach Reparaturarbeiten an Trinkwasserleitungen

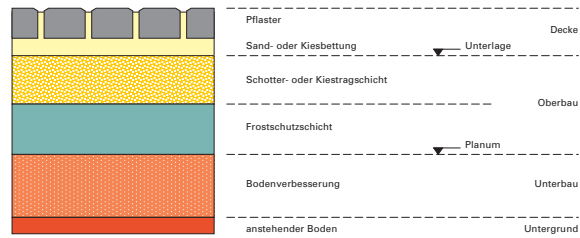


Abb. 1.22: Pflaster in Sand- oder Kiesbettung mit Schotter- oder Kiestragschicht und Frostschuttschicht

Ein Verlegen des Pflasters in wasserundurchlässiger Bettung (meist Bettungsmörtel der Mörtelgruppe M III) und die Verfüllung der Fugen mit wasserundurchlässigem Material (Sand) sollte zur Vermeidung von Frostschäden (Abplatzungen an der Pflasterdecke) vermieden werden.

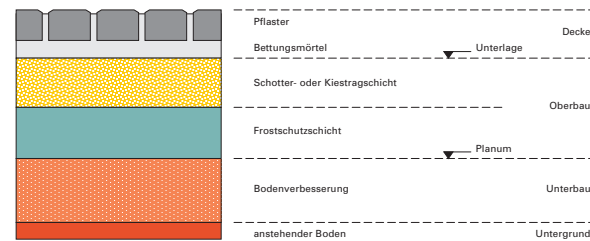


Abb. 1.23: Pflaster in Bettungsmörtel mit Schotter- oder Kiestragschicht und Frostschuttschicht

Zu empfehlen ist eine Verlegung des Pflasters in einem wasserundurchlässigen Bettungsmörtel sowie die Verfüllung der Fugen mit wasserundurchlässigem Material (Zementmörtel, Kunstharz) → Starrer Verband der Pflasterdecke.

Zusätzlich ist es ratsam, den meist ungebundenen, wasserundurchlässigen Straßenoberbau durch eine wasserundurchlässige Schicht (Bodenmörtel, selbstverdichtend, jedoch wieder lösbar) zu ersetzen. Das Problem einer mangelnden Verdichtung wird damit vermieden. Bei der Verwendung von Zementmörtel zur Fugenverfüllung und zur Pflasterbettung ist unbedingt die geforderte Abbindezeit einzuhalten, falls sie nicht mit entsprechenden Erstarrungsbeschleunigern verkürzt wird.

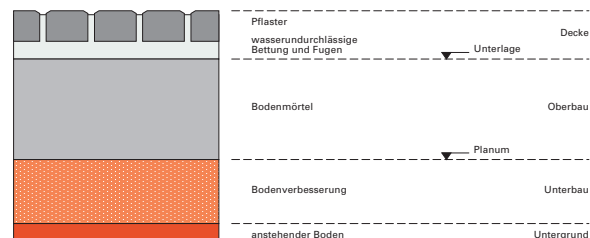


Abb. 1.24: Pflaster mit wasserundurchlässigen Fugen auf Bodenmörtel

### 1.2.6.3 Wiederherstellung von Asphaltdecken

Asphaltdeckschichten verspröden durch UV-Einstrahlung und andere Witterungseinflüsse. Die Haltbarkeit ist weiterhin abhängig vom Verdichtungsgrad und den



Anforderungen und der Zusammensetzung von bituminösen Bindemittel und mineralischen Zuschlagstoffen.

**Fahrbahn, RStO Bauklasse II, Zeile 2**

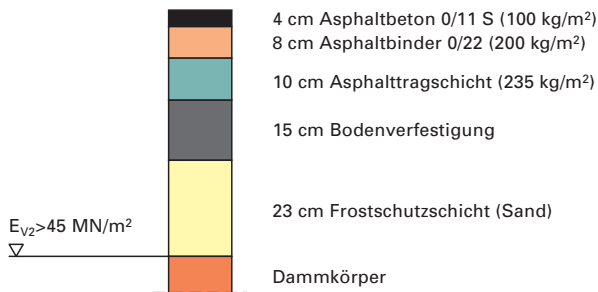


Abb. 1.25: Fahrbahnaufbau gemäß Richtlinien für die Standardisierung des Straßenoberbaus (RStO 01)

Asphaltschichten können thermisch induzierte und vom Verkehr verursachte Spannungen bei sach- und fachgerechtem Einbau problemlos in die darunter liegenden Schichten weiterleiten. Asphaltdeckschichten sind i.d.R. wasserundurchlässig.

Aufgrund der unterschiedlichen Wärmeausdehnungseigenschaften von Asphalt und Zementbeton bzw. Naturpflaster ist ein kombinierter Einbau der Baustoffe zu vermeiden. Typische Schadensbilder sind hierbei sogenannte Reflexionsrisse, welche über den Quer- und Längsdehnungsfugen der hydraulisch gebundenen Schichten in der darüberliegenden Asphaltschicht entsteht.

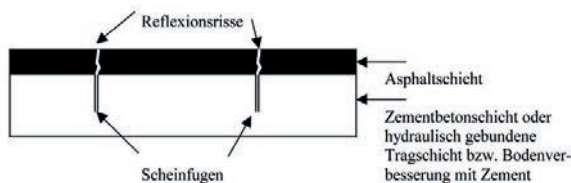


Abb. 1.26: Entstehung von Reflexionsrisse

Ein weiteres Problem bilden die Nahtstellen zwischen alter und neu eingebauter Asphaltschicht beim Wiederherstellen der Straßendecke (siehe Abb. 1.27).

Um einen wasserundurchlässigen Verbund zwischen alter und neuer Asphaltschicht zu gewährleisten, werden die Fugen mit aufschmelzbarem Fugenband verklebt. Unsachgemäße Ausführung führt zu einer mangelhaften Verklebung der alten und neuen Asphaltschicht. Bei unsachgemäßer Ausführung sind die Fugen wasserundurchlässig und es besteht die Gefahr von Frostschäden und Tragfähigkeitsverlusten.

Müssen nach Tiefbauarbeiten an Versorgungsleitungen die Kopfflächen wieder verfüllt und mit einer Asphaltdeckschicht versehen werden, so ist es ratsam, statt Walzasphalt selbstverdichtenden und selbstnivellierenden Gussasphalt zu verwenden.

Oftmals werden ältere Pflasterdecken mit einer dünnen Asphaltdeckschicht überzogen, um kleinere Löcher und Unebenheiten auszugleichen. Bei entsprechender Ver-

kehrbelastung sind Reflexionsrisse und Brüche in der zusätzlich zu dünnen Asphaltdeckschicht vorprogrammiert.



Abb. 1.27: Einbau von bituminösem aufschmelzbarem Fugenband zur Wiederherstellung der Straßendecke nach Armaturenwechsel

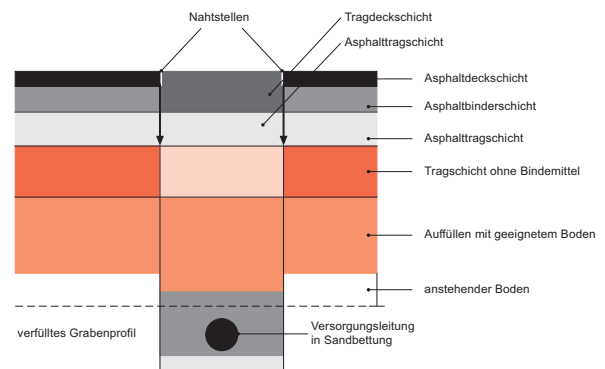


Abb. 1.28: Straßenoberbauprofil in verfülltem Leitungsgraben mit einsickerndem Oberflächenwasser

Die Abb. 1.28 zeigt die Entstehung von Folgeschäden infolge undichter Nahtstellen. Durch die unsachgemäße Herstellung der Nahtstellen kommt es durch einsickerndes Oberflächenwasser zu Senkungen und zur Verringerung der Tragfähigkeit an der Flickstelle im Straßenoberbau (Abb. 1.29).



Abb. 1.29: „Flickstelle“ nach Austausch eines Hydranten

### 1.2.6.4 Wiederherstellung von Zementbetondecken

Da Zementbetondecken thermisch induzierte Spannungen nicht schadlos abbauen können, ist es erforderlich, in bestimmten Abständen Quer- und Längsfugen, sogenannte Dehnungsfugen, anzuordnen. Auch bei hydraulisch gebundenen Tragschichten bzw. Bodenverbesserungen oder -verfestigungen sind Dehnungsfugen anzuordnen, um die unkontrollierte Ausbreitung von Spannungsrisse zu vermeiden.

Aufgrabungen in Zementbetondecken sind am einfachsten wieder mit Zementbeton fließfähiger Konsistenz zu verfüllen. Zusätzliche Verdichtungsarbeiten werden gespart, gleichzeitig nivelliert sich der Frischbeton von selbst ein. Bei Zugabe von Erstarrungsschleunigern kann die geforderte Abbindezeit von 28 Tagen (besonders bei Trasszementen) unterschritten werden und die verfüllten Flächen können entsprechend schneller für den Verkehr freigegeben werden.

Ein Ausfüllen der Aufgrabungen im Deckenbereich mit Asphaltbeton ist nicht ratsam, da hier keine ausreichende Verklebung an den Nahtstellen erreicht werden kann (unterschiedliche Materialeigenschaften und Wärmeausdehnungskoeffizienten).

Setzungsrisse lassen sich vermeiden, indem im Bereich der Wiederauffüllung von Baugruben und -gräben dasselbe anstehende Bodenmaterial wieder verwendet wird (falls entsprechend tragfähig).

Spannungsrisse in Zementbeton- und Asphaltdecken entstehen bei fehlenden Dehnungsfugen – siehe dazu *Abb. 1.32* – verursacht durch Temperaturschwankungen (linkes Bild, Zementbetondecke) und geringer Querschnittsfläche der Straßendecke (rechtes Bild, Asphaltdeckschicht)



Abb. 1.32: Beispiele schlecht ausgeführter „Straßenreparatur“

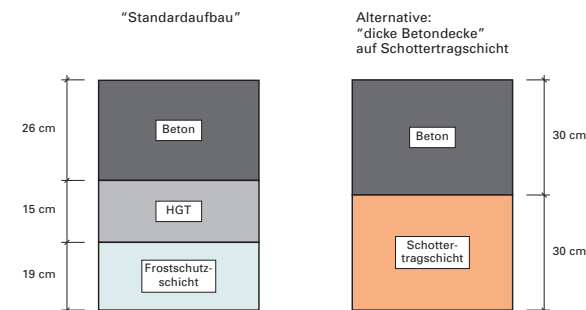


Abb. 1.30: Standardisierte Betonbauweise: Standardaufbau und als Alternative die „dicke Betondecke“ auf Schottertragschicht

Gefordert wird die Schein- bzw. Dehnungsfugenausbildung nach ZTV Beton-StB. Werden Gruben und Gräben in bindiger Umgebung mit nicht bindigem Material verfüllt, so sind ungleichmäßige Hebungen und Setzungen durch die unterschiedliche Wasseraufnahmefähigkeit zu erwarten. Da bindiges, aber auch nicht bindiges Material oftmals nicht ausreichend verdichtet werden kann, bietet die Verfüllung mit **Bodenmörtel** eine dauerhaft haltbare Alternative (siehe *Abb. 1.33* und *Abb. 1.34*).

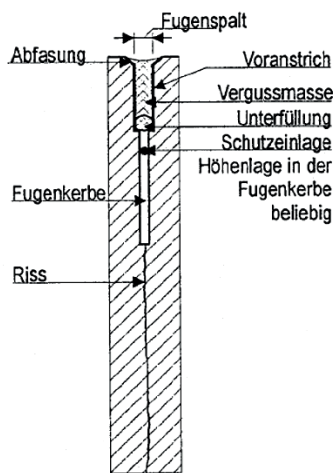


Abb. 1.31: Fugenausbildung

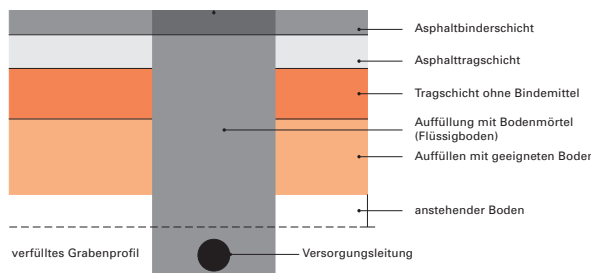


Abb. 1.33: Einbau von Bodenmörtel



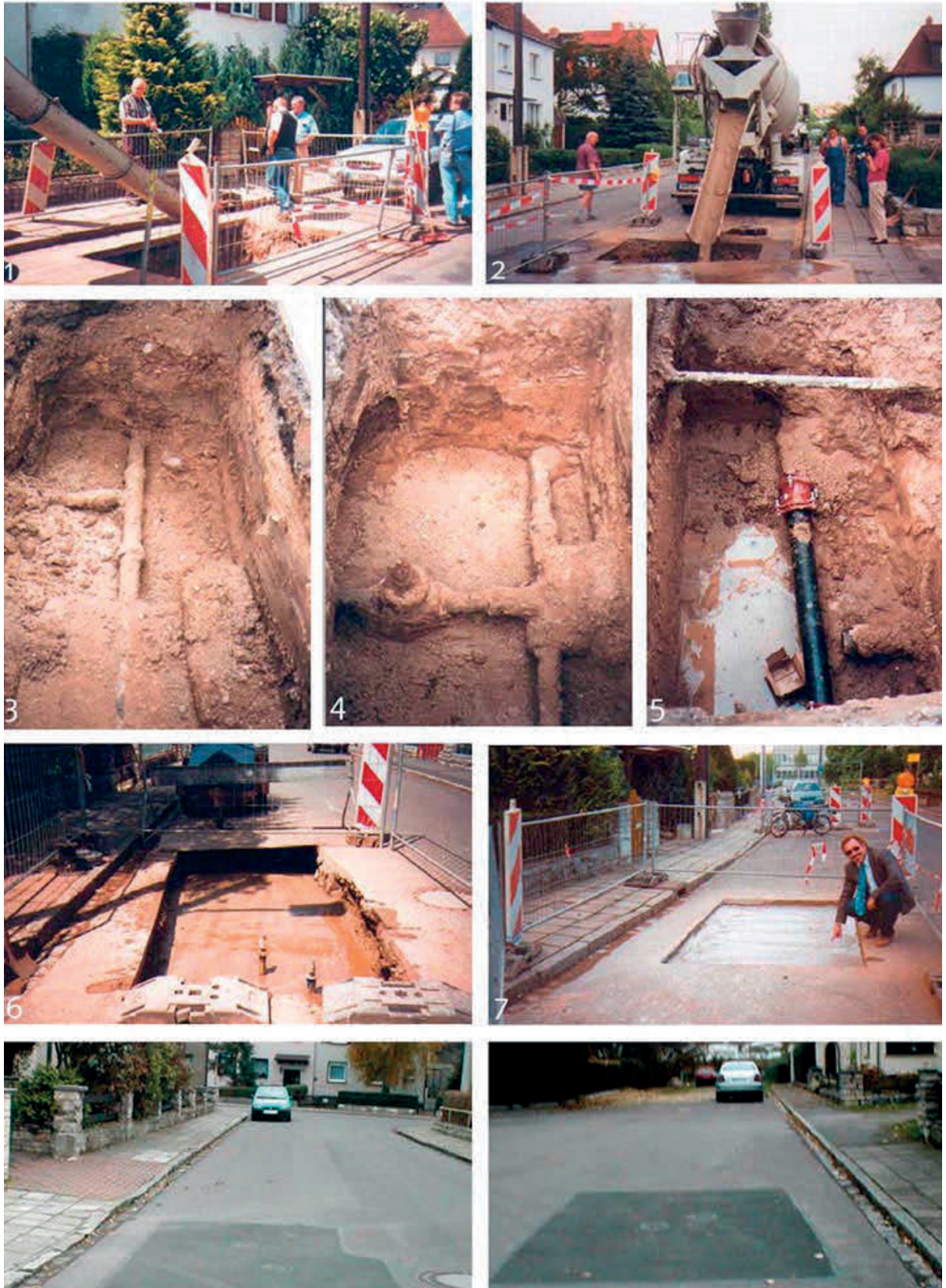


Abb. 1.34: Einbau von Bodenmörtel bei Armaturenwechsel nach Wiederherstellung der Straßendecke

### 1.2.7 Einsatz von selbstverdichtenden Verfüllmaterialien (SVM)

Dr.-Ing. W. Berger, Dr.-Ing. D. Mälzer

#### 1.2.7.1 Einsatz von selbstverdichtenden Verfüllmaterialien zur Vermeidung von Setzungen des Rohrgrabens

##### Problemstellung

Analysen des Leitungsbaues führen zu dem übereinstimmenden Resultat, dass die Kosten für den Straßen- und Tiefbau dominieren und demzufolge hier nach Kostensenkungspotentialen zu suchen ist. So entfallen in der Ortsversorgung nach [Fleckner, 1996] 80 % aller Kosten auf das Aufnehmen und Wiederherstellen der Oberflächen sowie das Ausheben und Wiederverfüllen der Leitungsgräben. In der Abwasserableitung können diese Kostenanteile wegen der Tiefe der Leitungsgräben bis 90 % erreichen. Aber nicht nur die Kosten lenken das Interesse auf die anteiligen Straßen- und Tiefbauarbeiten, sondern auch eine Reihe falsch verstandener und nicht erfüllbarer technischer Anforderungen aus dem Vorschriftenwerk. So kritisiert Zeller die Praxis des kostenaufwendigen Bodenaustausches vieler Straßenbauämter, welche den Austausch bindigen Bodens gegen leicht verdichtbare nichtbindige Böden oder gebrochenes Gestein mit bekannter Sieblinie verlangen, wobei außer Acht gelassen wird, dass jede Änderung der Gleichförmigkeit des Straßenunterbaues zu ungleichen Bodenbewegungen der Straßenoberfläche mit unausbleiblichen Rissbildungen führt [Zeller, 1995], [Zeller, 1997].

Durch den Einsatz moderner computerunterstützter Simulationsmethoden lässt sich unter Verwendung realer, systemrelevanter Kennwerte das Strukturverhalten der Komponenten des Systems „Fahrbahn-Boden-Rohr“ effizient erfassen. Die Aufgabe besteht vor allem darin, die Interaktionen zwischen den Komponenten des Systems „Fahrbahn-Boden-Rohr“ insbesondere beim Einbau ausreichend transparent darzustellen. Ohne diese Transparenz sind klare Entscheidungen nicht möglich. Dies hat sich beispielhaft bei der Analyse des Einbauvorganges von PE-Rohren gezeigt, wo aufgrund der Erkenntnisse aus Messungen durch rechnerische Simulationen bewiesen werden konnte, dass die Verdichtung der Rohrgrabenverfüllung im Zuge des Einbauvorganges weitaus höhere Belastungen in den Rohren hervorruft, als über eine Mindestnutzungsdauer der Rohre von 50 Jahren im Betrieb zu erwarten ist. In dem Zusammenhang ist anzumerken, dass in keinem der einschlägigen Regelwerke und Richtlinien die Belastung der Rohre durch die Verdichtung der Rohrgrabenverfüllung

berücksichtigt wird, demnach also wesentliche Belastungsmechanismen nicht erfasst sind.

Die Belastung erdverlegter Rohrleitungen durch indirekte Lasten ist die Folge der erzwungenen geometrischen und mechanischen Anpassung der Rohre an die Umgebungsverhältnisse im erdverlegten Zustand. Dieser Anpassungsvorgang bewirkt Reaktionslasten vom Boden auf die Rohre, die als indirekte Lasten bezeichnet werden. Diese Belastungsgruppe lässt sich zwar einfach beschreiben, die Erfassung sowohl der Einwirkungen als auch der Auswirkungen auf erdverlegte Rohre ist aber relativ schwierig.

Bei der Verfüllung von Rohrgräben sind die beiden Bereiche – Leitungszone und Verfüllzone – zu unterscheiden. Für diese beiden Bereiche sind entsprechend der Funktionalität unterschiedliche Anforderungen für die Verfüllmaterialien zu beachten. Für die Verfüllung der Leitungszone sind vor allem die Anforderungen der Ver- und Entsorgungsunternehmen in Bezug auf die Bettung und Einbettung der Rohre im Rohrgraben maßgebend, wogegen für die Verfüllung der Wiederverfüllzone die Anforderungen der Straßenbaulastträger in Bezug auf die Fahrbahninstandsetzung maßgebend sind. Im Folgenden werden vor allem die Anforderungen und die Eigenschaften der stabilisierten Rohrgrabenverfüllmaterialien, wie z.B. der Boden-Mörtel, für die Leitungszone betrachtet.

Das wesentliche Merkmal der stabilisierten Rohrgrabenverfüllmaterialien für die Verfüllung der Leitungszone im Rohrgraben besteht in der flüssigen Einbringung im Rohrgraben, wodurch eine gleichmäßige Bettung der Rohrleitung in Rohrlängsrichtung und eine gleichmäßige Einbettung der Rohre über den Rohrumfang erzielt werden kann, was bei den konventionellen Verfüllmaterialien, wie z.B. Sand oder Kies, im Allgemeinen ohne zusätzliche Maßnahmen und damit Einwirkungen auf die Rohre nicht erreicht wird [Kiesselbach, 1998].

##### Gesamtsystem „Fahrbahn-Boden-Leitung“

Der prinzipielle Aufbau des Gesamtsystems „Fahrbahn-Boden-Rohr“ bei konventioneller Verlegung in offener Bauweise ist in *Abb. 1.35* dargestellt. Der Aufbau der Grabenverfüllung von der Grabensohle bis zur Fahrbahn kann in die Abschnitte: Leitungszone (LZ) und Wiederverfüllzone (WZ) unterteilt werden. Die Leitungszone ist jener Bereich, der die Leitung unmittelbar umgibt und für die mechanische Interaktion zwischen Boden und Leitung verantwortlich ist. Über der Leitungszone befindet sich die Wiederverfüllzone, die bis zur Fahrbahn reicht und nach den Anforderungen der Straßenbaulastträger herzustellen ist.



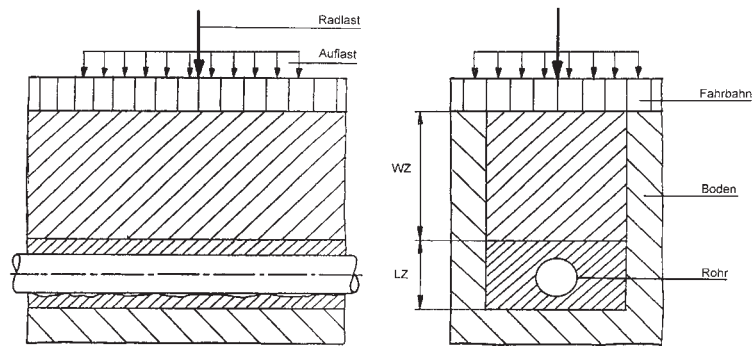


Abb. 1.35: Gesamtsystem „Fahrbahn-Boden-Rohr“ [Kiesselbach, 2000]

### Konventioneller Leitungsbau in offener Bauweise

Für die Verlegung und den Einbau erdverlegter Leitungen in konventioneller offener Bauweise existieren material- und anwendungsspezifische Regelwerke. Daneben existieren für die Aufgrabung und die Schließung von Leitungsgräben sowie die Wiederherstellung der Straßenkonstruktionen regional unterschiedliche Vorschriften von Bund, Ländern und Gemeinden, die Vorgaben über die Art der Grabenverfüllung, die Verdichtung der Grabenverfüllung sowie die Prüfungen am Planum der Verfüllzonen usw. festlegen. Diese Anforderungen beziehen sich auf die Anforderungen der Straße und nicht auf die Bedürfnisse erdverlegter Leitungssysteme im Hinblick auf Sicherheit und Wirtschaftlichkeit [Kiesselbach, 2000].

### Verlege- und Einbauverhältnisse

Für den konventionellen Einbau erdverlegter Rohrleitungen in offener Bauweise sind die Anforderungen für die Leitungszone in den einschlägigen Verlege- und Einbauvorschriften und die Anforderungen für die Wiederverfüllzone in den Vorschriften der Straßenbaulastträger festgelegt.

Der Spannungszustand im Boden bei ungestörtem Straßenaufbau ist gegeben durch die vertikale Spannung infolge des Bodengewichtes sowie die horizontale Spannung durch den Erdruchdruck. Der Aushub des Grabens entspricht einer Freistellung der Grabenwände in horizontaler Richtung, wodurch an den Rohrgrabenwänden ein spannungsfreier Zustand eintritt und der ursprüngliche horizontale Spannungszustand in einen entsprechenden Verformungszustand der Rohrgrabenwände übergeführt wird. Zur Vermeidung großer Verformungen der Rohrgrabenwände bzw. Rutschungen und Setzung der benachbarten Fahrbahnstreifen ist es notwendig, diese entsprechend z.B. durch einen Grabenverbau abzustützen. Für die Rohrauftragung auf der Grabensohle ist die Bettung so auszubilden, dass Längsbiegungen und Punktlasten vermieden werden. Die Verfüllung der Leitungszone hat mit geeignetem Verfüllmaterial zu erfolgen. Für kleine Rohrdurchmesser und schmale Gräben erfolgt die Verfüllung bis zum Planum der Leitungszone in einem Zug, wobei üblicherweise nur eine Verdichtung mit leichtem handgeführten Gerät der Verfüllung in der Leitungszone und auch im Zwickelbereich möglich ist. Bei großen Rohrdurchmessern und breiten Gräben erfolgt die Verfüllung

und Verdichtung in der Leitungszone lagenweise, wobei darauf zu achten ist, dass keine Ovalisierung der Rohre in Vertikalrichtung auftritt. Die Verfüllung der Wiederverfüllzone hat mit geeignetem Verfüllmaterial, entsprechend den Anforderungen der Straßenbaulastträger, zu erfolgen, wobei die Einbringung und Verdichtung lagenweise in Schichten von etwa 30 cm zu erfolgen hat. Die im Zuge der Rohrgrabenverfüllung eingebrachten Verfüllmaterialien haben in der Regel andere mechanische Eigenschaften als der ursprüngliche Boden. Zur Vermeidung nachträglicher Setzungen der Rohrgrabenverfüllung ist es notwendig, das eingebrachte Verfüllmaterial zu verdichten. Die Aufgabe bei der Verdichtung besteht darin, einerseits den Boden zu homogenisieren, also die durch die lose Einbringung vorhandenen Hohlräume zu egalisieren und eine gleichmäßige Lagerungsdichte zu schaffen und andererseits die durch den Aushub des Rohrgrabens verloren gegangene horizontale Verspannung des Bodens wiederherzustellen. Dies erfolgt mit entsprechenden Verdichtungsgeräten und einem den Anforderungen entsprechenden Verdichtungsaufwand. Die Verdichtung der Rohrgrabenverfüllung ist von der Steifigkeit des bestehenden Bodens abhängig. Je geringer die Steifigkeit der bestehenden Böden ist, umso größer wird die erforderliche Verdichtungsarbeit sein, um den Verformungsmodul der Wiederverfüllzone entsprechend den Vorgaben der Straßenbaulastträger zu erfüllen. Bei „selbstverdichtenden Verfüllmaterialien“, also Verfüllmaterialien die fließfähig eingebaut werden und danach eine definierte Festigkeit erreichen, wird die erforderliche Verdichtungsarbeit zur Erfüllung der Anforderungen des Verformungsmoduls der Wiederverfüllzone relativ gering sein. Die Überprüfung der Verdichtung in der Wiederverfüllzone erfolgt am Planum der obersten Schicht durch Lastplattenversuche, wobei von den Straßenbaulastträgern entsprechende Werte für den Verformungsmodul vorgegeben sind.

### Belastungen und Beanspruchungen in Rohr-umfangsrichtung

Messungen des Verformungszustandes erdverlegter Kunststoffrohre unmittelbar nach dem Einbau, bei lagenweiser Verfüllung und Verdichtung der Rohrgrabenverfüllung, haben gezeigt, dass Verformungen in den Rohren auftreten können, die weit über den Werten für den Belastungszustand „Erdlast“ nach den einschlägigen Regelwerken liegen.

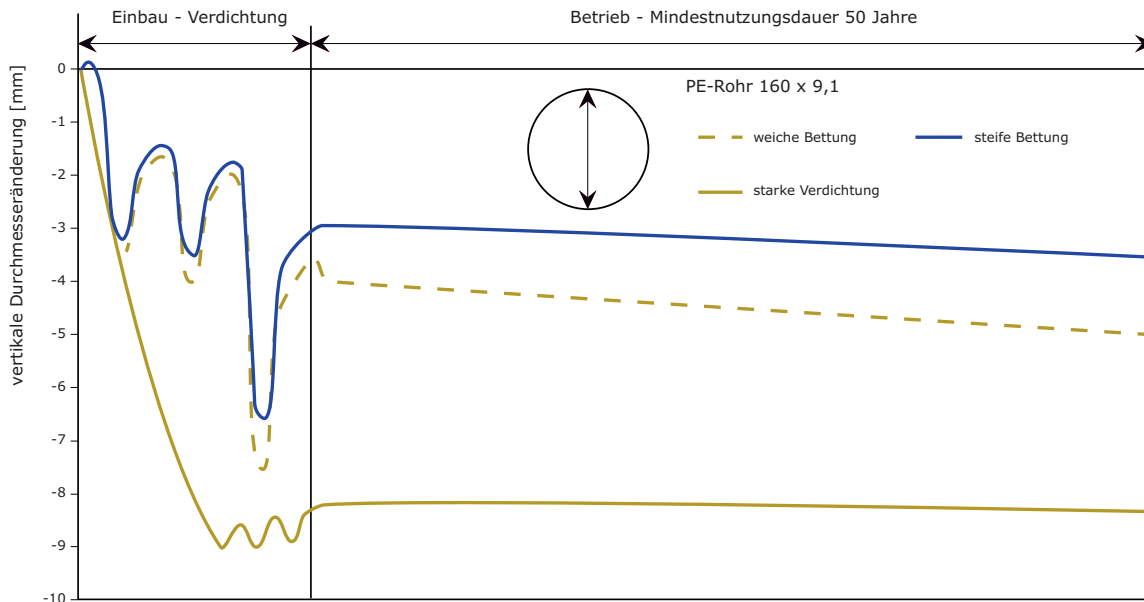


Abb. 1.36: Verformung eines Rohres bei Einbau und im Betrieb [Kiesselbach, 2000]

Experimentelle und analytische Simulationen zeigen, dass beim Einbau der Rohre durch die Verdichtung der Grabenverfüllung, entsprechend dem Druck-Setzungsverhalten des Verfüllmaterials, eine bleibende Verspannung der Verfüllung in der Leitungszone bewirkt wird, wodurch auch ohne entsprechende Auflasten hohe, nichtreversible Verformungen der Rohre eintreten können. Der in den einschlägigen Regelwerken enthaltene Begriff „Erdlast“ ist nur für eine Schüttung der Grabenverfüllung gültig. Für eine ordnungsgemäße Verdichtung der eingebrachten Grabenverfüllung entsprechend den Anforderungen der Straßenbaulastträger ist eine Verdichtungslast zu berücksichtigen, die wesentlich größer als die Erdlast sein kann.

In Abb. 1.36 sind prinzipiell die vertikalen Durchmesseränderungen eines Rohres unter den Einwirkungen durch den Einbau und den Betrieb aufgrund von Simulationen des Strukturverhaltens des Rohres bei lagenweiser Verfüllung und unterschiedlicher Verdichtung der Rohrgrabenverfüllung zur qualitativen Abschätzung der Einwirkungen durch den Verdichtungsprozess dargestellt. Das Bild zeigt, dass die lagenweise Verdichtung der Verfüllung in der Wiederverfüllzone wesentliche Verformungen in den Rohren und im bestehenden Boden hervorruft und einen beträchtlichen Einfluss hinsichtlich der Beanspruchung auf erdverlegte Rohre gegenüber den Einwirkungen im Betrieb haben kann.

Für die Planung und den Bau von erdverlegten Rohrleitungen ist es notwendig, neben den Belastungen durch den Innendruck sowie den Auflasten auch die Auswirkungen der Bodeneigenschaften und der Einbauverhältnisse auf das Beanspruchungs- und Verformungsverhalten der Rohre unter Berücksichtigung der mechanischen Eigenschaften des Rohrwerkstoffes deutlich aufzuzeigen.

### Belastungen und Beanspruchungen in Rohrlängsrichtung

Die nach dem Stand der Technik übliche Annahme gleichmäßiger Umgebungsbedingungen der Rohre in der Leitungszone ist in der Regel nicht erfüllt. Die Abweichungen der Umgebungsbedingungen für erdverlegte Rohrleitungen von idealen, gleichmäßigen Verhältnissen können als Imperfektionen bezeichnet werden. Diese sind bereits von der Verlegung an in der Leitungszone vorhanden oder werden durch nachträgliche Arbeiten im Rohrbereich sowie durch lokale Störungen der Umgebungsbedingungen geschaffen. Bei den Imperfektionen der Umgebungsverhältnisse erdverlegter Rohrleitungen handelt es sich nicht um determinierbare Zustände, sondern vorwiegend um regellose, zufällig verteilte Verhältnisse in der Leitungszone. Die durch die Imperfektionen der Umgebungsverhältnisse erdverlegter Rohrleitungen in den Rohren auftretenden Belastungen werden als indirekte Lasten bezeichnet. Die Belastung erdverlegter Rohrleitungen durch indirekte Lasten ist die Folge der erzwungenen geometrischen und mechanischen Anpassung der Rohre an die Umgebungsverhältnisse im erdverlegten Zustand. Diese Belastungsgruppe lässt sich zwar einfach beschreiben, die Erfassung sowohl der Einwirkungen als auch der Auswirkungen auf erdverlegte Rohre ist aber relativ schwierig. Der Grund liegt darin, dass die Effekte nur indirekt festzustellen sind und sowohl die Einwirkungen, als auch die Auswirkungen auf erdverlegte Rohrleitungen in gewissen Schranken einer Zufälligkeit sowohl hinsichtlich des örtlichen Auftretens als auch hinsichtlich der Größe unterliegen.

Unter die Gruppe der indirekten Lasten fallen unter anderem die Einwirkungen durch:

- Unebenheiten der Rohrgrabensohle,
- Ungleichmäßigkeit der Bettungs- und Einbettungsverhältnisse,
- Ungleichmäßigkeit der Einbaulasten.

Die geometrische und mechanische Anpassung des Rohres an die imperfekte Rohrgrabensohle führt zu Zusatzbeanspruchungen im Rohr, die wesentlich höher sein können als die im Betrieb zu erwartenden Belastungen. Eine ausführliche Darstellung der Ein- und Auswirkungen durch indirekte Lasten auf erdverlegte Rohrleitungen ist in [Kiesselbach, 1990], [Kiesselbach, 1991], [Kiesselbach, 1992] enthalten. In *Abb. 1.37* ist der gemessene Höhenverlauf einer Rohrgrabensohle mit Sandbettung dargestellt. Deutlich ist der zufällige Charakter des Höhenverlaufes zu erkennen. Das Rohr muss sich entsprechend der Interaktion zwischen Boden und Rohr dem Höhenverlauf geometrisch und mechanisch anpassen.

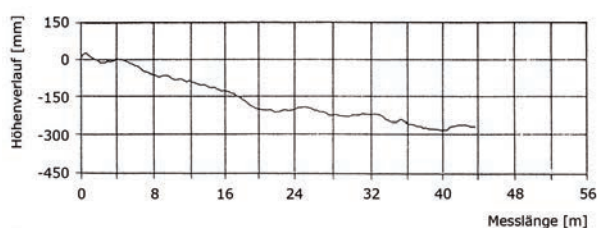


Abb. 1.37: Gemessener Höhenverlauf einer Rohrgrabensohle [Kiesselbach, 2000]

### Schlussfolgerungen

Die Nachteile der konventionellen Verlegung von Leitungen in offener Bauweise mit Verdichtung der Grabenverfüllung können durch selbstverdichtende Verfüllmaterialien, wie z.B. dem WBM Weimarer Boden-Mörtel<sup>®</sup>, kompensiert werden, wobei durch die flüssige Einbringung eine gleichmäßige Bettung und Einbettung der Rohre in der Leitungszone sowie auch eine verdichtungsfreie Verfüllung in der Wiederverfüllzone möglich ist. Die Art der Einbringung der selbstverdichtenden Verfüllmaterialien in die Leitungsgräben und die rasche Aushärtung bewirken eine ausreichende Steifigkeit der Verfüllung mit nur geringen Setzungen und damit wesentliche Vorteile für die Straßewiederherstellung. Bei Verwendung stabilisierter Verfüllmaterialien ist es nicht mehr notwendig, zunächst eine provisorische Straßewiederinstandsetzung durchzuführen. Es ist möglich, auf die weitaus kostengünstigere Variante einer sofortigen Straßewiederherstellung überzugehen. Damit sind auch wesentliche Vorteile hinsichtlich der Nutzungsdauer der Straßenverkehrsflächen zu erwarten. Die Verfüllung von Leitungsgräben mit selbstverdichtenden Verfüllmaterialien bringt Vorteile hinsichtlich der Belastung der Leitungen durch den erdverlegten Zustand sowie hinsichtlich der Sicherheit und Funktionalität und damit hinsichtlich der Nutzungsdauer sowohl der erdverlegten Leitungen als auch der Straßenverkehrsflächen [Kiesselbach, 2000].

### 1.2.7.2 Selbstverdichtende Verfüllmaterialien

#### Einleitung

Aufgrund der Versäumnisse in der Gegenwart und Vergangenheit, in denen der gezielten Sanierung und Erneuerung von Rohrleitungsnetzen nur ungenügend Aufmerksamkeit geschenkt wurde, ist in naher Zukunft mit einem erhöhten Sanierungs- und Erneuerungsbedarf an Rohrleitungen und Rohrleitungsnetzen zusätzlich zu den Neuerschließungen zu rechnen. Infolge von Havariiefällen oder nachträglicher Verlegung von Leitungen jeglicher Art wird gegenwärtig bereits eine Vielzahl intakter Straßenoberflächen geöffnet und anschließend der Versuch unternommen, die Fahrbahndecke in ihrem alten Zustand wieder herzustellen. Die erforderlichen Arbeiten für den Tiefbau; d.h. das Ausheben des Bodens, den Wiedereinbau des Verfüllmaterials und das Wiederherstellen des Straßenoberbaus machen bei diesen Baumaßnahmen den Hauptanteil an den Gesamtkosten aus. In innerstädtischen Bereichen können diese Baukosten bis zu 80 % der Investitionskosten für die Rohrleitung ausmachen. Hier liegt also ein erhebliches Einsparpotenzial für die Sanierung und Erneuerung von Leitungsnetzen.

Örtliche Gegebenheiten, eine große Anzahl von querenden Versorgungsleitungen, unsachgemäßer Umgang mit Verfüllstoffen und der Preiskampf am Markt tragen außerdem dazu bei, dass aufgrund unsachgemäßer Bauausführung in den Folgejahren wiederholt Schäden an diesen Baustellen (Setzungen, Rohrbrüche usw.) auftreten, welche zu erheblichen Schadensersatzansprüchen und zur Belastung für Mensch und Umwelt führen.

In einem Forschungsprojekt „Hochfrequenter Rollenkontakt der Fahrzeugräder“ der TU Berlin, in welchem man den Einfluss von Straßenbelastungen auf die Entwicklung von Straßenschäden untersucht hat, wurde festgestellt, dass sich schon durch kleine Bodenunebenheiten bei hoher Fahrgeschwindigkeit die Radlasten kurzzeitig um ein Vielfaches erhöhen<sup>6</sup>.

Diese hohen Stoßbeanspruchungen belasten die Fahrbahn stark, Straßendecken werden rissig, Betondecken werden brüchig, Wasser und Frost können eindringen. Außerdem werden die Reifen der Fahrzeuge überdimensional belastet.

Im Hinblick auf diese Untersuchungsergebnisse sind Unebenheiten in der Straße z.B. bei Neuverlegung, Reparatur und Sanierungsarbeiten an Rohrleitungen und insbesondere spätere Setzungserscheinungen an den Straßen dringlichst zu vermeiden, um den Sanierungsaufwand an den Straßen und Rohrleitungsnetzen in Zukunft nicht noch weiter drastisch ansteigen zu lassen.

#### Fließfähige Verfüllmaterialien – Überblick

##### Allgemein

Fließfähige Verfüllmaterialien zeichnen sich dadurch aus, dass sie nach ihrer Herstellung für eine gewisse Zeit in einem fließfähigen Zustand verbleiben und sich

<sup>6</sup> <http://archiv.pressestelle.tu-berlin.de/tui/97feb/reifen.htm>



danach durch einen gezielten Abbindeprozess stabilisieren bzw. verfestigen. Die Plastizität sowie die zu erreichenden Festigkeiten sind meist einstellbar und werden auf die aus unterschiedlichen Anwendungsfällen resultierenden Anforderungen angepasst.

Diese fließfähigen Verfüllmassen sind in ihrer Herstellung und Verarbeitung vergleichbar mit Mörtel und Fließestrich, unterscheiden sich aber z.T. in ihren Ausgangs- und Zusatzstoffen und je nach Anwendungsgebiet in ihren Endprodukteigenschaften.

Abb. 1.38 enthält eine Auswahl von Verfüllmaterialien.

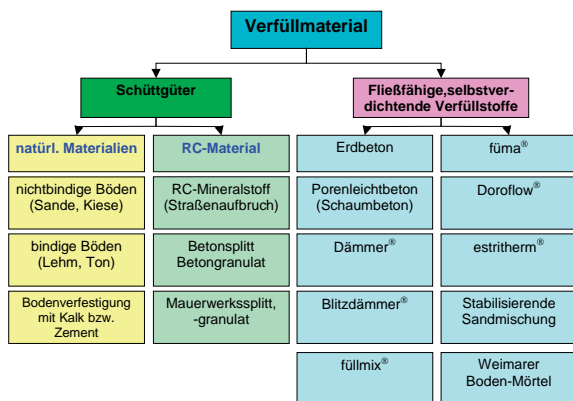


Abb. 1.38: Auswahl von zur Anwendung kommender Verfüllmaterialien

**Bettungs- und Verfüllmaterial für Rohrleitungsgräben**

Neben den verschiedenen Schüttgütern finden insbesondere die speziell für den Anwendungsfall Bettungs- und Verfüllmaterial für Leitungssysteme in den letzten Jahren entwickelten und sich in der Praxis bewährten fließfähigen selbstverdichtenden Material immer breitere Anwendung.

Stabilisierte Sandmischung (SSM)

Die „Stabilisierte Sandmischung“ ist ein in Österreich Anfang der 80er-Jahre speziell für das Verfüllen von Rohrleitungsgräben entwickeltes fließfähiges Verfüllmaterial. Es besteht aus Sand, Wasser, diversen Betonzusatzstoffen, dem mineralischen Bindemittel Zement und einem Fließmittel auf der Basis von mit Druckluft und Wasser aufgeschäumten alkalibeständigen Proteinen. Bei Eignung des Aushubmaterials kann dieses (fraktionsabhängig) wiederverwertet werden und damit der Natursand z.T. ersetzt werden. Ein Umschließen der Rohrleitungen ohne Verdichtungsarbeit wird durch das Fließverhalten der „Stabilisierten Sandmischung“ möglich. Aufgrund der überwiegenden Bestandteile an Sand der Fraktion bis 8 mm und des niedrigen Zementanteils werden Endfestigkeiten erreicht, die dem gewachsenen Boden entsprechen und ein späteres Freilegen der Rohrleitung (Spatenlösbarkeit) ohne Probleme ermöglichen [Österreichisches Patentamt, 1984].

Hydraulisch verdichtende Verfüllmaterialien (HVV)

Durch die MVV Energie AG Mannheim wurde aufgrund der nur in Österreich zur Verfügung stehenden Rezeptur der SSM von der Firma Schwarzl der Versuch unternommen, Verfüllmaterialien auf der Basis regional

zur Verfügung stehender Materialien zu entwickeln. Umfangreiche Technikumsversuche insbesondere für den Einsatz an Fernwärmeleitungen wurde durchgeführt [Hoffmann und Göhler, 2003].

Weimarer Boden-Mörtel

Der Weimarer Boden-Mörtel kann aufgrund seiner Zusammensetzung als konsequente Weiterentwicklung von Boden-Bindemittel-Gemischen angesehen werden. Er besteht zu über 90 % aus Recyclingmaterial und/oder natürlichen Aushubböden, wie Kies, Sand, Schluff und Ton. Neben dem Vorteil der Boden-Bindemittel-Gemische durch die Zugabe von hydraulischen Bindemitteln Böden wiedereinbaubar zu machen, weist der Weimarer Boden-Mörtel, wie die „Stabilisierte Sandmischung“, den Vorteil auf, fließfähig und damit verdichtungslos einbaubar zu sein. Als Verflüssiger fungiert hierbei eine Mischung aus Wasser, Ton sowie speziellen Zusätzen und als Stabilisator Zement.

Dieses fließfähige Verfüllmaterial wurde ebenfalls vorrangig für das Verfüllen von Leitungsgräben entwickelt, aber auch bereits erfolgreich zum Verfüllen von unterirdischen Hohlräumen und Tankanlagen eingesetzt. Je nach Ausgangsmaterial wird eine auf den jeweiligen Anwendungsfall zugeschnittene Rezeptur im Labor erstellt. Die Verarbeitungskonsistenz, die Druckfestigkeiten (0,15–0,30 N/mm<sup>2</sup>) wie auch die Tragfähigkeit (E<sub>V2</sub> = 35–130 MN/m<sup>2</sup> nach ZTVE-StB) sind hierbei in Abhängigkeit vom Ausgangsmaterial einstellbar.

Die Umweltverträglichkeit des Weimarer Boden-Mörtels kann bei Einsatz unbelasteter Ausgangsmaterialien (Aushubböden, RC-Material) und aufgrund der im Bauwesen bereits zugelassenen Materialien für den Plastifikator und Stabilisator sichergestellt werden. Es bestehen somit keine Einschränkungen für den Einsatz dieses Verfüllmaterials.

**Weimarer Boden-Mörtel**

*Zusammensetzung des WBM*

Das Vorschriftenwerk des Leitungs- und Straßenbaues nimmt bereits auf die Anwendung von Boden-Bindemittel-Gemischen bzw. stabilisierten Böden Bezug. Der Boden-Mörtel ist eine schlüssige Weiterentwicklung dieser Boden-Bindemittel-Gemische, die zu einem neuen Baustoff und einer neuen Einbautechnologie geführt hat.

Seit 1996 arbeiten das Forschungsinstitut für Tief- und Rohrleitungsbau Weimar e.V. und die FITR – Gesellschaft für Innovation im Tief- und Rohrleitungsbau Weimar mbH an der Weiterentwicklung von verdichtungslos einbaubaren, fließfähigen Verfüllmaterialien für den Tief- und Rohrleitungsbau. Mit dieser neuartigen, qualitativ hochwertigen umweltschonenden Verfülltechnologie können die Kosten der Tiefbaumaßnahmen um bis zu 30 % gesenkt werden. Neben dem Wegfall des Verdichtens und der Verdichtungsprüfung sowie der Reduzierung der Grabenbreite, wie bei allen fließfähigen selbstverdichtenden Verfüllmaterialien, verringern sich beim WBM zusätzlich die Kosten für Bodenaushub, Transport und Deponierung des Aushubmaterials. Dem Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz

– KrW-/AbfG wird durch die Möglichkeit der Wiederverwertung von Aushubmaterial und umweltfreundlichen und ressourcenschonenden Recyclingbaustoffen zur Herstellung Rechnung getragen.

WBM ist ein kurzzeitig fließfähiges, breiig-weiches Stoffgemisch, das sich nach einstellbarer Zeit selbständig verfestigt und nach Erreichen seiner Endfestigkeit spatenlösbar ist. Es setzt sich aus folgenden Bestandteilen zusammen:

- Grundmaterial:** geeignete Recyclingbaustoffe, natürliche Böden (Aushub), wie Kies, Sand, Schluff und Ton bzw. Gemischen davon
- Verflüssiger:** PLATROS®, Ton mit speziellen Zusätzen
- Stabilisator:** Zement

#### *Wiederverwendung von Aushubböden als Grundmaterial*

Das Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz (KrW/AbfG) beinhaltet bekanntlich das Prinzip: „Abfallvermeidung vor Abfallverwertung vor Abfallbeseitigung“. Indem das Weimarer Boden-Mörtel-Verfahren als Grundmaterial die örtlich anstehenden Aushubböden wieder verwendet wird, da für die Leitungszone kein Natursand mehr verwendet wird, nicht nur Abfall vermieden, sondern auch natürliche Ressourcen geschont. In den langjährigen Untersuchungen des FITR Weimar e.V. konnte für die Mehrheit von Aushubböden die Eignung als Grundmaterial nachgewiesen werden. Für stark lehmige Böden sind aber entsprechend geeignete Mischverfahren mit hoher Mischintensität erforderlich. Bei Leitungstrassen unter befestigten Verkehrsflächen werden nicht nur die angeschnittenen Erdschichten durchmischt, auch Festgesteine aus Frostschuttschichten und Schottertragschichten kommen mit hinzu.

Auch diese Gemische eignen sich bei entsprechender Aufbereitung und Homogenisierung.

Durch die Integration von Recycling-Baustoffen in das Verfahren wird gezielt Abfallverwertung betrieben, sofern die einzusetzenden Mischabbruchgranulate sich als umweltverträglich erweisen. Als Nachweisverfahren ist die sog. LAGA-Richtlinie [LAGA, 1997] zu befolgen, die den Bundesländern als Empfehlung vorliegt. Sie beinhaltet auch einschlägige Untersuchungskonzepte, Bewertungsvorgaben, Hinweise für Verwertungs- bzw. Einbaumöglichkeiten u.ä., wobei sich die Untersuchungen auf Kennwerte, wie elektrische Leitfähigkeit, pH-Wert sowie Gehalte an Schwermetallen, PAK's, Sulfate u.ä. richten.

Grundsätzlich gelten die für natürliche Böden zu führende Nachweise auch für RC-Baustoffe. RC-Baustoffe lassen sich problemlos mit den Plastifikatoren und Stabilisatoren vermischen und zu fließfähiges, selbstverdichtendes Verfüllmaterial verarbeiten.

Da sich durch die Verwertung von Mischabbruchgranulat für die Wiederverfüllung der Leitungsrinnen gleich-

falls die Material-, Transport- und Deponiekosten verringern und bei gleich bleibender Einbauqualität keinerlei Einbau- und Verdichtungskosten anfallen, ist die Anwendung von Weimarer-Boden-Mörtel aus Mischabbruchgranulaten umweltschonend und wirtschaftlich attraktiv.

Das Boden-Mörtel-Verfahren ist durch die Vermeidung und Verwertung von Bauabfällen und Einsparung von natürlichen Ressourcen nicht nur umweltfreundlich, sondern hat gegenüber den anderen fließfähigen selbstverdichtenden Bettungsmaterialien noch den Vorteil, dass sich die Material-, Transport- und Deponiekosten verringern.

#### *Herstellung*

Die Herstellung und Verarbeitung des WBM kann ähnlich der Transportbetonherstellung erfolgen (*Abb. 1.39* und *Abb. 1.40*). Die oben genannten Bestandteile werden nach vorgegebener Rezeptur in einer stationären oder mobilen Mischanlage zum Fertigprodukt verarbeitet.

Die vorübergehende Konsistenz zur Verarbeitung der Mischung kann im Bereich steif bis weich/breiig eingestellt werden. Der Transport zur Baustelle erfolgt mit normalen Transportbetonmischfahrzeugen. Über die am Fahrzeug befindliche Austragsschurre fließt das Material in den zu verfüllenden Hohlraum im Erdreich.

Boden-Mörtel nivelliert sich selbständig und erhärtet anschließend. Die Festigkeit wird in der Regel so eingestellt, dass sie Tragfähigkeiten vergleichbar mit konventionellen Verfüllmaterialien erreicht und im Bedarfsfall ähnlich Bodenklasse 4 nach DIN 18300, z.B. mittels Spaten, wieder gelöst werden kann.



Abb. 1.39: Einbau von WBM in Weimar 1997





Abb. 1.40: Querschnitt einer Fernwärmetrasse in Weimar

#### Einsatz des WBM's

##### Allgemein

Die Erfahrungen beim Einsatz von WBM stützen sich auf umfangreiche Labor und Eignungsuntersuchungen einer Vielzahl verschiedener Ausgangsmaterialien und auf zahlreiche bundesweit und international vom FITR Weimar e.V. ausgeführten bzw. betreuten Versuchsbaustellen sowie den Erkenntnissen der Lizenznehmern bei der Markteinführung und dem Einbau von WBM.

In der Literatur wurde eine Vielzahl von Untersuchungen und Baustellen (Gas, Wasser, Fernwärme, Abwasser) bereits vorgestellt [Werner und Henning, 1997], [Berger, 1999], [Berger et al., 1999], [Berger und Büchner, 1999], [Berger et al., 2000], [Berger, 2000], [Lübbecke, 2000], [Witt, 2000], [Berger, 2001c], [Berger, 2001a], [Berger, 2001b], [Berger, 2002], [Berger und Büchner, 2002], [Berger und Krausewald, 2002], [Kimse, 2004], [Berger, 2012], [Romanowski und Scholz, 2014].

Für eine breite Anwendung und Qualitätssicherung in der Praxis wurden in einem vom BMWI geförderten Forschungsvorhaben die stofflichen (z.B. unterschiedlichen Eigenschaften der einzusetzenden Ausgangsmaterialien) und die technologischen Einflussparameter auf die Kennwerte und Eigenschaften des Verfüllmaterials untersucht. Es wurde einerseits der stoffliche Einfluss von z.B. Feuchte und Körnungsaufbau des Grundmaterials auf die Eigenschaften des Verfüllmaterials quantifiziert sowie bodenmechanische Prüfverfahren auf das fließfähige Verfüllmaterial angepasst und bodenmechanische Kennwerte ermittelt. Andererseits wurde durch Untersuchungen der technologischen Randbedingun-

gen ein optimierter Arbeitsablauf für eine stationäre Pilotanlage konzipiert und in Erfurt umgesetzt.

Inzwischen wurden die selbstverdichtenden Verfüllmaterialien auch im Regelwerk berücksichtigt. Im Hinweisblatt der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen „Hinweise für die Herstellung und Verwendung von zeitweise fließfähigen selbstverdichtenden Verfüllbaustoffen im Erdbau H ZFSV“ werden die geforderten Eigenschaften des Materials und die zugehörigen Prüfverfahren beschrieben [FGSV, 2012].

##### Langzeitverhalten

Langzeituntersuchungen an bestehenden Baustellen seit 1996 zeigen, dass sich die Enddruckfestigkeiten und damit auch das Tragverhalten des WBM in der Praxis nur unerheblich verändern und eine manuelle Lösbarkeit des Materials auch über längere Zeiträume gegeben ist.

Im Jahr 1996 wurde im Rahmen eines Forschungsvorhabens die erste Rohrleitung (Fernwärmetrasse bestehend aus einer Kunststoffmantelrohrleitung  $2 \times \text{DN } 150$ ; Nebeneinanderverlegung) in WBM, bestehend aus einem Mischabbruchgranulat, verlegt. An dieser Versuchstrasse wurden verschiedene Untersuchungen zum Verhalten Bettung, Rohr angrenzendes Material durchgeführt und insbesondere zum Nachweis des Langzeitverhaltens des Verfüllmaterials Kontrollgrabung nach etwa 1 Monat und 9 Monaten durchgeführt. Der Boden-Mörtel war an beiden Zeitpunkten erdfeucht und spatenlösbar. Nach 9 Monaten konnte z.B. mit Hilfe des statischen Plattendruckversuches ein Verformungsmodul von  $E_{V2} = 99,367 \text{ MN/m}^2$  und  $E_{V2}/E_{V1} = 2,445$  nachgewiesen werden. Danach waren an dieser Trasse weitere Untersuchungen nicht mehr möglich, da sich inzwischen auf diesem Gelände eine Straße für eine neue Wohnungsbausiedlung befindet und an den Leitungen keine Reparaturen erforderlich waren.

Im Jahr 1997 wurde eine Gasleitung als Versuchsstrecke im Transportnetz der Gasversorgung Thüringen in Tonndorf realisiert (Rohrmaterial HDPE,  $D_a = 110 \text{ mm}$ , Länge: 210 m).

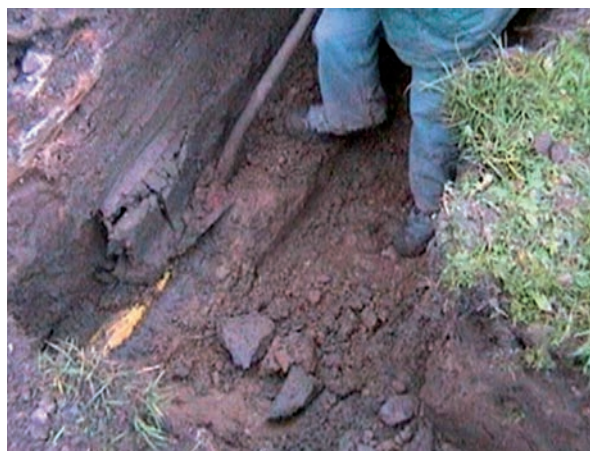


Abb. 1.41: Aufgrabung Trasse Tonndorf-Nauendorf nach 5 Jahren



Als Grundmaterialien für den WBM wurden hier eingesetzt:

- gefräster bindiger Aushubboden mit Gesteinseinschlüssen aus der Schottertragschicht nach Absiebung, Größtkorn 40 mm
- Mischabbruchgranulat 0–8 mm

Anhand von Aufgrabungen an dieser Versuchstrasse im November 2001 mit der Gasversorgung Thüringen und im Juni 2002 in Anwesenheit von Vertretern der TELEKOM konnte die Langzeitbeständigkeit des Bettungsmaterials anhand der Tragfähigkeit und Spatenlösbarkeit (Abb. 1.41) nachgewiesen werden. Das Bettungsmaterial wies die gleiche Materialfeuchte wie das anstehende Erdreich auf.

#### Weitere Anwendungsfelder

Das gesamte Anwendungsfeld für das Boden-Mörtel-Verfahren im Tief- und Straßenbau ist derzeit noch nicht erschlossen. Wo beengte Platzverhältnisse den Einbau und die Verdichtung von ungebundenen Lockergesteinen behindern, vor allem dann, wenn hohe Ansprüche an die Verdichtung zu erfüllen sind, wie als Untergrund für Verkehrsflächen u.ä. auch Bauwerkshinterfüllungen, Auffüllungen und Überschüttungen gehören hierzu, stellen fließfähige verdichtungslos einbaubarere Verfüllmaterialien ein kostengünstiges alternatives Bauverfahren dar. Auch Abschwemmsperren bei stark geneigten Leitungstrassen, Eindichten von Schächten in Ver- und Entsorgungsnetzen, Verfestigung locker gelagerter Sande, Anwendung von Trenn- und Dichtungsschichten in der Umwelttechnik usw. stellen neben der Verwertung von Aschen und landschaftlicher Rekultivierungs- und Sanierungsmaßnahmen weitere Anwendungsfelder dar.

#### Vorteile fließfähiger selbstverdichtender Verfüllmaterialien

Die Vorteile der fließfähigen, selbstverdichtenden Verfüllmaterialien sind:

1. verdichtungsloser Einbau und damit Wegfall der Verdichtungsarbeit,
2. Spatenlösbarkeit des Bettungsmaterials,
3. Reduzierung der Grabenbreiten und damit Reduzierung des Aushubvolumens,
4. Verringerung der Beanspruchung des Rohres beim Einbau,
5. Verbesserung der Bettungseigenschaften, d.h. Lagerbedingungen des Rohres und daraus resultierend Erhöhung der Lebensdauer der Rohrleitung und Rohrleitungsnetze.

Die Boden-Mörtel zeichnen sich zusätzlich aus:

- durch gezielte Rezepturerstellung den anstehenden natürlichen Boden bzw. Recycling-Material als Grundmaterial einzusetzen und damit das Aushubmaterial einer direkten Verwertung zuzuführen,
- in weiten Grenzen und in Abhängigkeit vom einzusetzenden Grundmaterial einstellbare Verarbeitungs- und Endprodukteigenschaften,
- Schonung der immer knapper werdenden natürlichen Ressourcen,

- Einsparungen für das Ablagern und Verwerten von Aushubmaterialien,
- geringe Kosten für Herstellung und Einbau des Verfüllmaterials,
- Umweltverträglichkeit und damit Einsatzmöglichkeit in allen Bereichen (Wasserschutzzonen) bei geeignetem Grundmaterial.

#### 1.2.7.3 Besonderheiten der Rohrtragfähigkeitsberechnung bei Einsatz von SVM / Bodenmörtel

Die statische Berechnung von erdverlegten Rohrleitungen ist in DIN EN 1295-1 [DIN, 1997a] geregelt.

Diese europäische Vorschrift enthält die jeweilig national eingeführten Richtlinien. Deutschland bezieht sich auf das ATV-DVWK-Arbeitsblatt A 127 „Statische Berechnung von Abwasserkanälen und -leitungen“ [ATV, 2008]. Das ATV-DVWK-Arbeitsblatt A 127 gilt zwar hauptsächlich für die statische Berechnung von Abwasserkanälen und -leitungen, die im Rohrgraben verlegt werden, ist aber auch für alle anderen erdverlegten Rohre anwendbar. Es ist allerdings auf die natürlichen Böden, also die „konventionelle“ Verfüllmethode, abgestimmt und definiert 4 verschiedene Bodengruppen G1 ... G4, denen diese natürlichen Böden zugeordnet sind:

- Gruppe 1: Nichtbindige Böden (GE, GW, GI, SE, SW, SI)
- Gruppe 2: Schwachbindige Böden (GU, GT, SU, ST)
- Gruppe 3: Bindige Mischböden, Schluff (GU\*, GT\*, SU\*, ST\*, UL, UM)
- Gruppe 4: Bindige Böden (TL, TM, TA, OU, OT, OH, UA)

(Kurzzeichen der Böden nach DIN 18196 [DIN, 2011a])

Der Berechnungsalgorithmus des ATV-DVWK-Arbeitsblattes A 127 (Kurzdarstellung siehe Abb. 1.42) beruht auf einer Vielzahl bodenmechanischer Kenngrößen. Um diese Richtlinie anwenden zu können, ist eine Einordnung des anstehenden Bodens sowie der Verfüllmaterialien in die Bodengruppen G1...G4 notwendig. Hieraus resultieren berechnungsrelevante Kenngrößen, wie z.B. Scherparameter und Elastizitätsmoduln. Zugleich besteht die Möglichkeit, vom ATV-DVWK-A 127 abweichende Bodenkennwerte zu verwenden.

Wenn selbstverdichtende Verfüllmaterialien (SVM) wie der Weimarer Bodenmörtel (WBM) in der Rohrgrabenverfüllung (d.h. in der Hauptverfüllung und/oder in der Leitungszone) Verwendung finden, so stellt sich die Frage, inwiefern sich der Einsatz dieser unkonventionellen Verfüllmethode auf die Tragwirkung des Gesamtsystems Rohr/SVM/Boden auswirkt. Am Beispiel des Weimarer Bodenmörtels (WBM) sollen die Besonderheiten der modifizierten Rohrtragfähigkeitsberechnung auf der Basis des ATV-DVWK-Arbeitsblattes A 127 dargestellt werden.

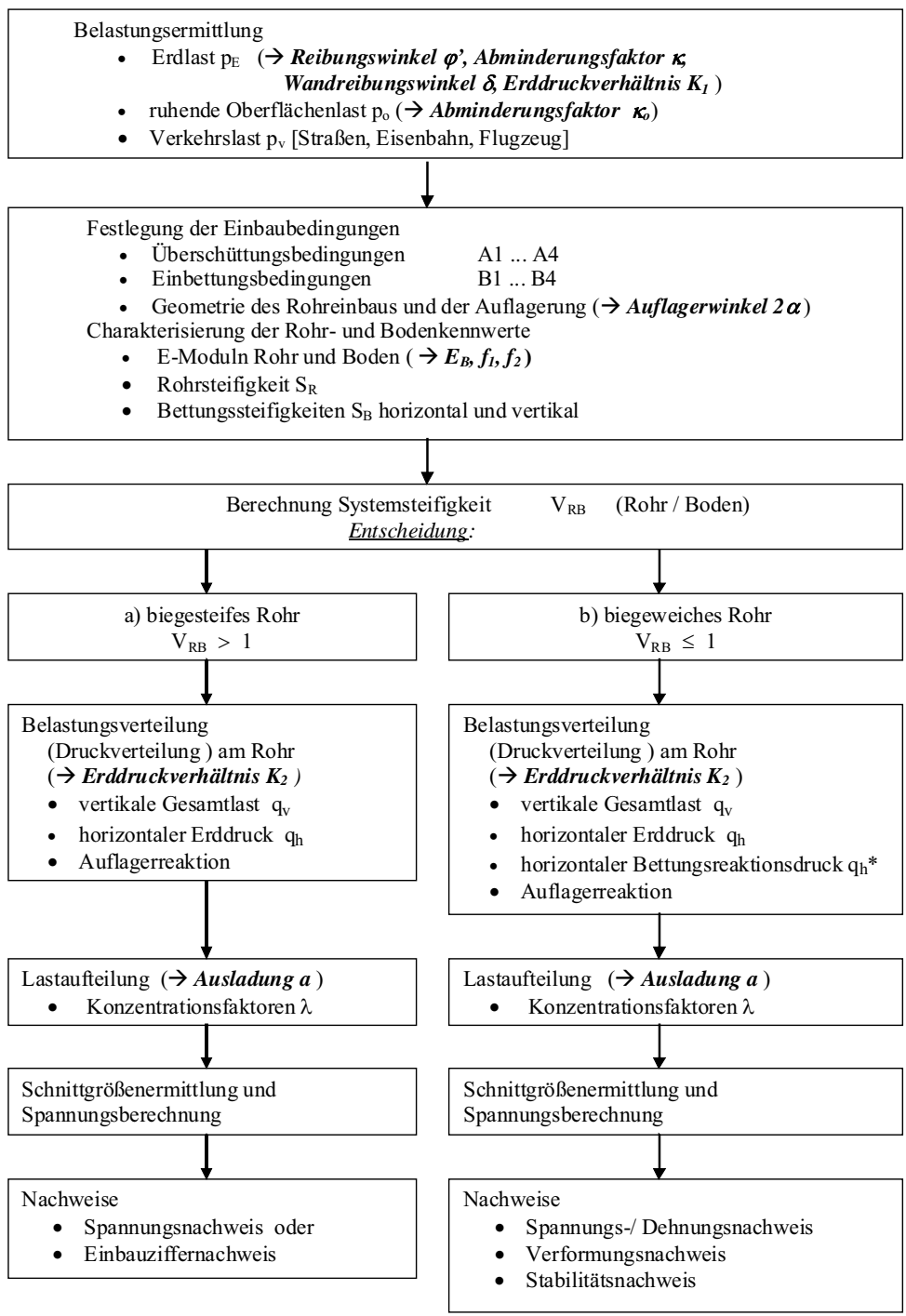


Abb. 1.42: Algorithmus der rohrstatischen Berechnungen nach ATV-DVWK-A 127 [ATV, 2008]

**Einordnung des Weimarer Bodenmörtels (WBM)**

Der Weimarer Bodenmörtel (WBM) ist zunächst nicht direkt einer Bodengruppe des ATV-DVWK-A 127 mit den zugehörigen Berechnungskennwerten zuordenbar. Um festzustellen, ob der WBM in seinem Verhalten ei-

nem nichtbindigen oder eher einem bindigen Boden entspricht, sind durch Auswertung von speziellen Plattendruck- (siehe Abb. 1.43), Ödometer- und Durchlässigkeitsversuchen die notwendigen Parameter einzeln bestimmbar [Spahn, 2005].



Abb. 1.43: Plattendruckversuch

Insbesondere müssen für die Anwendung von Bodenmörtel im Rohrgraben festgelegt sein (siehe auch Algorithmus *Abb. 1.42*):

- der innere **Reibungswinkel**  $\varphi'$  des Bodenmörtels,
- der **Wandreibungswinkel**  $\delta$  zwischen Bodenmörtel und Rohrgrabenwand,
- die **Abminderungsfaktoren**  $\kappa$  und  $\kappa_0$  der Erdlast und der ruhenden Oberflächenlast,
- das **Erddruckverhältnis**  $K_1$  (Verhältnis horizontaler zu vertikaler Erddruck),
- der **Verformungsmodul**  $E_B$  des Bodenmörtels,
- die **Reduktions- bzw. Abminderungsfaktoren**  $f_1$  und  $f_2$  für Kriechen und Grundwassereinfluss,
- das **Erddruckverhältnis**  $K_2$  in der Leitungszone neben dem Rohr,
- der erreichbare **Auflagerwinkel**  $2\alpha$  des Rohres auf dem Rohrgrabenplanum,
- die relative **Ausladung**  $a$  des Rohrscheitels über dem gewachsenen Boden.

Weimarer Bodenmörtel (WBM) verhält sich ähnlich den natürlichen Böden. Bei der Auswertung von Ödometerversuchen konnte dazu die Elastizität durch Rückverformung nach der Erstbelastung nachgewiesen werden (siehe *Abb. 1.44* und *Abb. 1.45*). Das heißt, dass die Berechnungsansätze grundsätzlich wie in dem ATV-DVWK-Arbeitsblatt A 127 genutzt werden können. Ebenso sind beim WBM die Scherparameter Reibungswinkel und Kohäsion bestimmbar. Unterschiede lassen sich hierbei in Abhängigkeit vom Grundmaterial (Sand oder Recyclingmaterial RC), aber auch von der Druckfestigkeit erkennen.

Es ergeben sich **Reibungswinkel**  $\varphi'$  von rund 28–40°. Im ATV-DVWK-Arbeitsblatt A 127 wird für die Bodengruppe G1 ein Reibungswinkel von 35° ( $\pm 2,5^\circ$ ) und für die Bodengruppe G2 ein Reibungswinkel von 30° ( $\pm 2,5^\circ$ ) angegeben. Somit ist der WBM in Abhängigkeit des Reibungswinkels einem nicht- bzw. schwach-

bindigen Boden (Bodengruppen G1 und G2) zuzuordnen.

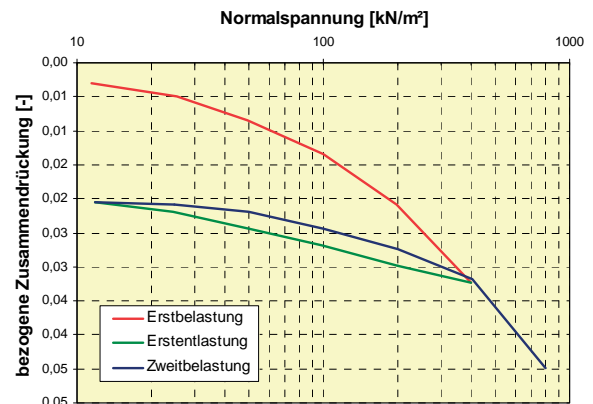


Abb. 1.44: Spannungs-Zusammendrückungs-Linie für WBM auf Sandbasis [FITR, o.J.]

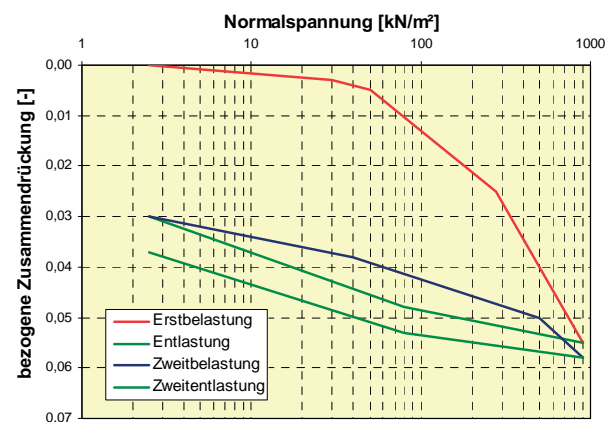


Abb. 1.45: Beispiel einer Spannungs-Zusammendrückungs-Linie für natürliche Böden [DIN, 2012b]

Zur Charakterisierung der Bodenkennwerte wird vor allem der **Verformungsmodul**  $E_B$  des WBM (E-Modul Boden, siehe Algorithmus *Abb. 1.42*) benötigt. Im ATV-DVWK-A 127 [ATV, 2008] ist angegeben, dass zur Bestimmung dieses Verformungsmoduls  $E_B$  beispielsweise der Plattendruckversuch (siehe *Abb. 1.43*) nach DIN 18134 [DIN, 2012a] angewandt werden kann. Dies trifft für Bodenarten und Stoffe zu, die sich nicht direkt in die Bodenklassifizierung des Arbeitsblattes A 127 einordnen lassen. Es „sind mindestens fünf Werte zu bestimmen, der Kleinstwert ist maßgebend“ ([ATV, 2008] S. 11). Für den WBM wurden die Druck-Setzungs-Kurven dieses Versuchs im Spannungsbereich 0 bis 100 kN/m<sup>2</sup> analog den Richtwerten in ATV-DVWK-A 127 ausgewertet. Die Verformungsmoduln  $E_B$  ergaben sich für den WBM zu 30...45 N/mm<sup>2</sup> [FITR, 2005], [MFPA, 1997]. Sie liegen im Bereich der Bodengruppe G1. Demnach ist der WBM den nichtbindigen Böden zuzuordnen.

Der **Wandreibungswinkel**  $\delta$  zwischen Bodenmörtel und Rohrgrabenwand ist in gleicher Weise für den WBM wie für natürliche Böden nach DIN 4085 [DIN, 2011b] ansetzbar in Abhängigkeit des inneren Reibungswinkels  $\varphi'$  und der Wandbeschaffenheit des Rohrgrabens. Das Arbeitsblatt A 127 [ATV, 2008] ent-



hält dafür die Größe des Wandreibungswinkels  $\delta$  zugeordnet zu den aus der Rohrgrabenverfüllung resultierenden Überschüttungsbedingungen A1 ... A4.

Zur Ermittlung der Erdlast  $p_E$  und der gleichmäßig verteilten Oberflächenlast  $p_0$  werden die **Abminderungsfaktoren  $\kappa$  und  $\kappa_0$**  nach der Silotheorie herangezogen. Folgende Voraussetzungen müssen dazu erfüllt sein:

- $E_1 \leq E_3 \rightarrow \kappa$  darf angesetzt werden,
- $E_1 < E_3 \rightarrow \kappa_0$  darf angesetzt werden,
- Grabenverfüllung: Verdichtungsgrad  $D_{Pr} > 90\%$ ,
- Grabenwände bleiben auf Dauer erhalten.

( $E_1$  ... Verformungsmodul  $E_B$  Hauptverfüllung;  $E_3$  ... Verformungsmodul  $E_B$  anstehender Boden)

Bei Verwendung von Bodenmörtel als Überschüttung sind die o.g. Voraussetzungen zu prüfen und die Abminderungsfaktoren gegebenenfalls anzusetzen. Wenn der Rohrgraben vollständig mit WBM verfüllt wird, trifft die Überschüttungsbedingung A4 zu. Dies berücksichtigt den optimalen Verbund (durch das flüssige Einbringen des WBM) zwischen Verfüllung und Grabenwand. Da der WBM hohe Verformungsmoduln  $E_B$  im Bereich der nichtbindigen Böden aufweist, ergeben sich in der Regel die **Abminderungsfaktoren  $\kappa=1$  und  $\kappa_0=1$** , d.h. es findet keine Verringerung der rechnerischen Erdauflast auf dem Rohr statt.

„Maßgebend für die Abminderung der Erdlast sind der Seitendruck auf die Grabenwände, ausgedrückt durch das Verhältnis  $K_1$  von horizontalem zu vertikalem Erd- druck, und der wirksame Wandreibungswinkel  $\delta'$ “ ([ATV, 2008], S. 17).

$K_1$  lässt sich nach [Leonhardt, 1984] wie folgt bestimmen:

$$K_1 = \frac{1 + \sin^2 \varphi' - 2 \sqrt{\sin^2 \varphi' - \tan^2 \delta \cos^2 \varphi'}}{\cos^2 \varphi' + 4 \tan^2 \delta} \quad (1.1)$$

Das **Erddruckverhältnis  $K_1$**  ist von den bekannten Parametern Reibungswinkel  $\varphi'$  und Überschüttungsbedingung, also dem daraus resultierenden Wandreibungswinkel  $\delta$ , abhängig und kann somit für den WBM ermittelt werden. Bei der Verfüllung des Rohrgrabens oberhalb der Leitungszone mit einem anderen Boden als dem Aushub ist der jeweils kleinere der beiden Reibungswinkel maßgebend. WBM besitzt einen relativ hohen Reibungswinkel  $\varphi'$ , so dass in der Regel der Reibungswinkel  $\varphi'$  des anstehenden Bodens neben dem Rohrgraben maßgebend wird.  $K_1$  ergibt sich dementsprechend zu dem für alle Bodengruppen des ATV-DVWK-A 127 zutreffenden Wert  $K_1 = 0,5$ . Wenn  $\varphi'$  des WBM maßgebend ist, ergeben sich höhere Werte für das Erddruckverhältnis  $K_1$ .

Das Langzeitverhalten eines bindigen Bodens wird durch den **Reduktionsfaktor  $f_1$**  für das Kriechen berücksichtigt. Aus dem Zeit-Setzungs-Verlauf des WBM sind Aussagen zum Kriechen möglich. Für den WBM wurden Zeit-Setzungs-Linien für die Auflastspannungen 50, 100 und 200 kN/m<sup>2</sup> (entspricht Überschüttungshöhen der Rohrleitung von 2,5/5/10 m) im Ödometerversuch bestimmt. Sie verlaufen bei halblogarithmischer Skalierung nahezu linear (siehe

Abb. 1.46). Als Konsequenz hieraus lässt sich der Reduktionsfaktor  $f_1$  zu 1,0 ableiten. Ein für bindige Böden typischer Kurvenverlauf, wie er in DIN 18135 [DIN, 2012b] angegeben ist (siehe Abb. 1.47), stellt sich demnach beim Bodenmörtel nicht ein.

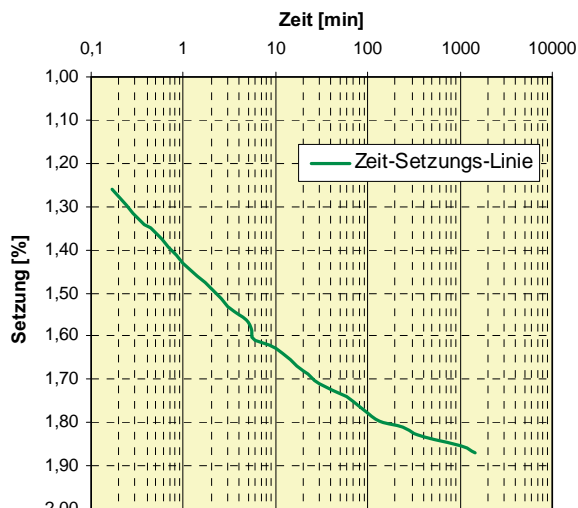


Abb. 1.46: Zeit-Setzungs-Verlauf (WBM auf der Basis von Recyclingmaterial RC)

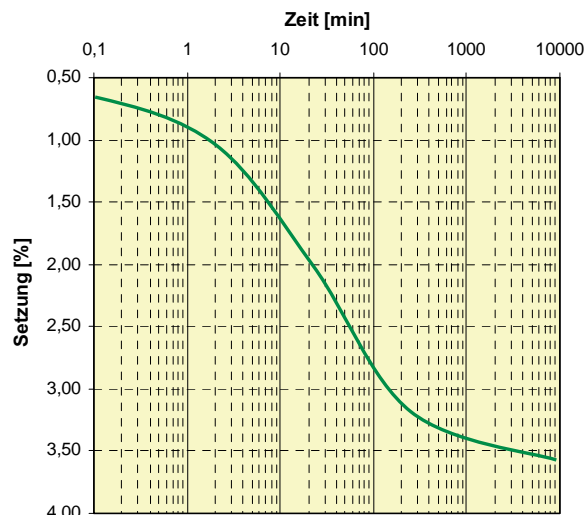


Abb. 1.47: prinzipieller Zeit-Setzungs-Verlauf bei bindigen Böden nach [DIN, 2012b]

Der **Abminderungsfaktor  $f_2$**  des  $E_B$ -Verformungsmoduls  $E_2$  der Leitungszone berücksichtigt grundwasserbedingte Sackungen. Da Grundwasser Einfluss auf die Tragfähigkeit des Bodens hat, erfolgt eine Abminderung von  $E_2$  bei einem Verdichtungsgrad  $D_{Pr} < 95\%$ . Aus den ermittelten Wasserdurchlässigkeitswerten lässt sich schlussfolgern, dass die Bodenmörtel nur gering bis schwach wasserdurchlässig sind. Hieraus resultiert, dass keine relevanten Sackungen infolge Grundwasser einfluss zu erwarten sind; der Abminderungsfaktor  $f_2$  ist hiernach bestimmbar und mit  $f_2 = 1,0$  anzusetzen.

Nach [Leonhardt, 1979] kann das **Erddruckverhältnis  $K_2$**  in der Leitungszone (als Linearisierungsfaktor für

verschiedene Einflüsse) nach *Formel 1.2* und *Formel 1.3* bestimmt werden.

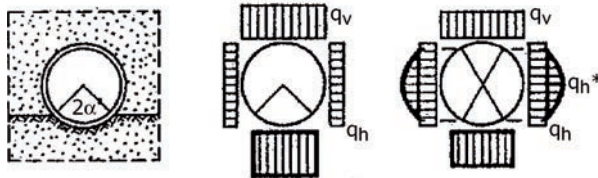
$$K_2 = K - \frac{2 \cdot c}{\sigma_v} \sqrt{K} \quad (1.2)$$

mit

$$K = K_0 = 1 - \sin \varphi \quad (1.3)$$

Die Berechnung von  $K_2$  basiert auf der Kohäsion  $c$  und der vertikalen Spannung  $\sigma_v$  über dem Rohr. Da die Kohäsion des Bodenmörtels auf Grund der Verfestigung sehr hoch ist, ergibt sich ein  $K_2$ -Wert von nahezu Null. Das würde bedeuten, dass im WBM keine horizontale Spannung trotz vertikaler Spannung auftreten würde. Dies entspricht nicht dem Tragverhalten des Bodenmörtels. WBM verhält sich ähnlich der Bodengruppe G1 und deshalb erfolgt wie bei natürlichen Böden gemäß [ATV, 2008] die Berechnung von in SVM gebetteten biegesteifen Rohren mit  $K_2 = 0,5$  und bei biegeweichen Rohren mit  $K_2 = 0,4$ .

Der erreichbare **Auflagerwinkel  $2\alpha$**  des Rohres auf dem Rohrgrabenplanum (siehe *Abb. 1.48*) ist abhängig von der Qualität der hohlraumfreien und gut verdichteten Rohrbettung. Der Einbau von selbstverdichtenden Verfüllmaterialien (SVM) und auch des Weimarer Bodenmörtels (WBM) in verflüssigter Konsistenz und die hieraus resultierende selbstverdichtende Wirkung haben optimale Bettungsbedingungen ohne Hohlräume zur Folge. Daraus ist der beim Bodenmörtel anzusetzende Auflagerwinkel  $2\alpha = 180^\circ$  begründet, der zugleich den maximal erreichbaren Auflagerwinkel in einem Rohrgraben darstellt.



Lagerungsfall I: Auflager im Boden

Abb. 1.48: Rohrauflagerung im natürlichen Boden und im SVM/WBM, nach [ATV, 2008]

Maßgebend für die vertikale Angriffshöhe des entlastend auf das Rohr wirkenden horizontalen Erddrucks (Seitendruck  $q_h$ , siehe auch *Abb. 1.48*) ist die relative **Ausladung  $a$**  (Höhe des Rohrscheitels über dem gewachsenen Boden). Da bei Einsatz von SVM/WBM die Rohre vollständig in diese Verfüllmaterialien eingebettet sind, stellt die Rohrauflagerung in SVM/WBM ein „Auflager im Boden“ (Lagerungsfall I) mit der relativen Ausladung  $a = 1$  dar (siehe *Abb. 1.48* und *Abb. 1.49*).

Unter Berücksichtigung aller genannten Parameter und deren Implementierung in den Berechnungsalgorithmus des ATV-DVWK-Arbeitsblattes A 127 lassen sich Aussagen zur Rohrtragfähigkeit bei Verlegung in selbstverdichtenden Verfüllmaterialien (SVM) bzw. speziell im Weimarer Bodenmörtel (WBM) treffen.

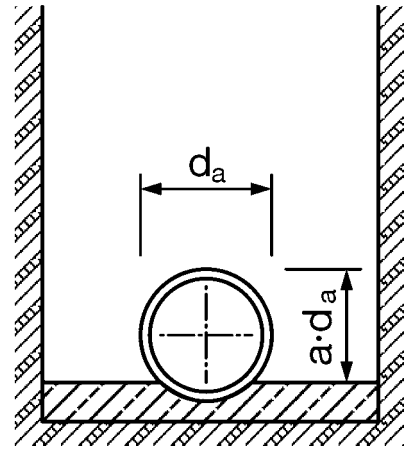


Abb. 1.49: Relative Ausladung  $a$  und Ausladung  $a \cdot d_a$  [ATV, 2008]

### Berechnungsansätze

Grundsätzlich muss bei der statischen Berechnung von in SVM gebetteten Rohren zwischen einem Bauzustand und einem Betriebszustand unterschieden werden.

Da die selbstverdichtenden Verfüllmaterialien in flüssiger Form in den Rohrgraben eingebracht werden, ist zunächst der Nachweis der Auftriebssicherheit zu führen (**Bauzustand**). Nach DIN 1054 [DIN, 2010a] stellen hierbei das Rohreigengewicht und die stützende Kraft aus den Belastungsbänken auf dem Rohr günstige Einwirkungen dar, die Auftriebskraft steht als ungünstige Einwirkung gegenüber. Dabei ist der „Flüssigkeitsspiegel“ des SVM/WBM in Höhe des Rohrscheitels anzunehmen, die maximale Auftriebskraft wird angesetzt.

Die Berechnung im **Betriebszustand** (also nach der Rohrgrabenverfüllung) erfolgt in Analogie zum ATV-DVWK-Arbeitsblatt A 127 [ATV, 2008], wobei zwischen biegesteifen und biegeweichen Rohren zu unterscheiden ist (siehe Algorithmus, *Abb. 1.42*). Es können hier sowohl einschlägige Softwarelösungen der Rohrstatik, die eine Modifikation der Eingangsparameter zulassen, als auch Implementierungen des Berechnungsalgorithmus des ATV-DVWK-A 127 z.B. in Tabellenkalkulationsprogramme, wie Microsoft Office EXCEL, genutzt werden.

Beispielhaft und stellvertretend für andere Rohrwerkstoffe seien im Folgenden die Rohrtragfähigkeitsberechnungen jeweils für ein biegesteifes Rohr (Beton-Rohr DN 1000 nach DIN EN 1916 [DIN, 2003b]) und für ein biegeweiches Rohr (GFK- bzw. UP-GF-Rohr DN 500 nach DIN EN 14364 [DIN, 2013b]) mit ihren Ansätzen und Ergebnissen aufgezeigt.

Die **Unterschiede zwischen den Tragwirkungen** des Gesamtsystems Rohr/Boden (konventionelle Verfüllmethode mit natürlichem Boden) bzw. des Gesamtsystems Rohr/SVM/Boden (unkonventionelle, selbstverdichtende Verfüllmethode) lassen sich anhand verschiedener Verfüllungsvarianten des Rohrgrabens für beide o.g. Rohrwerkstoffe bestimmen (siehe *Abb. 1.50*).

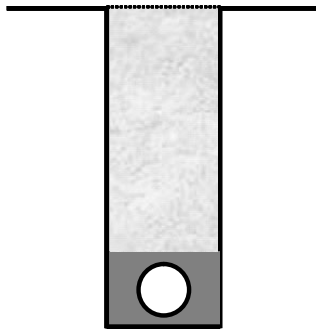


Abb. 1.50a) Einbettung des Rohres in der Leitungszone in Weimarer Bodenmörtel WBM, Hauptverfüllung des Rohrgrabens mit natürlichem Boden

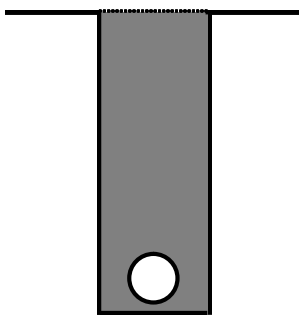


Abb. 1.50b) Einbettung des Rohres und Hauptverfüllung des Rohrgrabens mit Weimarer Bodenmörtel WBM

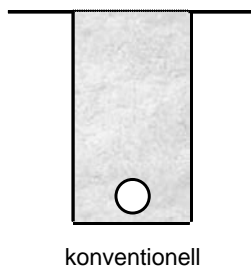


Abb. 1.50c) Einbettung des Rohres und Hauptverfüllung des Rohrgrabens mit natürlichem Boden (konventionelle Verfüllmethode)

Abb. 1.50: Verfüllungsvarianten des Rohrgrabens

Variante 1 in *Abb. 1.50a* beinhaltet einen Rohrgraben, in dem das Rohr in der Leitungszone in WBM eingebettet ist, die Hauptverfüllung oberhalb der Leitungszone jedoch mit natürlichem Boden erfolgt. Zu beachten ist hier nach dem DWA-Arbeitsblatt A 139 [DWA, 2009a] der zulässige Einsatz mittlerer und schwerer Verdichtungsgeräte erst ab 1 m oberhalb des Rohrscheitels.

In Variante 2 (*Abb. 1.50b*) ist der Rohrgraben vollständig (sowohl in der Leitungszone als auch in der Hauptverfüllung) mit WBM verfüllt.

Variante 3 in *Abb. 1.50c* steht für die konventionelle Grabenverfüllung eines dann notwendigerweise nach DIN EN 1610 [DIN, 1997b] bzw. DIN 4124 [DIN, 2012f] breiteren Rohrgrabens mit natürlichen Böden.

Ungeachtet der Möglichkeit, aufgrund der Verfülltechnologie bei WBM schmalere Gräben auszubilden, beruhen die nachfolgenden Vergleichsrechnungen auf den

nach DIN EN 1610 [DIN, 1997b] bzw. DIN 4124 [DIN, 2012f] zulässigen Rohrgrabenbreiten. Variante 1 und Variante 3 in *Abb. 1.50a* und *Abb. 1.50c* beinhalten die Überschüttungsbedingung A1 (lagenweise gegen den gewachsenen Boden verdichtete Grabenverfüllung), um den für Rohrgräben erforderlichen Verdichtungsgrad  $D_{Pr} = 95\%$  zu gewährleisten. Für die Ausbildung des Rohrauflegers auf dem Rohrgrabenplanum wurden als Variationen des Auflagerwinkels  $2\alpha$  (siehe *Abb. 1.48*) für alle drei Varianten  $2\alpha = 120^\circ$ , bei der konventionellen Verfüllung ebenso  $2\alpha = 90^\circ$  (entspricht der normalen Bauausführung) und bei der Verfüllung mit SVM/WBM zusätzlich  $2\alpha = 180^\circ$  (hohlraumfreie homogene Bettung des Rohres) betrachtet. Die Berechnungsergebnisse basieren für den WBM auf den speziell ermittelten Verformungsmoduln  $E_B$  unter Berücksichtigung der beiden Bodenmörtel-Grundmaterialien Sand (als WBM-Sand bezeichnet) bzw. Recyclingmaterial (als WBM-RC bezeichnet).

### Ergebnisse der Rohrtragfähigkeitsberechnung für WBM

**Biegesteife Rohre** (wie das als erstes Fallbeispiel betrachtete Beton-Rohr DN 1000) sind dadurch charakterisiert, dass die Systemsteifigkeit  $V_{RB} > 1$  ist (siehe Algorithmus der rohrstatischen Berechnung, *Abb. 1.42*). Das Rohr verhält sich somit steifer als der umgebende Boden in der Leitungszone und neben dem Rohrgraben. Der maßgebende Nachweis für biegesteife Rohre ist der Spannungsnachweis an ausgezeichneten Punkten der Rohrwand (in der Regel Rohrscheitel, Rohrkämpfer und Rohrsohle). Einer dieser Punkte stellt den kritischen Punkt der Rohrwand mit den geringsten berechneten Sicherheiten dar. Der notwendige Sicherheitswert beträgt nach [ATV, 2008]  $\gamma = 2,2$ .

**Biegeweiche Rohre** dagegen (wie das zweite Fallbeispiel des GFK- bzw. UP-GF-Rohrs DN 500) zeichnet eine Systemsteifigkeit  $V_{RB} \leq 1$  aus. Die Steifigkeit des Rohres ist geringer (oder höchstens gleich) als die Steifigkeit des umgebenden Bodens in der Leitungszone und neben dem Rohrgraben. Die maßgebenden Nachweise sind hier stärker vom Rohrwerkstoff abhängig und umfassen den Spannungsnachweis (bei Rohren mit E-Modul, z.B. PVC- oder PE-Rohren), den Dehnungsnachweis anstelle des Spannungsnachweises (bei Rohren mit Nennsteifigkeit, wie GFK- bzw. UP-GF-Rohren), den Verformungsnachweis gegen unzulässige Ovalisierung der Rohre und den Stabilitätsnachweis gegen Beulversagen der Rohrwand (siehe Algorithmus *Abb. 1.42*). Die erforderlichen Sicherheitswerte betragen nach [ATV, 2008]  $\gamma = 2,0$  für den Dehnungsnachweis, für den Stabilitätsnachweis  $\gamma = 2,5$ ; im Verformungsnachweis wird eine maximale relative Verformung der Rohre von 6 % zugelassen.

Das **biegesteife Beton-Rohr DN 1000** weist für die beiden betrachteten Bodenmörtel-Grundmaterialien WBM-Sand und WBM-RC keine Unterschiede im Spannungsnachweis auf. Der kritische Punkt der Rohrwand mit den geringsten Sicherheiten ist in allen Verfüllungsvarianten 1, 2 und 3 die Rohrsohle (siehe *Abb. 1.51*, Beispiel für Verfüllungsvariante 1: WBM nur in der Leitungszone).



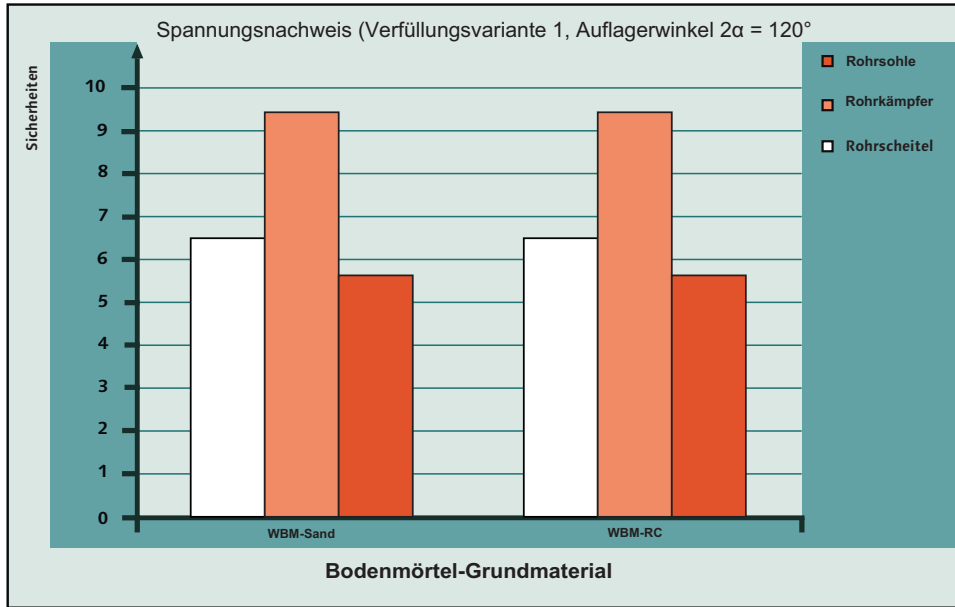


Abb. 1.51: Sicherheiten des biegesteifen Beton-Rohres DN 1000 in der Verfüllungsvariante 1 (WBM-Sand bzw. WBM-RC in der Leitungszone) an den ausgezeichneten Punkten der Rohrwand

Selbst wenn lediglich die Leitungszone mit WBM verfüllt wird (Verfüllungsvariante 1 gemäß *Abb. 1.50a*), so führt dies bei dem biegesteifen Beton-Rohr DN 1000 schon unabhängig vom Auflagerwinkel  $2\alpha$  zu höheren Sicherheitswerten gegenüber der konventionellen Grabenverfüllung, d.h. gegenüber der Verfüllungsvariante 3 (siehe *Abb. 1.52*). Wird dann aufgrund der Konsistenz und Homogenität der Bettung in WBM der zutreffende Auflagerwinkel  $2\alpha = 180^\circ$  in die Berechnung der Rohrtragfähigkeit einbezogen, so erhöhen sich die berechneten Sicherheiten gegenüber der konventionellen Grabenverfüllung nochmals deutlich (im Praxisbeispiel in *Abb. 1.52* auf die Sicherheit  $\gamma = 6,7$  [bei WBM und  $2\alpha = 180^\circ$ ] gegenüber  $\gamma = 5,2$  [bei konventioneller Graben-

verfüllung und  $2\alpha = 120^\circ$ ] bzw.  $\gamma = 4,2$  [bei  $2\alpha = 90^\circ$ ]). In der Regel wird in der Praxis bei konventioneller Grabenverfüllung mit natürlichen Böden ein Auflagerwinkel  $2\alpha = 90^\circ$  sowohl in der Bauausführung als auch in der rohrstatischen Berechnung nach ATV-DVWK-A 127 erreicht bzw. angesetzt.

Für das **biegeweiche GFK- bzw. UP-GF-Rohr DN 500** zeigen sich anders als beim Beton-Rohr DN 1000 bei den beiden betrachteten Bodenmörtel-Grundmaterialien WBM-Sand und WBM-RC geringfügige Unterschiede in den Sicherheiten des Dehnungsnachweises der einzelnen Verfüllungsvarianten (siehe *Abb. 1.53*).

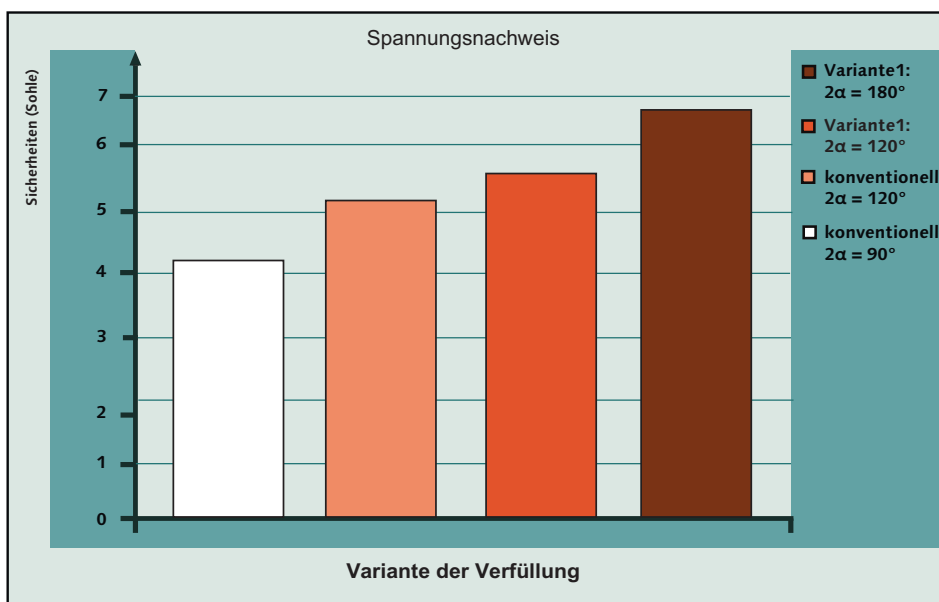


Abb. 1.52: Sicherheiten des biegesteifen Beton-Rohres DN 1000 in den Verfüllungsvarianten 3 (konventionell mit natürlichen Böden) und 1 (WBM in der Leitungszone); kritischer Punkt = Rohrsohle

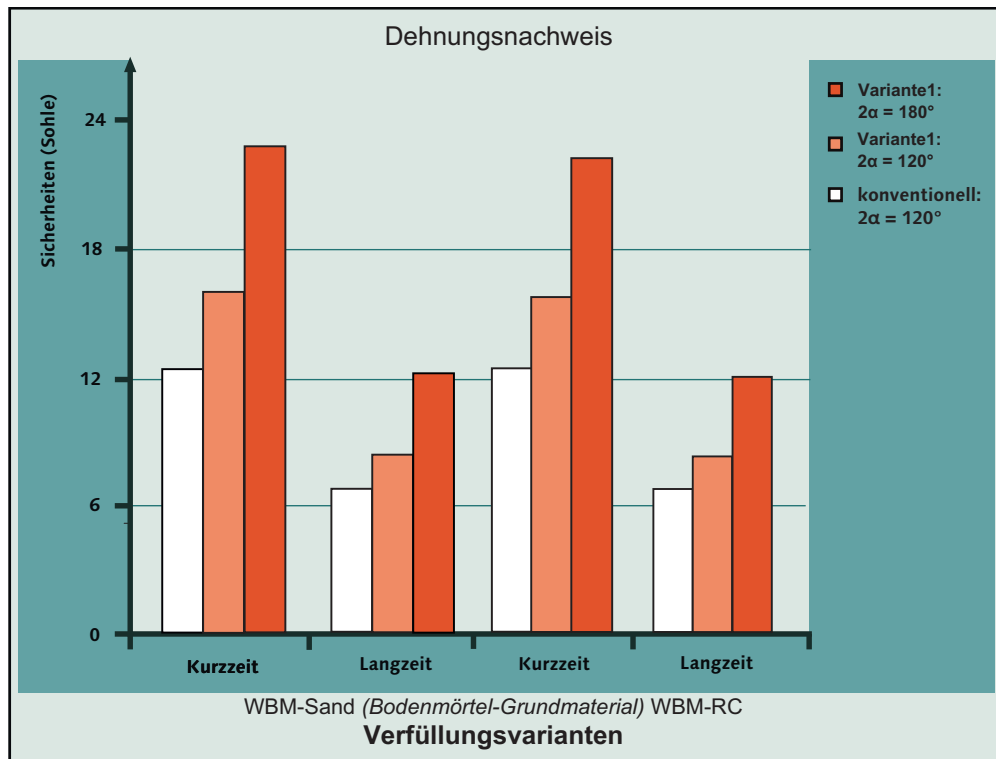


Abb. 1.53: Sicherheiten des biegeweichen GFK-/UP-GF-Rohres DN 500 in den Verfüllungsvarianten 3 (konventionell mit natürlichen Böden) und 1 (WBM in der Leitungszone); kritischer Punkt = Rohrsohle

Dies resultiert aus dem generellen Verhalten biegeweicher Rohre, die auf die Stützung durch die Bettung in der Leitungszone angewiesen sind und damit auf veränderte Verfüllstoffparameter mit verändertem Tragverhalten reagieren. Auch bei dem GFK- bzw. UP-GF-Rohr DN 500 ist der kritische Punkt der Rohrwand die Rohrsohle mit den geringsten berechneten Sicherheitswerten des Dehnungsnachweises für alle Verfüllungsvarianten.

Eine Teilverfüllung des Rohrgrabens mit WBM nur in der Leitungszone (Variante 1) führt bei demselben Auflagerwinkel  $2\alpha = 120^\circ$  schon zu deutlich höheren Sicherheiten in der Rohrtragfähigkeit (=Dehnungsnachweis). Wird der infolge der Bettungshomogenität des WBM zutreffende Auflagerwinkel  $2\alpha = 180^\circ$  in die Berechnung der Rohrtragfähigkeit einbezogen, so erhöhen sich die berechneten Sicherheiten gegenüber der konventionellen Grabenverfüllung nochmals erheblich (siehe Abb. 1.53).

Berechnet man die Verformungen des biegeweichen GFK-/UP-GF-Rohres für alle drei Verfüllungsvarianten des Rohrgrabens aus Abb. 1.50, so ist auch in diesen rohrstatischen Nachweisfällen die Teil- oder vollständige Verfüllung des Rohrgrabens mit WBM der konventionellen Verfüllung mit natürlichen Böden deutlich überlegen. Die relativen vertikalen Verformungen reduzieren sich bei WBM-Einsatz auf etwa die Hälfte der Verformungen konventioneller Verfüllungsmethode (Abb. 1.54).

Als **Fazit der Rohrtragfähigkeitsberechnungen** für selbstverdichtende Verfüllmaterialien SVM (hier dargestellt am Beispiel des Weimarer Bodenmörtel WBM) ist zu vermerken, dass sich die SVM auf der Basis ihrer

speziell ermittelten Berechnungsparameter (siehe „Einkauf des Weimarer Bodenmörtel WBM“) in das Berechnungskonzept des ATV-DVWK-Arbeitsblattes A 127 [ATV, 2008] einfügen lassen. Generell führt die Verwendung von SVM in der Leitungszone, aber auch zusätzlich in der Hauptverfüllung, zu höheren Sicherheiten der Rohre gegenüber der konventionellen Grabenverfüllung mit natürlichen Böden. Für alle Verfüllungsvarianten wurden die gleichen Grabenbreiten nach DIN EN 1610 [DIN, 1997b] und DIN 4124 [DIN, 2012f] festgelegt; beim unkonventionellen Verfüllstoff (SVM bzw. WBM) sind aufgrund der Verfülltechnologie über die in den Berechnungsbeispielen verwendeten gleichen Grabenbreiten hinaus noch schmalere Gräben möglich. Aus dieser Bedingung resultieren dann noch höhere Sicherheiten und geringere Verformungen bei der Verlegung von Rohren in SVM.

Auch die vertikale Verformung von in SVM eingebetteten biegeweichen Rohren ist deutlich geringer als bei der konventionellen Grabenverfüllung. Betrachtet man hierzu den Ergebnisvergleich für die Auflagerwinkel der Rohre auf der Rohrgrabensohle  $2\alpha = 90^\circ$  (konventionell) mit  $2\alpha = 180^\circ$  (für WBM maßgeblich), ist eine Halbierung der relativen vertikalen Verformung  $\delta_v$  bei SVM zu verzeichnen. Bei allen Berechnungsbeispielen ist die maximal zulässige Verformung von 6% nicht überschritten.

Die Verlegung der Rohre in SVM oder WBM bietet neben der Verbesserung der Rohrtragfähigkeit und setzungsfreier Oberflächenherstellung der Straßen zugleich eine erhebliche Kostenreduzierung der Erdarbeiten durch schmalere Rohrgräben.

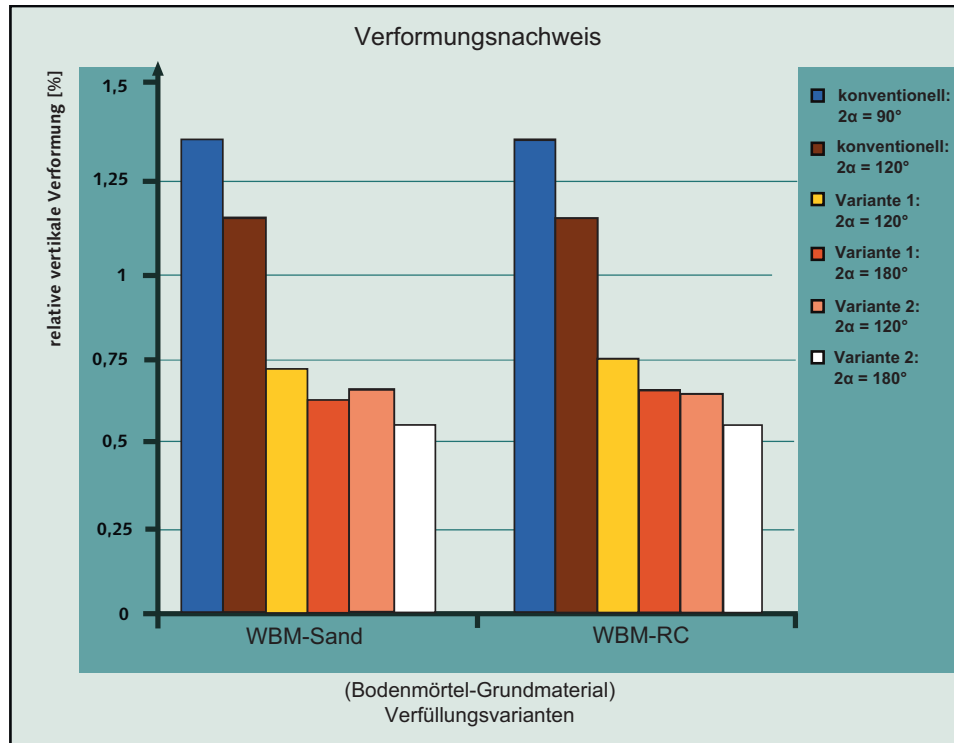


Abb. 1.54: Verformungen des biegeweichen GFK-/UP-GF-Rohres DN 500 in den Verfüllungsvarianten 1 (WBM in der Leitungszone), 2 (WBM in der Leitungszone und der Hauptverfüllung) und 3 (konventionell mit natürlichen Böden)

### 1.3 Lage der Versorgungsleitungen im Straßenkörper

Prof. Dr.-Ing. habil H. Roscher

#### 1.3.1 Lage und Tiefenlage sind entscheidend für die Rehabilitation

Voraussetzung für die Planung und Vorbereitung der Rehabilitation ist die Kenntnis der Lage der Versorgungsleitungen im Straßenkörper sowie weiterer leitungsspezifischer Bedingungen.

Dazu gehören:

- Lage und Tiefenlage von Rohrleitungen, Bauwerken und Kabeln im Straßenkörper,
- Abmessungen der Leitungen, dazugehöriger Bauwerke und Armaturen,
- Rohrwerkstoff bzw. Kabelmaterial und Verbindungen,
- Konstruktion und Bauweise,
- Ausbildung der Gebäude und Grundstücksanschlüsse sowie der Straßenentwässerung.

Von wesentlichem Einfluss für die Rehabilitation sind benachbarte oder kreuzende Versorgungsleitungen, ihr Zustand und die Beschaffenheit der sie umgebenden Leitungszone, um Folgeschäden auszuschließen.

Dabei ist insbesondere zu berücksichtigen, dass im Verlaufe der mehr als 100-jährigen Geschichte eine technische Weiterentwicklung erfolgte und außerdem zwischen den Städten eine große Differenziertheit besteht. Die Literatur [Arnold, 1943], [Brix et al., 1934], [Esselborn, 1922], [Frühling, 1904], [Frühling, 1910], [Genz-

mer, 1897], [Randzio, 1951], [Städtische Anlagen Berlin, 1895] und [Willmann, 1903] zeigte, dass eine vom technischen Fortschritt geprägte Weiterentwicklung bis zur Festlegung in Standards erfolgte.

#### 1.3.2 Einordnung der Leitungen in den unterirdischen Bauraum – Entwicklungsetappen

Bereits um die Jahrhundertwende berücksichtigte man bei der Anordnung von Leitungen im Straßenkörper die möglichen Behinderungen des Straßenverkehrs und der Bewohner durch Reparaturen und Schäden an Versorgungsleitungen. Genzmer stellte 1897 in seinem Buch „Der städtische Tiefbau“ [Genzmer, 1897] fest:

„Die Konstruktion und Ausgestaltung der Straßenflächen sind, abgesehen von den hygienischen Anforderungen einerseits und in erster Reihe durch den daselbst stattfindenden Verkehr bedingt. Andererseits sind aber auch viele bauliche Anlagen die sich unter den Straßenoberflächen befinden zum Teil von wesentlichen Einfluss ... Die städtischen Straßen hatten ursprünglich nur die Bestimmung Verkehrswege zu bilden. Seit langer Zeit ist aber eine zweite hinzugetreten nämlich: Raum abzugeben für das Unterbringen aller Versorgungsleitungen.“

Die Lösung der letzteren Frage, das Unterbringen der verschiedensten Versorgungsnetze, ist in kleineren Städten mit verhältnismäßig geringen Schwierigkeiten verbunden.

In den allermeisten Fällen, namentlich in wenig verkehrsreichen Städten, wurden von alters her die Versorgungsleitungen in den Fahrdamm verlegt, und zwar in



die Erde gebettet; dabei wurden sie nahezu parallel zur Straßenachse angeordnet und die nach den Grundstücken führenden Anschlussleitungen durchquerten unterirdisch die Bürgersteige.

Aufgrund der auftretenden Unzulänglichkeiten (wachsender Verkehr, zunehmende Anzahl von Versorgungsleitungen, Reparaturen an Leitungen usw.) wurden zwei Wege vorgeschlagen:

- a) Untertunnelung der Straßen und Anordnung der verschiedenen Leitungen in den Tunneln,
- b) Verlegung der Versorgungsnetze vom Fahrdamm nach den Bürgersteigen.

Als richtungsweisend wurde die Verlegung in Bürgersteigen herausgearbeitet, z.B. in folgender Verteilung:

1. Der 2,00 m breite Streifen zunächst der beiden Straßenfluchten dient zur Aufnahme von Kabeln für hochgespannte elektrische Ströme (Licht und Arbeitsübertragung),
2. der anschließende 0,80 m breite Streifen für die Gasleitung,
3. der folgende 1,20 m breite Streifen für die Wasserleitung,
4. der folgende 1,50 m breite Streifen für den Entwässerungskanal und
5. die Kabel für schwach elektrische Ströme (Telegraph und Fernsprecher) kommen zwischen Wasserleitung und Entwässerungskanal zu liegen.

Daraus ergibt sich, dass alle Versorgungsnetze unter dem Bürgersteig angeordnet werden können, sobald dieser eine Breite von mindestens 6 m hat.

Gas- und Wasserleitungen von größerem Durchmesser (DN 350) sowie Entlastungskanäle sollten stets in größerer Entfernung von der Häuserflucht liegen, Straßen von 15 m Breite sollten nur einen Entwässerungskanal erhalten. Eine Reduzierung der erforderlichen Bürgersteigbreite auf 4 m kann dadurch erreicht werden, dass die Haupttransportleitungen in die Straße gelegt werden.

Nach Auffassung von [Genzmer, 1897] sollten alle jene Versorgungsleitungen im Fahrbahnbereich angeordnet werden, „an denen einmal ihrer Konstruktionsweise und Benutzungsart nach die wichtigsten Ausbesserungen vorkommen und bei welchem so dann gar nicht oder nur selten die nachträgliche Herstellung von Anschlüssen an die anliegenden Grundstücke erforderlich wird ... Als eine solche Leitung, welche, wenn sie einmal sachgemäß verlegt ist, sozusagen niemals wieder eine Ausgrabung erforderlich macht, wird man den Entwässerungskanal ansehen können. Bei richtiger Anordnung und Herstellung des Kanals, Verwendung der besten Materialien, Ausguss von Rohrmuffen mit Asphaltmasse u. dgl. und bei Verwendung der modernen Hilfsmittel zur Kanalspülung und Reinigung ist das Verstopfen der Kanäle und damit das nachträgliche Aufgraben der Kanalleitungen nahezu ausgeschlossen ...“

„Die zweite Art von Leitungen an denen voraussichtlich niemals Aufgrabungen stattzufinden brauchen, sind alle diejenigen Telegraphen- und Telefonleitungen, wel-

che in eisernen Muffenrohren untergebracht sind“ (Längenabschnitte mit Einsteigebrunnen zum Durchziehen der Kabel).

Weiterhin führte er einen Vorschlag von Scholz auf, der kostspielige Aufgrabungen vermeiden soll:

1. Die unterirdischen Leitungen müssen im Straßenraum nach einem bestimmten System verteilt werden, um sich gegenseitig nicht zu schädigen.
2. Die Leitungen sind möglichst unter den Bürgersteigen unterzubringen.
3. Die Leitungen sind so einzurichten, dass dieselben für den größeren Bedarf dauernd genügen und bei der Ausdehnung der Stadt nicht nachträglich erweitert zu werden brauchen.

Weitere Vorschläge bestanden darin, dass alle Versorgungsnetze, die keinen Ausgrabungen unterworfen sind (also Entwässerungskanäle usw.), in den Fahrdamm, alle übrigen in den Bürgersteigen zu verlegen sind bzw. die Straßen nicht insgesamt zu befestigen, sondern nur den mittleren Teil mit Pflaster und je einen Streifen nicht zu befestigen und in diesen die Versorgungsleitungen zu verlegen.

1910 stellt Frühling zur Lage der Kanäle in den Straßen fest: „... fast alle Städte, wenn sie sich zur Ausführung einer geregelten Entwässerung entschließen einen schon seit Jahren bestehende Versorgung mit Leuchtgas, die meisten auch bereits eine Wasserleitung ... nur in Ausnahmefällen unbesetzter Straßenquerschnitt ... da die Gas- und Wasserleitungen nicht immer nach bestimmten Gesichtspunkten verlegt wurden, bedarf es in den engen Straßen der Altstadt oft großer Sorgfalt, um die Kanäle in genügenden Abständen von den vorhandenen Leitungen unterzubringen.“ [Frühling, 1910]

Ein Abstand von 2–3 m ist erwünscht, weil die Kanalsole in der Regel erheblich tiefer liegt als die der Gas- und Wasserrohre.

- nicht selten ist deshalb eine Umverlegung der Gas- und Wasserleitung nötig,
- Schwierigkeiten werden umgangen, wenn man statt einem in Straßenschnitte liegenden Kanal zwei Stränge unter den beidseitigen Gehbahnen anordnet (geringere Hausanschlusslänge und besseres Gefälle),
- am günstigsten am Rand der Fußwege, an dem an die Bordkante anschließenden Teil der Fahrbahn (wegen Fußgängerverkehr und Reinigung).

Der Vorteil kürzerer Hausleitungen wird wieder aufgehoben, während die Gesamtkosten wegen der Doppelkanäle steigen und erst bei 20 bis 25 m Straßenbreite Mitte verlegten Kanals nähern.

Zusammenfassend wurde von Frühling empfohlen, in Straßen mit mäßiger Breite und zugleich geringerem Verkehr die Kanäle zweckmäßigerweise in der Mitte, Gas- und Wasserleitungen an die Seite, Starkstromkabel unter die Gehbahnen dicht an die Hausgrenze zu verlegen; bei größeren Breiten sollten Doppelleitungen für Gas, Wasser und den Kanal vorgesehen werden [Frühling, 1904], [Frühling, 1910].

Im Lehrbuch des Tiefbaus [Esselborn, 1922] wird zur Unterbringung der Abwasserkanäle, der Wasser- und Gas- und Kabelleitungen festgestellt:

1. Straßenkanäle

... werden im Straßenkörper in Tiefen von etwa 3 m eingebettet, damit auch die Kellersohle der Gebäude entwässert werden kann.

in schmalen Straßen Straßenmitte ... in 20 bis 25 m breiten Straßen dagegen an beiden Straßenseiten neben oder unter dem Fußweg. In letzterem Falle braucht bei Anschlüssen für neue Gebäude nicht immer das Straßenpflaster bis zur Mitte der Straßen aufgerissen zu werden

2. Wasser-, Gas- und Kabelleitungen verlegt man, der leichteren Zugänglichkeit wegen, in größeren Städten ebenfalls vielfach auf beiden Seiten der Straße unter dem Fußweg.

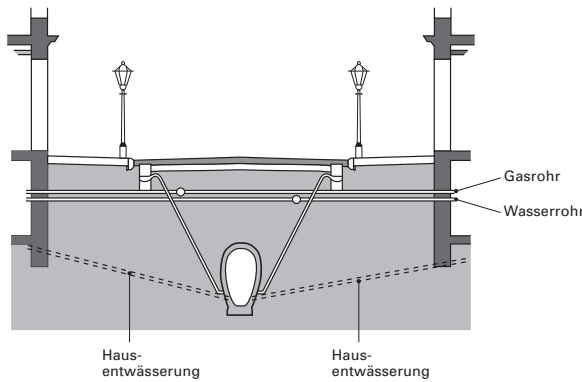


Abb. 1.55: Unterbringung des Straßenkanals in der Straßenmitte [Esselborn, 1922]

In [Brix et al., 1934] wurde zur Lage der Abwasserleitungen festgestellt, dass beim Trennverfahren die Regenwasserleitungen in der Regel in Straßenmitte und die Schmutzwasserleitungen unter den jeweiligen Bürgersteigen liegen, beim Mischverfahren die Leitung in

der Regel in der Straßenmitte liegt. Für die Tiefenlage der Kanäle werden als bestimmend angeführt:

- Sicherung gegen Frostgefahr und gegen Angriffe durch Druck- und Stoßkräfte; sie bedingt eine Überdeckungsstärke von rund. 1,0–1,2 m,
- Rücksicht auf die Kreuzungen mit Gas- und Wasserleitungen; diese Leitungen sollen über die Kanäle hinweggeführt werden. Dadurch ergibt sich die notwendige Überdeckung in kleineren Städten zum mindestens 1,6 m, in größeren zu mindestens 1,8 m,
- Rücksicht auf die Kellerentwässerung. Hier ist zu beachten, ob nur die Keller der Vorderhäuser oder auch Keller von Hinterhäusern zu entwässern sind, ob das Gebäude von der Straße aus steigt oder fällt (ggf. Hebeanlagen),
- Rücksicht auf Boden und Grundwasserverhältnisse,
- Rücksicht auf Wasserstandsverhältnisse des Vorfluters,
- Rücksicht auf die gewählten Kanalprofilformen.

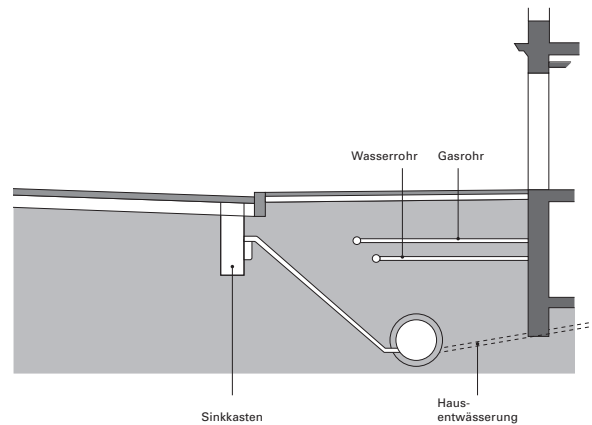


Abb. 1.56: Unterbringung des Straßenkanals auf beiden Straßenseiten unter dem Fußweg [Esselborn, 1922]

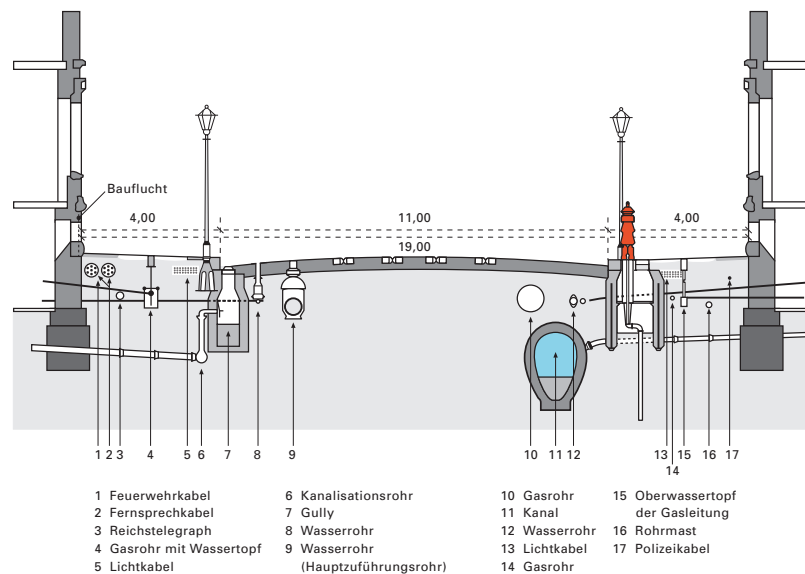


Abb. 1.57: Anordnung von Leitungen im unterirdischen Bauraum [Städtische Anlagen Berlin, 1895]

Als meist angewendete Mindestüberdeckungsstärke sind 2,5 m anzusehen, für Regenwasserkanäle 1,3 m, notfalls 1 m.

Schließlich wird in dem 1943 erschienenen Buch von G. Arnold „Städtischer Tiefbau“ [Arnold, 1943] zur Lage der Versorgungsleitungen im Straßenkörper festgestellt:

Die Leitungen für die Kanalisation, für Gas, Wasser, elektr. Starkstrom (Licht, Kraft, Straßenbahn) und Schwachstrom (Post, Feuerwehr, Polizei) sind für die Straßenbefestigung durch die vielen nicht zu umgehenden Aufbrüche zur Herstellung von neuen Hausanschlüssen und Ausbesserungen ein Übel. Besonders unangenehm und hinderlich ist der Aufbruch der Fahrbahn, ein Aufbruch des Gehweges lässt sich leichter ertragen. Grundsätzlich sind daher alle Hausversorgungsleitungen, die öfter aufgebrochen werden müssen, in den Gehbahnen und alle Hauptspeiseleitungen und die Kanalisation bei genügender Breite der Gehbahn in dieser, sonst in der Fahrbahn unterzubringen. Für die Regeneinläufe ist hierbei genügend Platz zu lassen.

Schmale Straßen erhalten nur eine Leitung jeder Art. Der Entwässerungskanal liegt dann in der Regel in der Mitte ungefähr 3,0 m unter der Fahrbahn, unter eine Gehbahn kommt eine Gasleitung und unter die andere die Wasserleitung.

Bei Gehbahnbreiten unter 1,50 m legt man die Hauptversorgungsleitungen für Gas und Wasser unter die Fahrbahn und nur die Stark- und Schwachstromkabel unter die Gehbahn. Bei Straßen von 20,0 m Breite und mehr legt man selbst bei offener Bebauung, um keine allzu langen Anschlussleitungen zu bekommen und Fahrbahnaufbrüche zu vermeiden, für beide Seiten getrennte Leitungen und bringt alle, soweit es sich ermöglichen lässt, unter den Gehbahnen unter.

Um weitere Fahrbahnaufbrüche und damit Kosten einzusparen, empfiehlt es sich, beim Bau der tiefer als alle anderen Leitungen liegenden Entwässerungsleitungen, die Anschlüsse für die Grundstücke bis zu Straßenflucht gleich mit herzustellen, auch wenn in nächster Zeit mit Bauvorhaben nicht zu rechnen ist.

**1.3.3 Richtlinie für die Einordnung und Behandlung der Gas-, Wasser-, Kabel- und sonstigen Leitungen bei der Planung öffentlicher Straßen – DIN 1998 Ausgabe 10.31**

Quelle: [DIN, 1941].

Die DIN 1998, erstmalig 1931 herausgegeben (0.2.40 und 05. 41 in überarbeiteter Form), legte die Verteilung und Tiefenlage der Versorgungsleitungen im Straßenkörper fest (siehe Abb. 1.59) und basierte auf den o.g. in der Praxis eingeführten Regeln. So wurde ausgeführt:

„Zur Einschränkung der den Verkehr hemmenden Aufgrabungen des Fahrweges sind grundsätzlich alle Hausversorgungsleitungen in den Gehwegen und Hauptspeiseleitungen im Fahrweg unterzubringen. Hauptspeiseleitungen dürfen nur dann vorübergehend in den Gehwegen untergebracht werden, wenn deren Breite zur Unterbringung sämtlicher vorhandener und

zukünftig zu erwartenden Hausversorgungsleitungen nicht völlig beansprucht werden.

Die Entfernungen werden von der Achse bzw. Mitte des Rohres, Kabels, Kanals oder Gleises gemessen. Als Straßenbreite gilt der Abstand der Straßenfluchtlinien (Straßenlinien).

Gasleitungen für die Hausversorgung sind in den Gehweg nach Zeichnung in 2,35 m axialer Entfernung von der Straßenfluchtlinie und mit mindestens 1,00 m Deckung zu verlegen. Hauptspeiseleitungen sind in die eine Seite des Fahrweges in mindestens 2,50 m axialer Entfernung von der Bordsteinkante und mindestens 1,00 m Deckung zu verlegen.

Wasserleitungen für Hauswasserversorgung sind in den Gehweg nach Zeichnung in 3,88 m oder 4,23 m axialer Entfernung von der Straßenfluchtlinie mit mindestens 1,50 m Deckung zu legen. Hauptspeiseleitungen sind in die vom Gaswerk nicht beanspruchte Seite des Fahrweges in etwa 1,20 m axialer Entfernung von der Bordsteinkante mit mindestens 1,50 m Deckung zu legen. Kanalleitungen sind im Allgemeinen in die Fahrbahn zu legen, bei Straßenbahngleisen nicht unter diese. Bei genügend breiten Straßen sind je zwei Kanäle für Schmutz- und einer für Regenwasser anzuordnen; bei sehr breiten Gehwegen können erstere in diesem untergebracht werden.“ [Grahn, 1883 sowie 1898/1902]

1978 erschien in der BRD eine weitere überarbeitete Fassung der DIN 1998 „Unterbringung von Leitungen und Anlagen in öffentlichen Flächen“ [DIN, 1978] aufgrund überholter allgemeiner und technischer Festlegungen. Bei der Neufassung waren insbesondere die Tendenz zum verstärkten Einsatz leitungsgebundener Energieträger in Verbindung mit Forderungen des Umweltschutzes, der steigende Versorgungskomfort, die zunehmende Verdichtung der Versorgung und die Entwicklung neuer Kommunikationstechniken zu berücksichtigen.

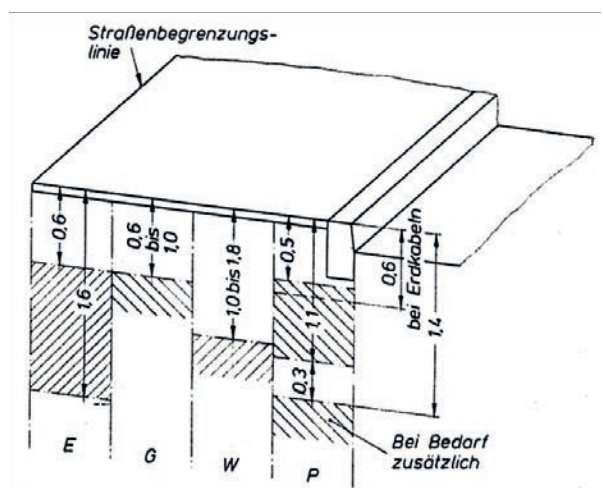


Abb. 1.58: DIN 1998: Zoneneinteilung in Gehwegen für die Unterbringung von Leitungen [DIN, 1978]

Aufgrund des erhöhten Raumbedarfes für die Unterbringung der Versorgungseinrichtungen muss zusätzlich zu den in der Gehbahn untergebrachten Leitungen der örtlichen Versorgung für die der übergeordneten

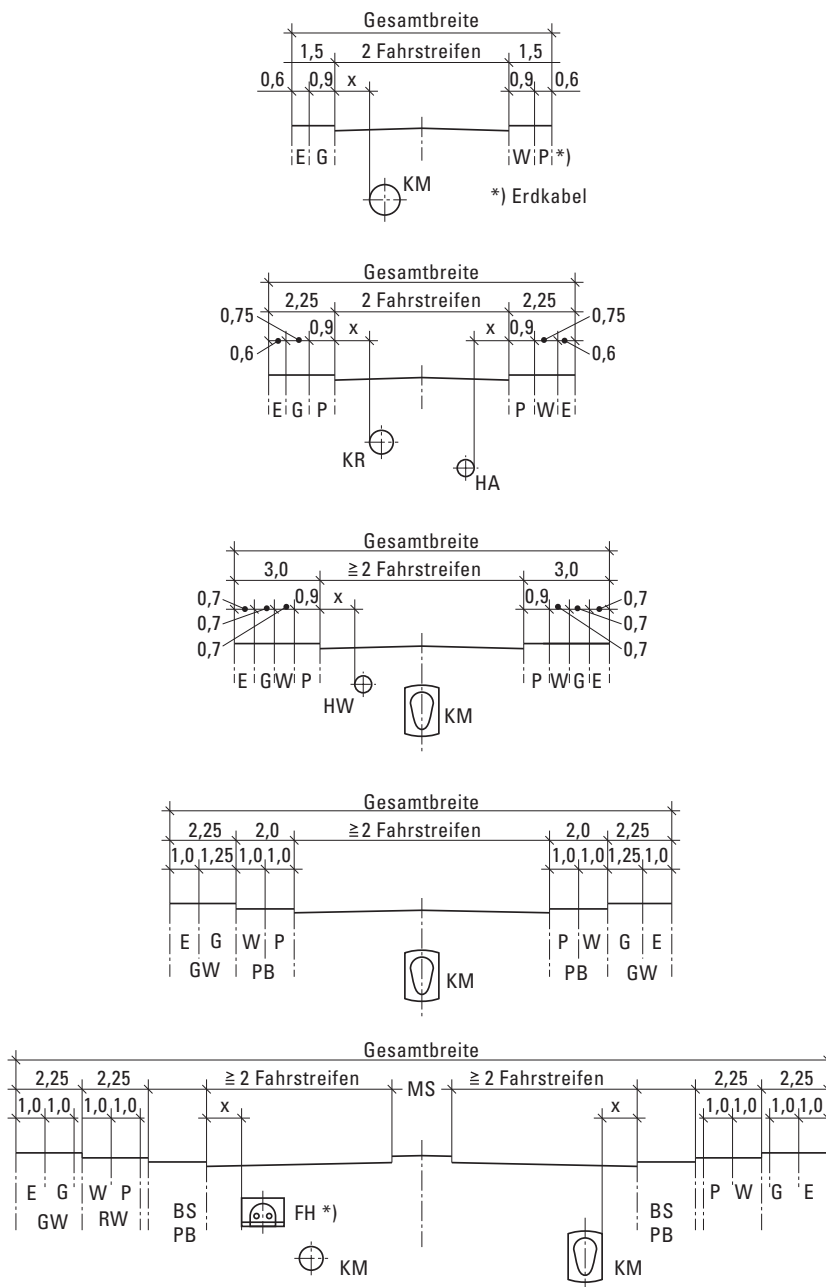


Versorgung dienenden Anlagen die Fahrbahn mitbenutzt werden.

Der begrenzt zur Verfügung stehende Raum wurde in nach Breite und Tiefenlage gestaffelte Zonen eingeteilt, innerhalb deren die Anordnung der einzelnen Leitungen und sonstigen Einbauten dem jeweiligen Versor-

gungsträger überlassen bleibt. *Abb. 1.58* zeigt die Unterbringung der Zonen in Gehwegen.

Danach sind Abwasserleitungen im Allgemeinen in der Straße zu verlegen; bei der Verlegung im Gehweg ist eine weitere eigene Zone vorzusehen. Fernwärmeleitungen sind nicht in Fahrbahnmitte anzuordnen, wenn sie in der Fahrbahn verlegt werden müssen.



\* Verlegung an dieser Stelle nur, wenn der Raum außerhalb der Fahrbahn nicht ausreicht

**Zeichenerklärung:**

- |   |                         |                                     |
|---|-------------------------|-------------------------------------|
| E = E-Zone  | KM = Mischwasserkanal   | BS = Baumstreifen, unterbrochen von |
| G = G-Zone  | KR = Regenwasserkanal   | PB = Parkbuchten                    |
| P = P-Zone  | KS = Schmutzwasserkanal | FH = Fernwärmeleitung               |
| W = W-Zone  | GW = Geweg              | HA = Abwasserdruckleitung           |
| x = 1,2 m Mindestabstand vom Randstein zur Unterbringung der Straßenabläufe | MS = Mittelstreifen     | HW = Hauptleitung für Wasser        |
|   | RW = Radweg             |                                     |

Abb. 1.59: DIN 1998: Beispiele für die Unterbringung von Leitungen im Straßenquerschnitt [DIN, 1978]

Auf dem Gebiet der DDR wurde zunächst die DIN 1998 von 1914 als TGL 0-1998 weitergeführt, im Verlaufe der 70er-Jahre die TGL 23425 1-4 „Einordnung von Versorgungsleitungen in den unterirdischen Bauraum“ eingeführt.

Vorzugsweise wird auch in dieser Vorschrift eine Einordnung der Leitungen außerhalb der Fahrbahn vorgesehen. Bei Einordnung in die Fahrbahn waren die Leitungen danach so anzuordnen, dass durch Instandhaltung und Wartung eine möglichst geringe Beeinträchtigung des fließenden Verkehrs eintritt. Zur Sicherung der Leitungen bei Aufgrabungen wurde die Verlegung von Warnbändern vorgesehen.

Weiterhin regelte diese Vorschrift die Kreuzung und Näherung von Leitungen einschließlich der vorzusehenden Schutzmaßnahmen. Darüber hinaus galten natürlich die Vorschriften der einzelnen Versorgungsträger.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass durch die relativ späte Festlegung der Normen für die Einordnung der Leitungen im Straßenkörper sehr differenzierte Verhältnisse in den einzelnen Städten anzutreffen sind und für die Planung und Vorbereitung von Rehabilitationsmaßnahmen es erforderlich ist, sich umfassende Kenntnisse über den Bestand an Versorgungsleitungen zu verschaffen.

**1.A Zeittafeln zur historischen Entwicklung**

**Prof. Dr.-Ing. habil H. Roscher**

**Wasserversorgung – Daten zur historischen Entwicklung**

1183	erste zentrale Wasserversorgung von Paris
1236	erste zentrale Wasserversorgung von London, zentrale Wasserversorgungssysteme in mittelalterlichen Städten (nur zur Verteilung in Stadtbrunnen, keine Hausleitungen)
1294	erstes Pumpwerk in Deutschland in Lübeck
1300	erste öffentliche Wasserleitung in Regensburg (1388 Nürnberg, 1550 München, 1560 Augsburg, 1565 Wien, 1580 Stuttgart)
1412	gusseiserne Rohre erstmals in Augsburg
15. Jhd.	Saug- und Druckpumpen im Bergbau eingesetzt (Agricola beschreibt stufenförmige Anordnung zur Erreichung größerer Förderhöhen)
1698	Savery stellt erste Dampfmaschine zur Grubenentwässerung und zur Wasserversorgung von 1700 Wohnhäusern auf
1712	Newcomens Dampfmaschine zum Wasserheben in Betrieb

1726	Wasserwerke in London mit atmosphärischer Dampfmaschine, Bernoullis Hydrodynamica (hydrodynamische Experimente)
1776	Niederdruck-Dampfmaschine von Boulton (1778 Einsatz in Shadwell-Wasserwerk)

*Zentrale Wasserversorgungssysteme im Ausland*

1800	Lyon
1802	Paris
1808	London
1825	Pennsylvania (USA)
ab 1800	Verwendung von gusseisernen Rohren (Leipzig, Augsburg, Schleswig)
1820	Wasserversorgung in Badezimmern in Hotel in Philadelphia,
1822	Keilschieber Philadelphia,
1837	Patent für Plattenschieber (Topham)

*Zentrale Wasserversorgung in deutschen Städten*

1848	Hamburg, Berlin 1856, Magdeburg 1859, Leipzig 1865 Verwendung von Graugussrohren
1841	erste freiwillige Feuerwehr in Meissen
1844	Erdhochbehälter Hamburg, 1856 Berlin (Bruchsteine Ziegelmauerwerk)
1880	München Betonbehälter 37500 m <sup>3</sup> , Wiesbaden 1883 4500 m <sup>3</sup> , Leipzig 1885 8000 m <sup>3</sup> anfänglich Bau von Verästelungsnetzen (später Ringnetze, für Löschwasser Hydranten 5 l/s Abstand 60 bis 100 m)
1883	Wiener Fernwasserversorgungsleitung (118,2 km; 1920 II. Wiener Fernwasserleitung)
1873	Vogelsberg-Fernwasserleitung Frankfurt am Main (65 km)
1878	nach Grahn in 143 Städten mit über 5000 E Wasserversorgungsanlagen (für 5 Millionen E)
1885	nahtlose Stahlrohre (Herstellung ab 1891, 1894 Produktionseinstellung, 1901 wieder Produktion)
Ende 19. Jhd.	Definition des „Bürgerlichen Versorgungsdrucks“ durch A. Thiem

**Gasversorgung – Daten zur historischen Entwicklung**

1784	Minkelaers gewinnt Gas aus Kohleentgasung und beleuchtet Hörsäle
1790	Murdock beleuchtet Wohnhaus und transportiert Gas in Schweineblasen
1796	Murdock baut industrielle Gasretorten zur Beleuchtung einer Fabrik

1798	Murdock beleuchtet Fabrik mit Gas Glegg erfand Entschwefelung durch Kalkmilch	1929	Beginn des Aufbaus der Ferngasversorgung
	erster Gasbehälter zum Ausgleich der Verbrauchsschwankungen	1936	erste Sauerstoffdruckvergasung
1808	Winsor, London; Straßenbeleuchtung	1943	Gasverbundnetz Ruhrgebiet, Saar-, Rheingebiet, Mitteldeutschland bis Berlin
1811	Lampadius, Freiberg, Straßenbeleuchtung	1952	erste Braunkohlenkokerei der Welt für verhüttungsfähigen Braunkohlenkoks in Lauchhammer
1819	Blochmann errichtet Gaswerk zur Beleuchtung seines Instituts		Umstellung von Stadt- auf Erdgas
1827	Blochmann baut Gaswerk in Dresden und transportiert Gas in gusseisernen Röhren	<b>Abwasser – Daten zur historischen Entwicklung</b>	
1828	weitere Gaswerke in Berlin, Hannover (öffentliche Gasbeleuchtung in vielen größeren Städten: 1807 London, 1816 Liverpool, Baltimore, 1817 Manchester, 1819 Paris, Brüssel, 1824 Hannover, New York, 1833 Wien, 1835 Petersburg)	3000	bis 1000 v.u.Z. Spülabort auf Kreta
bis Mitte des 19. Jhd.	Steinkohlengas für Beleuchtung	32 v.u.Z.	Aborte in Rom, von denen Fäkalien in einem Kloakensystem mit Wasser abgeleitet werden
1855	Bunsen konstruiert Brenner, damit Einsatz für Wärmeerzeugung möglich	um 1600	in Frankreich Aborte mit Wasserspülung
1860	176 Gaswerke in Deutschland	um 1750	in England Abort mit Spülhahn oder -kasten und Verschluss in Gebrauch
1868	557 Gaswerke	1775	A. Cumming (England) erstes Patent auf eine Art Abort mit Wasseranschluss und -spülung
1883	608 Gaswerke	Mittelalter:	Überdeckung von Bachläufen bzw. Ausbau zu Kanälen als erste Form der zentralen Abwasserleitung
1868	in England gasbeheizte Warmwasserbereiter	1828	Spülklosett im Tretmont-Haus in Boston
1878	gasbeheizte Heizofen in England	1830	London beginnt mit Bau eines Kanalisationssystems (1831 Wien, 1842 Harnburg, 1855 Paris, 1869 Brüssel)
1885	Gasbadeofen	<i>Zentrale Abwasserableitungssysteme in deutschen Städten: 1842 Hamburg, 1877 Berlin, 1856 Magdeburg, 1860 Leipzig, 1864 Rostock, 1875 Erfurt</i>	
1884	Gasglühstrumpf Auer von Welsbach	1850	Herstellung von Betonrohren in Deutschland (ab 1862 in heutiger Form)
ab 1880	Gaskoch- und -Heizgeräte auf dem Markt, Gasdurchlauferhitzer (von Junkers auf der Grundlage eines 1894 erfundenen Strömungskalorimeters entwickelt)	1869	Großproduktion von Steinzeugrohren in Deutschland
1896	in einigen deutschen Städten Gasleitungen aus Stahl	1869	Rieselfelder in Danzig, danach in Berlin
1900	Werbeaktion für hauptsächliche Verwendung von Gas für Wärmezwecke	1867	Dortmundbrunnen (nach Baumeister)
1900	Stolze baut erste Gasturbine	1894	Tropfkörper durch Gorbett (1936 Holvorson, durch höhere Belastung Spülung des Tropfkörpers)
	Gasfernversorgung in Lübeck und Heidelberg über 30 km	1906	Emscherbrunnen (Patent von Imhoff; Inbetriebnahme 1907 in Recklinghausen)
1904	Entwicklung von Drehrosten zur Verbesserung der Generatorgas erzeugung	1906	Spülsandfang
1907	Lasarew erzeugt Leuchtgas aus Erdöl in einem Schachtofen	1913	Belebungsverfahren (Paddelräder in Rinnen) Methangasgewinnung bei geschlossener Schlammfäulung in Essen
1910	Duisburg betreibt Fernversorgung über 70 km mit Abfallgas aus Kokereien		
1911	Ferngasversorgung über 100 km mit Kokereigas		



1. Technische Versorgung und Nutzung des unterirdischen Bauraums

1919	technische Versuche für feinblasige Belüftung, 1923 Großanlage in Indianapolis	1853	Bau einer Heizungsanlage im Palais du Luxembourg (Gesamtlänge 8 km)
	Imhoff nutzt Teiche und Seen für weitergehende Abwasserbehandlung (1929 Hengsteysee bei Hagen)	1854	Magdeburger Warmwasserheizung in eine Villa und im Augustinerkloster
1921	Bolton Wurfkreisler zur Belüftung	1855	Erfindung des Bunsenbrenners (Gaseinsatz zum Heizen)
1925	Absetzbecken mit Schildrümer in Leipzig befriedigend gelöst	1859	elektrische Heizung – erstmals in Patentschrift erwähnt (1885 erste Versuche zur elektr. Heizung von Eisenbahnwagen, 1892 elektr. Ofen im kaiserlichen Schloss W. v. Siemens)
1945	Mikrosieb in England patentiert		
1951	Sandschnellfilter in der Kläranlage Luton	1854	Magdeburger Warmwasserheizung in einer Villa und im Augustinerkloster
nach 1970	in zunehmendem Maße weitergehende Abwasserreinigung eingesetzt (Phosphor- und Stickstoffverbindungen)	1867	Warmwasserheizung im Berliner Rathaus

**Fernwärmeversorgung – Daten zur historischen Entwicklung**

3. Jhd. v.u.Z.	Zentralheizung mit Rauchgasen in China	1877/78	Lockport/USA, erste größere Fernwärmeversorgungsanlage mit 5 km Rohrleitungen (Dampf) zur Wärmeversorgung von Wohn-, Geschäfts- und Bürogebäuden
nach 100	Warmluftheizung in Rom (Hypokaustenheizung)		
11. bis 12. Jhd.	Übergang von offenen Feuerstellen zu geschlossenen (Schornstein um 1200)	1880	erste Pumpenwarmwasserheizung in Dresden (Gärtnerei Liebig 200 m)
nach 1200	wahrscheinlich Luftheizung des Lüneburger Rathauses	1884	Berlin, Technische Hochschule Fernwärmeanlage
nach 1200	Kachelofen	1885	erstes Elektrizitätswerk mit einer Heizzentrale in den USA (Heizung mit direktem Dampf)
14. bis 15. Jhd.	Entwicklung des eisernen Ofens als Küchenofen	1893	Hamburg, Rathaus aus dem Elektrizitätswerk mit Wärme versorgt
um 1350	Luftheizung im Marburger Schloss	1894	Dresden, Sächsischer Staatsbahnhof, 1897 Krankenhaus Herzberg
um 1400	Erdölheizung in Badezimmern in Byzanz	1892-1912	in allen größeren Städten der USA Fernwärmenetze
1653	Hugh-Plat Anleitung zum Bau von Niederdruckdampfheizung für Gewächshäuser (The Garden of Eden, London 1653)	1902	Dresden, erste europäische Fernwärmeversorgungsanlage (Schloss, Zwinger, Oper)
1745	Oberst Cook (England) gibt eine erste Anregung zur Dampfheizung	1905	Kiel
1750	erste größere Luftheizungsanlage in Petersburg	1910	München, Hauptbahnhof
1769	J. Watt erste Dampfmaschine	1920	Beginn des Baus von Städteheizungen in Deutschland (Hamburg 1921, Kiel 1922, Barmen, Berlin-Neukölln 1921/22, Aschaffenburg 1923/24, Mannheim 1924, Wuppertal 1925)
1770	J. Watt beheizt Fabrik und Wohnräume mit Dampfheizung	1933	21 größere Anlagen in Deutschland (Berlin, Braunschweig, Dresden, Halle, München, Schwerin, ...)
1790	Neil Snoderas Anwendung der Dampfheizung in einer Seiden- und Wollmanufaktur	1924	Leningrad, 1930 Moskau
1817	Ludwig Catell, Lehrbuch „Die Heizung mit Wasserdämpfen“	1924	Usti, 1928/29 Prag, 1930 Brünn
1818	Tretgold (England) beheizt von einer Zentrale Gewächshäuser und andere Gebäude einer Gärtnerei (270 m)	1925	Sofia
1831	Perkins Patent zur Beheizung von Gebäuden	1926	Kopenhagen, 1927 Esbjerg, 1928 Aarhus
1841	Lehrbücher über Warmwasserheizungen von Peclet und Ch. Hood	1931	Paris

Nach 2. Weltkrieg	erste größere Fernwärmenetze in England, Österreich, Finnland und Polen	1820	Faraday findet theoretische Grundprinzipien der Elektromaschine Umwandlung von Magnetismus in Elektrizität
	BRD und DDR Aufbau von Fernwärmenetzen für große Wohngebiete sowie Satellitenstädte und Neubauten	1821	Seebeck entdeckt Thermoelektrizität
seit 1950	setzte sich Ölheizung auch in Wohngebäuden durch	1831	Faraday entdeckt elektromagnetische Induktion (1835 Induktionsgesetz)
ab 1960	Aufbau von Fernwärmeversorgungssystemen der DDR	1832	Pixi baut ersten rotierenden Wechselstromerzeuger
1960	Ägesta (Schweden), Beheizung mit Warmwasserbereitung durch Schwedens erstes Atomkraftwerk	1834	Jacobi erster batteriegespeister Elektromotor (Petersburg)
		1854	Göbel; erste elektrische Glühlampe
		1860	Pacinetti konstruiert Elektromotor mit rotierendem Ringanker
		1866	dynamoelektrisches Prinzip und betriebsreife Dynamomaschine W. v. Siemens
<b>Elektroenergieversorgung – Daten zur historischen Entwicklung</b>			
1612	Leibnitz entdeckt elektrischen Funken	1869	Gramme entwickelt Gleichstrommaschine mit Ringanker
1682	Marly bei Versailles, größte Wasserkraftanlage mit 13 Wasserrädern,	1872	Hefner-Alteneck Gleichstrommaschine
1690	Papin konstruiert atmosphärische Dampfmaschine mit Zylinder und Kolben	1874	Übertragung von Elektroenergie über 1 km durch Fontaine
1712	Newcomens Dampfmaschine in Betrieb	1876	Lodygin nutzt elektrischen Strom zur Beleuchtung von Petersburg
1747	Franklin unitarische Theorie	1876	Jablotschew Patent für Bogenlampe
1752/53	Aufladung der Luft untersucht	1876	erste Erzeugung von Elektroenergie aus Wasserkraft als höfische Spielerei am bayrischen Königshof
1759	Eninus Versuche zur Theorie Elektrizität und des Magnetismus	1877	in Leipzig drei größere Betriebe mit Elektroenergie für Beleuchtung
1765	Polsunow konstruiert eine atmosphärische Dampfmaschine	1878	Edison Glühlampe mit Vakuum und Kohlefaden
1769	Niederdruckdampfmaschine von J. Watt patentiert	1881	erste elektrische Straßenbahn in Berlin-Lichterfelde
1771	Cavendish Wechselwirkung elektrischer Ladung	1882	Deprez überträgt Elektrizität über Entfernung von 57 km (Miesbach München)
1785	Coulomb stellt Abhängigkeit der Wechselwirkung zwischen elektrischen Ladungen von ihrer Größe und ihrer Entfernung voneinander fest	1882	Oskar von Miller, erste Hochspannungsübertragung
1786	Galvani entdeckt Berührungselektrizität in Tierversuchen	1882	Edison Elt-Kraftwerk New York, 1883 Mailand, 1884 Berlin
1797	Volta wies Existenz des elektrischen Stromes nach und schuf elektrische Säule (Voltasäule)	1883	elektrische Nähmaschine
1800	Ende des 18. Jh. Versuche mit Wasserturbinen	1885–88	Ferrari schlägt Anwendung zweiphasigen Wechselstromes vor
1802	Ritter Ladungssäule, Vorläufer des Akku (1854 Blei-Akku, Beginn 20. Jh. Stahl-Akku)	1885	Einführung des Trafos in Elektrotechnik (Gibbs, Gonhard)
1812	Davy untersucht Lichtbogen	1885–90	Blütezeit der Blockzentralen bis 100 V Spannung
1819	Oerstedt entdeckt Elektromagnetismus (Grundlage für E-Motor und Generator)	1886	erste Kraftanschlüsse
		1887	Patent Teslas Wechselstrommotor
		1889	Tesla konstruiert Generator für Wechselstrom von 5 und 15 kHz
		1890	erste elektrische U-Bahn in London

## 1. Technische Versorgung und Nutzung des unterirdischen Bauraums

1891	Miller/Doliwa/Dobrowski bauen Leitung für Drehstrom (Frankfurt-Laufen)	1797	Voltasäule diese elektrochemische Stromquelle war viele Jahre wichtigste Grundlage in der elektrischen Nachrichtentechnik
1892	elektrisches Bügeleisen, Kochplatte		
1896	Niagara/Wasserkraftwerk Zweiphasen-Wechselstrom	1802	Salva baut elektrochemischen Telegraf
1890	hatten bereits 18 Städte in Deutschland Kraftwerke, zu Beginn des 20. Jh. fast alle deutschen Städte	1812	erzielt Sömmering Übertragungsleistung von 3 km
1900	Bau von Oberlandwerken beginnt	1820	Nadellelegraf Ampere und Ritchie, 1929 von Fechner
1901	Staubsauger	1829	Schilling entwickelt elektromagnetischen Telegraf
1904	Pumpspeicherwerk Rupoldingen (Schweiz)	1832	der Öffentlichkeit vorgeführt
1904	erste 100-kV-Freileitung (Lauchhammer-Riesa)	1833	elektromagnetischer Nadellelegraf durch Gauß und Weber in Göttingen erbaut und betrieben
1913	20 % der Gemeinden in Deutschland mit Elektrizität versorgt, 15 % sämtlicher Haushalte angeschlossen	1837	Morse erfindet elektromagnetischen Schreibtelegraf
1917/18	100-kV-Freileitung Golpa-Zschornowitz-Berlin (132 km)	1837	optische Telegrafienlinie Petersburg-Warschau
1919	elektrische Heißwasserspeicher	1844	Telegrafienlinie Washington Baltimore mit Morseapparat
1926	Auftrag an Oskar von Miller für Elektroenergieversorgungsplan Deutschlands	1846	W. v. Siemens entwickelt elektrischen Zeigertelegraf mit Selbstunterbrechung
1926	erste 220-kV-Leitung	1849	Berlin – Halle – Erfurt – Kassel – Gießen – Frankfurt/M. als telegrafische Verbindung
1930	Oskar Oliven legt Plan einer europäischen Verbundwirtschaft vor	1850	entwickelt Buchstabenschreibtelegraf
1927–29	220-kV-Fernleitungen, für 380 kV gebaut, verbinden Energiequellen von Rhein und Ruhr mit Wasserkraften der Alpen	1852	Telegrafienlinie zwischen Paris und London
1938	Hahn Kernspaltung	1858	Überseekabel zwischen USA und England verlegt
1941	Fermi Kernreaktor	1861	Erfindung des Telefons durch Ph. Reis
1954	UdSSR erstes Atomkraftwerk in Obninsk mit 5 MW	1869	Telegrafienlinie London – Kalkutta
1985	374 Kernkraftwerke mit einer Gesamtleistung von 250.000 MW in 26 Ländern	1876	Graham und Bell, Patent für Telefon
Nach dem 2. Weltkrieg	in der DDR Aufbau des Verbundbetriebes mit 110, 220 und 380 kV Gründung RGW-Verbundsystem „Frieden“	1876	Erfindung Kohlekörnermikrofon von Edison
		1878	erstes Fernsprechnet in New Haven, 1879 Paris
		1881	erstes deutsches Fernsprechnet
		1885	in 58 deutschen Städten Fernsprechnetze
		1807	Marconi erhält Patent für drahtlose Telegrafie
		1900	Münzfernsprecher in Deutschland
		1900	Verwendung von Kabelformsteinen in Berlin 1912 bis 1920 große Teile der Innenstadt mit Kabelkanälen ausgestattet
		1902	drahtlose Telefonie
		1890	233 Ortsnetze mit 51429 Sprechstellen in Deutschland

**Fernsprechen – Daten zur historischen Entwicklung**

1785	Salva baut Telegrafienlinie zwischen Madrid und Aranjuez		
1791	Chappe erfindet den optischen Telegraf		
1794	Chappe richtet zwischen Paris und Lille die erste optische Telegrafienlinie ein		
	Kulibin stellt optischen Telegraf her		



1898	720 Ortsnetze mit 172429 Sprechstellen in Deutschland	1904	Glühkathode zur Verbesserung der Braun'schen Röhre Elektronenröhre (Triode) von Forest
1905	3003 Ortsnetze mit 503429 Sprechstellen in Deutschland	1906	erster Rundfunksender
1908	in Hildesheim erstes Selbstwählfernamt mit etwa 900 Anschlüssen	1907	bidtelegrafische Übertragung zwischen München und Berlin (Leitung A. Korn)
1910	10 Millionen Fernsprechanschlüsse auf der Erde	1907	Boris Ivovitch erhält Patent zur elektrischen Fernsehübertragung von Bildern
1915	Erfindung des Wellenfilters auf Fernsprechverbindungen „Unterlagerungstelegrafie“	1910	Fernsehvorführung auf Brüsseler Weltausstellung
1923	derartiges „Wechselstromtelegrafie“-System in USA zwischen New York und Pittsburgh	1920	Rundfunk als Nachrichtenmittel arbeitsfähig
1933	Betriebsaufnahme des „Telex“-Netzes in Deutschland	1922	erste Rundfunksendung in den USA BBC
1937	PCM („Puls Code Modulation“) als Übertragungstechnik	1923	erste Unterhaltungssendung in Deutschland
1900	Einbau von Spulen in Fernsprechkabel zur Herabsetzung der Dämpfung	1923	erfindet das Ikonoskop (praktische Nutzung 5 Jahre später)
1935	Einführung von Koaxialkabeln (Erhöhung der Anzahl der Gespräche), Einführung von Lichtwellenleiterstrecken (BRD 1979)	1924	Patent zur elektrischen Fernsichtbarmachung bewegter Bilder (M. Dieckmann),
1906	Forest (USA), R.v. Lieben (Österreich) Verstärkerröhren	1925	Vorführung auf Verkehrsausstellung in München
1915	transkontinentale Fernsprechverbindung möglich	1925	UKW-Versuche in Deutschland
1920–30	Einführung von Langwellen-Telefoniesystemen	1926	Baird (schott. Physiker) führt Übertragung eines menschlichen Gesichts mit plastischer Wirkung vor. Jenkins zeigt Fernseh-Schattenbilder einer Modell-Windmühle (USA)
Ende der 20er-Jahre	Kurzwellenverbindungen	1927	Baird überträgt 30-zeilige Fernsehbilder von Glasgow nach London (640 km)
1965	Fernmeldesatellit „Intelsat“	1928	Fernsehvorführung auf 5. Großer Deutscher Funkausstellung in Berlin
1978	Einführung der Lichtwellenleitertechnik in Japan	1928	Baird überträgt Fernsehbilder über Atlantik
1979	Lichtwellenleiterstrecke Berlin-Innenstadt nach Oberschöneweide	1928	Fernseh-Versuchssendungen Berlin-Witzleben
<b>Fernsehen – Daten zur historischen Entwicklung</b>		1928	Fernseh-Versuchssendungen Berlin-Witzleben
1875	Entdeckung der Kathodenstrahlen (Crookes)	1929	Eröffnung Kurzwellensender in Königswusterhausen
1893	Nipkow Lochscheibe zur Bildzerlegung 1883 Patentschrift, 1884 Eintragung beim kaiserlichen Patentamt, 1885 Zuerkennung des Patents)	1930	M.v. Ardenne Übertragung vollelektronischer Bilder
1888	Nachweis der Existenz von elektromagnetischen Wellen durch Heinrich Hertz (Grundlage der Funktechnik und drahtlosen Übertragung)	1930	NBC eröffnet Fernsehversuchssender in New York
1897	Kathodenstrahl-Oszillograph von Ferdinand Braun, später Anwendung in Braunscher Röhre	1931	Vorführung des elektronischen Fernsehens während der Berliner Funkausstellung
1901	erste Funkverbindung Europa-USA	1935	UKW-Sender
1902	erstes Farbfernsehpatent von Otto von Brank	1935	regelmäßiges Fernsehprogramm (3 mal in der Woche) in Deutschland
		1936	Olympiaübertragungen in 27 Fernsehstuben in Berlin, Fernsehprogrammdienst, England 1936, USA 1939, Japan 1940

1. Technische Versorgung und Nutzung des unterirdischen Bauraums

1945	Wiederaufnahme des Fernsehens in Frankreich, England, USA	nach 1920	Bau von zentralen Klimaanlage für Komfort und Industrie
1948	Astoria/Oregon erste Kabelfernseh-anlage	nach 1955	Bau von Fernkälteanlagen (DDR: Berlin, Leipzig, Karl-Marx-Stadt)
1952	erste Versuche in Kanada und Eng-land		
1953	Einführung Farbfernsehen USA, 1967 BRD, UdSSR, Großbritan-nien, Frankreich, 1969 DDR		
1954	Eurovision (Übertragung Fußball-weltmeisterschaft), 525 Kabelsys-teme mit 450000 Haushalten	1876	erste Müllverbrennungsanlage in England
1960	Fernsehübertragung aus dem Welt-raum	1893	in Hamburg
1960	Niederlande und Belgien Aufbau von Kabelfernsehnetzen (1964 Frankreich, 1972 Italien, 1977 Os-terreich und Australien)	1958	Müllabsauganlagen für große Ge-bäudekomplexe in den USA und Schweden, BRD und anderen Län-dern Schweden, Mülltransportsys-tem in Sundbyberg, 1971 Stock-holm, 1974 Malmö, 1975 Göteborg
1961	Fernsehübertragung Moskau-DDR	1972	Mülltransportsysteme in München, Heidelberg, Frankfurt am Main, Bonn, Mannheim
1964	Nachrichtensatellit „Telstar“ in Erdumlaufbahn, Fernsehsatellit „Syncom III“ (Übertragung der Olympischen Spiele Tokyo)	1972	Grenoble (Frankreich)
1969	Übertragung der Mondlandung (365.000 km)	1972	London Westminster
1981	Kabelfernsehnetze bzw. Breit-bandkommunikation in BRD	1973	Venezuela, Caracas
		1974	USA, Welfare, Island, Jersey City
		1974	SU in Tschertanowo und Moskau
		1975	Dänemark: Kopenhagen, Japan: To-ki-o

**Mülltransportsysteme – Daten zur historischen Entwicklung**

Weiterführende Literatur: [Roscher, 2005b], [Roscher, 2005a], [Heidger und Krücken, 2005], [Kiesselbach, 1997]

**Rohrpost – Daten zur historischen Entwick-lung**

1853	baute L. Clark die erste brauchbare Rohrpost in London (Saugluftbetrieb 100 m)
1858	wendete er erstmals Druckluft und Wendebetrieb an
1861	entstand im Berliner Telegrafenam-t eine Hausrohrpost 1862 London 1,5 km Rohrleitung
1863	entwickelte C.F.Varley das System weiter sowie Send- und Empfangs-geräte  Stadtröhrenetze: ab 1875 Wien, 1876 New York, Berlin, München 1866/79 Paris, 1899 Prag, 1908 Hamburg, 1912 Leipzig

**Fernkälteanlagen – Daten zur historischen Ent-wicklung**

1863	Kompressionskältemaschine von Ch. Tellier
1875	Linde Ammoniak-Kältemaschine
1877	industrielle Luftverflüssigung
1880	Gefrierverfahren zum Schachtabteu-fen (F.H. Poetsch)
nach 1900	Einführung moderner Klimatechnik durch Carrier

## 2 Begriffsbestimmungen der Rehabilitation (Sanierung und Erneuerung)

Prof. Dr.-Ing. habil. H. Roscher

### 2.1 Ziele der Rehabilitation

#### 2.1.1 Rehabilitation als Daueraufgabe

Nach dem Ausbau der technischen Versorgungssysteme im 20. Jahrhundert müssen sich die Versorgungsunternehmen in diesem Jahrhundert in verstärktem Maße der **Instandhaltung** ihrer Rohrnetze und Bauwerke zuwenden, Rohrleitungen sanieren oder erneuern und aufgetretene funktionale Mängel beseitigen.

**Die Rehabilitation der Versorgungsnetze ist eine Daueraufgabe der Versorgungsunternehmen. Durch die Sanierung von Rohrleitungen oder von Rohrnetzen kann der Zeitpunkt der Erneuerung verschoben werden.**

Jedes Versorgungsunternehmen steht aufgrund des „Erbes aus der Vergangenheit“ früher oder später vor der **Entscheidung: Sanieren oder Erneuern.**

Die Rehabilitation gehört zum Bereich der Instandsetzung und umfasst die Reinigung, Sanierung und Erneuerung von Leitungen – siehe dazu DVGW-Regelwerk. Ebenso gehört die Reparatur zur Instandsetzung.

DIN EN 752 versteht unter Sanierung „alle Maßnahmen zur Wiederherstellung oder Verbesserung von vorhandenen Entwässerungssystemen“ und unterteilt den Begriff Sanierung in die Untergruppen Reparatur, Renovierung und Erneuerung – siehe auch dazu Regelwerk der DWA.

#### 2.1.2 Wasserversorgung

Die Sanierung und Erneuerung von Wasserrohrleitungen erfolgt gegenwärtig hauptsächlich nach dem Kriterium Schadenshäufigkeit, welches als von vielen Versorgungsunternehmen als signifikant für den Zustand des Leitungssystems angesehen wird. Untersuchungen haben gezeigt, dass das Alter einer Leitung kein Kriterium für den Zustand einer Rohrleitungen ist, sondern dass bei z.B. metallischen Leitungen Herstellungsverfahren, Korrosionsschutz u.a. Faktoren maßgebend sind und zu Schäden führen. Eingeführt wurden deshalb Zustandsuntersuchungen zu Bestimmung der Restnutzungsdauer älterer Rohrleitungen.

Von zunehmender Bedeutung ist der Faktor Wassergüte.

Die Mehrheit der Verbraucher beurteilt die **Wassergüte** nach den Kriterien Geschmack, Farbe und Trübung. Der Zustand der Rohrleitungen und Hausanschlüsse hat beträchtliche Auswirkungen auf die Trinkwasserqualität, vor allem Wassertrübungen werden von Kunden beanstandet.

Trübes oder braunes Wasser ist immer auf den Gehalt an gelösten Eisen- und Manganverbindungen zurückzu-

führen (ausgehend von der Wassergewinnung oder bei Veränderung der Wassergüteparameter auch Rücklösung oder bei wechselnder Fließrichtung Aufwirbelung von Ablagerungen).

Zu entscheiden ist, ob Netzspülungen noch ausreichend sind oder eine Leitungsstrecke saniert werden kann bzw. erneuert werden muss. Als Verfahren der Spülung werden heute eingesetzt:

- Wasserspülung (Reinigungseffekt beruht auf der Mobilisierung von Ablagerungen infolge der Erhöhung der Fließgeschwindigkeit),
- Saugspülung (Ansaugen von Wasser aus dem Hydranten mit Unterdruck),
- Luft-/Wasserspülung (Wasser und Luft kommen zum Einsatz; über einen Hydranten wird mit Hilfe eines Kompressors Luft in die zu spülende Leitung eingeleitet),
- Luft-/Wasser-Impulsspülung (basiert auf dem Prinzip der Luft-/Wasserspülung; in der Leitung Blasen definierter Abmessung erzeugt werden),
- Feststoffspülung (Spülung mit Wasser, Luft und Eiswürfel, durch Turbulenzen der Eiswürfel wird mechanische Reibung erzeugt).

#### 2.1.3 Gasversorgung

Gas wird in zunehmenden Maße für die Wohnungsbeheizung und Warmwasserbereitung eingesetzt. Allerdings beeinflusst die Nutzung anderer Energieträger bzw. Wärmequellen (Öl, Holz, Geothermie, Solarenergie, Wärmerückgewinnung aus Abwasser, Windkraft usw.) den Gaseinsatz.

Der gravierendste Aspekt war in den 80er und 90er Jahren die Umstellung von Stadt- auf Erdgas und erforderte in der 1. Phase die Dichtung alter Graugussleitungen (Graugussprogramm). In der nachfolgenden Phase gewann die Leitungssanierung mit Gewebeschläuchen bzw. die Leitungserneuerung in offener Bauweise (oft gemeinsam mit parallel liegenden Wasserleitungen) oder in geschlossenen Bauweisen die größere Bedeutung.

Als neues Problem kommt die Einspeisung von Biogas in die stätischen Gasversorgungsnetze hinzu. Dabei sind in den nächsten Jahren noch eine Reihe von Fragen zu klären, die die Sicherheit des Betriebes, die Einspeisepunkte usw. betreffen.

Ebenso ist zu klären, welche Auswirkungen diese neuen Gesichtspunkte auf die Rehabilitation der Rohrnetze haben.

#### 2.1.4 Fernwärmeleitungen und -kanäle

Der Wärmetransport mit Heizwasser erfolgt in 2-, 3- bzw. 4-Leitersystemen (eine Vor- und eine Rücklauflei-



tung, 2 Vorlauf- und eine Rücklaufleitung bzw. 2 Vor- und 2 Rücklaufleitungen). Der Wärmetransport mit Dampfnetzen erfolgt in der Regel in 2- oder 3-Leitersystemen.

Bei der konstruktiven Gestaltung sind technologische und baukonstruktive Funktionsbedingungen zu erfüllen, wie:

- Transport des Wärmeträgers mit geringen Wärmeverlusten (Parameterauswahl des Wärmeträgers und Isolierungen),
- Rohrauflagerung und Stützkonstruktionen zur Gewährleistung der temperaturbedingten Dehnungsaufnahme,
- Absperrung und Funktionssicherungen (Druckhaltung, Druckstoß),
- Schutz der Rohrleitung und Isolierungen vor Belastungen bzw. Feuchtigkeit

Als Verlegeverfahren wurden bzw. werden angewendet:

- Kanalverlegung (Wärmekanäle und Sammelkanäle),
- kanallose Verlegung,
- Sockel- und Stützenverlegung,
- Kellerverlegung (Leitungsgang und Kellerfreiverlegung).

### 2.1.5 Abwasserableitung

Auf dem Gebiet der Abwasserableitung stand in den letzten Jahren zunächst der Anschluss städtischer Randgemeinden bzw. ländlicher Gebiete an Abwassernetze und große Kläranlagen im Vordergrund.

Derzeitig sind andere Tendenzen erkennbar, z.B. die Rückkehr zu dezentralen Lösungen der Abwasserbehandlung, um lange Transportkanäle mit geringen Fließgeschwindigkeiten zu vermeiden.

Straßenkanäle und Hausanschlussleitungen weisen zahlreiche Schäden auf, so dass deren Sanierung bzw. Erneuerung auf der Tagesordnung steht. Für diese steht eine große Anzahl von Verfahren sowohl der Sanierung als auch der Erneuerung zur Verfügung. Hervorgehoben wird für die Notwendigkeit der Schadensbehebungen insbesondere die Gefahr der Exfiltration Versickerung von Abwasser in das Grundwasser, aber auch die Infiltration von Grundwasser in das Kanalnetz und die damit verbundene höhere Belastung der Kläranlagen (die Aufnahme von 1 l/s Grundwasser in das Kanalnetz hat eine Kläranlagenbelastung von ca. 31.500 m<sup>3</sup>/Jahr zur Folge).

Ein akutes Problem ist die Schachtsanierung. In den letzten Jahren wurden dafür zahlreiche Verfahren entwickelt und in der Praxis auch angewendet.

## 2.2 Technische und betriebswirtschaftliche Nutzungsdauer

### 2.2.1 Einflussfaktoren und Zustandsbeurteilung

Die technische Nutzungsdauer und betriebswirtschaftliche Nutzungsdauer aller Rohrmaterialien ist begrenzt und von verschiedenen Einflussfaktoren abhängig. Sie

kann durch rechtzeitige Sanierungsmaßnahmen verlängert werden, z.B. durch Zementmörtelaukskleidung.

Einflussfaktoren, welche die **Nutzungsdauer** von Materialien beeinflussen, sind z.B.:

- physische Veränderungen der Materialien aufgrund ihres Alters (Korrosion, Graphitierung Zeitstandsverhalten usw.),
- neue oder veränderte Anforderungen an die Rohrnetze und Bauwerke,
- äußere Einflüsse wie Verkehrsbelastungen, Boden- und Grundwasserhältnisse,
- neue Entwicklungen von Rohrmaterialien und Auskleidungen bzw. Beschichtungen,
- neue wissenschaftliche Erkenntnisse (z.B. in der Wasserversorgung Wechselwirkung der Rohrmaterialien mit dem transportierten Wasser oder Verhalten von Rohrmaterialien im Abwassernetz hinsichtlich von Schadstoffen usw.).

Die **Zustandsbeurteilung** von in Betrieb befindlichen Druckrohrleitungen ist in der Regel nur bei Aufgrabungen infolge von Schäden oder bei Arbeiten im unterirdischen Bauraum möglich. Die Quantifizierung der inneren und äußeren Einflüsse, denen die Leitungen unterliegen und die auf Dauer ihren Zustand verschlechtern, ist nur schwer möglich.

In den letzten Jahren wurden Verfahren der Zustandsbeurteilung für metallische Wasserrohrleitungen entwickelt, mit denen anhand von bei Schadensfällen, Armaturenaustausch usw. geborgener Rohrstücke der Zustand von Rohrleitungsstrecken beurteilt werden kann.

Eine Kamerabefahrung wie bei Abwasserleitungen ist hygienischen Gründen in der Regel nicht möglich (Ausnahme großdimensionierte stillgelegter Leitungen).

Die Zustandsbeurteilung von Abwasserleitungen ist durch Kamerabefahrung einschließlich von Hausanschlussleitungen möglich. Allerdings ist dazu einschränkend festzustellen, dass zwar Risse, Versätze, Wurzeleinwüchse usw. festgestellt und beurteilt werden können, jedoch keine Aussagen über die „Reststatik“ und das Zusammenwirken von Boden und Rohr möglich sind.

### 2.2.2 Ursachen von Schäden an Wasserversorgungsnetzen

Als Ursachen von Schäden von Wasserrohrleitungen sind nach [Roscher et al., 2000] neben den Eigenschaften der in der Vergangenheit eingesetzten Rohrwerkstoffe, Rohrverbindungen und Umhüllungen zu nennen:

- Rohrmaterialalterung und -ermüdung (Graphitierung bei Graugussleitungen, unzureichende Zeitstandsfestigkeit bei älteren Kunststoffrohren),
- Einsatz ungeeigneter Materialien oder solche schlechter Qualität,
- unzureichender Außen- und Innenschutz metallischer Rohrmaterialien gegen Korrosion in der Vergangenheit sowie Korrosionserscheinungen durch Fremd- und Streuströme von elektrischen Bahnen und Stahlbetonfundamenten in heutiger Zeit,

- das Bruchverhalten bei mechanischen Belastungen einschließlich der Kerbwirkung bei Kunststoffrohrleitungen bzw. Beschichtungen bei metallischen Rohrleitungen,
- Wasserqualität und Wasserqualitätsänderungen (Grundwasser – Talsperrenwasser),
- wechselnde Druckverhältnisse in Tag- und Nachtstunden oder Neuordnung von Netzteilen zu Druckzonen,
- Boden- und Grundwasserverhältnisse,
- Verkehrserschütterungen, Bergbaufolgeerscheinungen (Setzungen),
- Beschädigungen durch Dritte (Verkehrsbau und Versorgungsleitungsbau direkt oder indirekt durch Belastungen, Setzungen, Arbeiten an anderen Versorgungssystemen).

Im Sinne der Instandhaltung einer Betrachtungseinheit nach Unterschreiten eines bestimmten (festzulegenden) Grenzwertes des **Abnutzungsvorrats**, der eine im Hinblick auf die Verwendung unzulässige Beeinträchtigung der Funktionsfähigkeit (siehe *Tab. 2.1*).

**Schäden** am Wasserversorgungsnetz nach W 401 (Entscheidungshilfen für die Rehabilitation [DVGW, 2005b]) und W 395 (Schadensstatistik [DVGW, 1998c]) sind bedingt durch:

- Korrosion (Flächen-, Mulden- und Lochkorrosion)
- Querbrüche,
- Längsrisse,
- Schalenbrüche,
- Schäden an Rohrverbindungen (Muffenaustriebe, Risse),  
bedingen
- Inkrustation (Verminderung der hydraulischen Leistungsfähigkeit).

Die erstgenannten Schadensgruppen führen zu Wasserverlusten, wobei Flächen- und Muldenkorrosion die Vorstufen der Lochkorrosion sind und erst die letztgenannte Stufe zu Wasserverlusten führt.

**Typische Rohrschäden metallischer Rohrleitungen** sind Korrosionserscheinungen, einschließlich der Graphitierung als besonderer Form der Korrosion sowie Brüche (Längs- und Querrisse sowie Schalenbrüche); **typische Rohrschäden an Kunststoffrohrleitungen** sind Ermüdungserscheinungen und Kerbverhalten bei Kunststoffrohren.

Metallische Rohrleitungen werden deshalb heute werkseitig innen und außen zuverlässig gegen Korrosion geschützt, daher gewinnt der Korrosionsschutz auf der Baustelle zum Erreichen einer langen technischen Nutzungsdauer eine zunehmende Bedeutung. Einzusetzen sind werkseitig und auf der Baustelle Materialien mit einer geringen Permeabilität für Sauerstoff und Wasser und hohem elektrischen Widerstand.

Kunststoffrohre aus der ersten Verlegeperiode hatten eine geringe Zeitstandsfestigkeit und wurden z.T. in steinigem Boden verlegt, wodurch Kerben und Schäden entstanden. Aufgrund vorliegender Erfahrungen werden Kunststoffrohre mit einer hohen Zeitstandsfestig-

keit eingesetzt und bei Erfordernis mit zusätzlichem Außenschutz verlegt.

Eine entscheidende Weiterentwicklung bei Kunststoffrohren sind die sog. Mehrschichtrohre (Schutzmantelrohre, Rohre mit innenliegender Alu-Schicht als Diffusionssperre) und Rohre mit integriertem Kupferdraht zur Ortung von auftretenden Schäden.

Die **Wirkungen der Rohrschäden** sind unterschiedlich. Neben den Schäden durch Wasserverluste und Reparaturarbeiten für die Wasserversorgungsunternehmen treten auch Folgeschäden auf, wie Versorgungsausfälle und Behinderungen für die Anlieger, Verkehrsumlagen, Setzungserscheinungen und mögliche Folgen für benachbarte Leitungen. Diese sogenannten **sozialen Kosten** sind schwer erfassbar, werden nicht von den Wasserversorgungsunternehmen getragen, sondern von Anliegern, Straßenbenutzern – also von der Gesellschaft insgesamt.

**Sie führen in jedem Fall zu Imageverlusten der Wasserversorgungsunternehmen.**

### 2.2.3 Ursachen von Schäden an Gasrohrnetzen

Als Ursachen von Schäden an Gasrohrleitungen sind ähnlich wie in der Wasserversorgung die Eigenschaften der in der Vergangenheit eingesetzten Rohrwerkstoffe, Rohrverbindungen und Umhüllungen zu nennen.

Allerdings muss berücksichtigt werden, dass Gasrohrleitungen mit einer geringeren Überdeckung (0,8 bis 1,0 m) verlegt wurden als Wasserrohrleitungen (ca. 1,5 m in Abhängigkeit von Frosttiefe) und sich dadurch Belastungen durch den zunehmenden Straßenverkehr mehr ausgewirkt haben als bei Wasserrohrleitungen.

Der Bau benachbarter Leitungen in größerer Tiefenlage als der Gasleitungen (Wasser- und Abwasserleitungen) kann bei zu kleinem Trassenabstand die Bettungsbedingungen der Gasleitungen negativ beeinflussen.

Weiterhin hat die Umstellung von „nassem“ Stadtgas auf „trockenes“ Erdgas Dichtungsmaßnahmen an den Muffenverbindungen erforderlich gemacht.

Damit kommen zu einigen bereits bei der Wasserversorgung aufgezählten Faktoren folgende hinzu:

- undichte Muffen (Abdichtungen innen),
- Bruchgefahr von Graugussleitungen kleiner Nennweiten,
- nachträgliche Tiefbaumaßnahmen im Umfeld der Leitungstrasse.

Die Schadensrate wird aus einer möglichst detaillierten Schadensstatistik (G 465/1) leitungsgruppen- und netzbezogen abgeleitet. Die Häufigkeit von Schäden an Leitungen, Armaturen, Hausanschlüssen sollte gemäß werkstoff- und unternehmensspezifischen Richtwerten bewertet werden.

Der Netzzustand ist nach G 401 S. 11/12 wie folgt zu beurteilen [DVGW, 1999b]:

„Der Netzzustand wird durch die Ermittlung von Schäden und Schwachstellen charakterisiert. Er muß durch das Unternehmen auch unter dem Gesichtspunkt der Funktionstüchtigkeit und der Ver-

meidung der Gefährdung anderer Anlagen bewertet werden. Die Zustandsbeurteilung der Verteilungsanlagen muß insbesondere nachstehende Punkte berücksichtigen:

- Schwachstellen bei Verbindungen (z.B. Stemmuffen)
- schadhafte Rohrumhüllung
- Außenkorrosion
- Ablagerungen
- Bruchanfälligkeit
- Kapazitätsengpässe“

Im Gegensatz zur Wasserversorgung können Rohrschäden am Gasversorgungsnetz außer den Leckageverlusten mit wirtschaftlichen Folgen insbesondere Havarien (Gasunfälle wie Vergiftungen, Explosionen mit Personen- und Sachschäden) nach sich ziehen, sind also in der Regel folgenschwerer als Leckageverluste der Wasserversorgungsnetze.

### 2.2.4 Ursachen von Schäden Fernwärmeleitungen und -kanälen

Bei Fernwärmeleitungen ist die Schadensfeststellung und -beurteilung nach der Verlegeart durchzuführen.

Schäden an Fernwärmekanalen, der Isolierung und den Medienrohren sind:

- Undichtigkeiten der Bauwerke (Isolierung, Fugen- und Betonschäden)
- Schäden am Isoliermaterial und Durchnässungen
- Korrosionsschäden an den Stahlrohrleitungen
- Korrosionsschäden an den Auflagern (feste und bewegliche Lagerung)

Schäden an Fernwärmeleitungen in Sammelkanälen und Leitungsgängen sind:

- Undichtigkeiten der Bauwerke (Isolierung, Fugen- und Betonschäden),
- Schäden am Isoliermaterial und Durchnässungen,
- Korrosionsschäden an den Stahlrohrleitungen,
- Korrosionsschäden an den Auflagern (feste und bewegliche Lagerung).

Schäden bei kanallos verlegten Fernwärmeleitungen sind

- Undichtigkeiten der Bauteile (Mantelrohr, Isoliermaterial) und daraus resultierend und Durchnässungen,
- Schäden an den Medienrohren,
- Schäden an Überwachungs- und Fehlerortungssystemen.

Die Schadensfolgen sind insbesondere Wärmeverluste sowie Fortschreiten der Schäden, z.B. Betonkorrosion.

### 2.2.5 Ursachen von Schäden an Abwassernetzen

Nach DWA-M 149-5 „Sanierung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden“ [DWA, 2010] sind Schäden an Abwassernetzen:

- Undichtigkeiten,
- Abflusshindernisse,
- Lageabweichungen,
- mechanischer Verschleiß,

- Korrosion,
- Verformung,
- Risse, Rohrbruch, Einsturz.

Die Schadensfolgen sind sowohl **Exfiltrationen** als auch **Infiltrationen** aus bzw. in das Kanalnetz. Die erstgenannte Folge führt zu Boden- und Grundwasserkontaminationen, u.U. zu Ausspülungen und Bodensetzungen, die Infiltration in das Kanalnetz führt zu höheren hydraulischen Belastungen des Kanalnetzes als auch der Kläranlagen verbunden mit einer Verminderung der Reinigungsleistung (Der Zufluss von 1 l/s entspricht einer Jahresbelastung von 31.560 m<sup>3</sup>).

Die **Ursachen von Schäden von Abwasserleitungen** sind außer den Eigenschaften der in der Vergangenheit eingesetzten Rohrwerkstoffe, Rohrverbindungen und Umhüllungen zu nennen:

- Undichtigkeiten von Rohren (Risse oder Brüche) und Rohrverbindungen mit der Folge von Exfiltration und damit Schadstoffeintrag ins Grundwasser und in den Boden,
- Abflusshindernisse (Ablagerung, Inkrustation, einragende Hindernisse, Wurzeleinwuchs) und den Schadensfolgen Reduzierung der hydraulischen Leistungsfähigkeit, Verstopfungen, höherer Wartungsaufwand,
- Lageabweichungen (Vertikalabweichungen, Horizontalabweichungen) mit den Folgen Verlust der Funktionsfähigkeit, Abreißen von Anschlussleitungen, Risse, Rohrbrüche,
- mechanischer Verschleiß (ungeeignete Werkstoffe, Feststofftransport, Kavitation, ungeeignete Reinigungsverfahren) mit den Folgen Abrieb, Erhöhung der Wandrauigkeit, Verringerung der Tragfähigkeit,
- Korrosion (Innen- und Außenkorrosion) durch Reaktion des Werkstoffes mit seiner Umgebung (Boden, Abwasser) mit den Folgen
  - Innenkorrosion
    - a) Schäden am Werkstoff (gleichmäßige Flächenkorrosion, Muldenkorrosion, Lochkorrosion, Spaltkorrosion, Kontaktkorrosion – galv. Korrosion),
    - b) Ablagerung von Korrosionsprodukten
  - Außenkorrosion durch Boden- und Grundwasseraggressivität (im Boden eingeleitete Substanzen (Autowaschmittel, Benzin, Öl, Düngemittel, Auftausalze), elektrochemische Einwirkungen (metallische Werkstoffe),
- Verformung bei statisch biegeweichen Rohren mit den Folgen Reduzierung der hydraulische Leistungsfähigkeit, Verstopfungen, Spannungsrisskorrosion, Risse usw.,
- Risse (Längsrisse, Querrisse) mit den Folgen Rohrbruch, Einsturz (Extremschaden).

## 2.3 Sanierungs- oder Erneuerungszeitpunkt

### 2.3.1 Wasserversorgung

Die Verschiebung des **Sanierungs- oder Erneuerungszeitpunktes** kann für das Versorgungsunternehmen



men betriebswirtschaftlich vorteilhaft sein. Betriebswirtschaftliche Berechnungen mit Hilfe von Wasserverlust- und Reparaturkosten bei Wasserversorgungssystemen, die dazu dienen, den Sanierungs- oder Erneuerungszeitpunkt zu verschieben, berücksichtigen jedoch nicht die o.g. Faktoren sowie die Erhaltung bzw. Wiederherstellung der Funktions- und Betriebssicherheit des Wasserversorgungssystems.

Somit müssen folgende Fragen entschieden werden:

- Wie ist der Zustand der Rohrleitungen oder des Rohrnetzes zu beurteilen?
- Kann durch die Sanierung der Zeitpunkt der Erneuerung hinausgeschoben werden und wie lange können Reparaturmaßnahmen vertreten werden?
- Wann ist der richtige Zeitpunkt der Sanierung oder Erneuerung?
- Welches ist das geeignete Verfahren?

### 2.3.2 Gasversorgung

Die Frage nach dem Sanierungs- oder Erneuerungszeitpunkt von Gasversorgungsleitungen ist hinsichtlich der Sicherheitsfragen zu ergänzen (siehe dazu *Kap. 5 Sanierung und Erneuerung von Gasrohrnetzen*), da einerseits Personen- und Sachschäden durch mögliche Explosionen ausgeschlossen werden müssen, andererseits die Arbeitssicherheit bei Arbeiten an Gasversorgungsleitungen gewährleistet werden müssen.

### 2.3.3 Fernwärmeversorgung

Fernwärmekanal wurden in größerem Umfang ab 1960 gebaut. Da Stahlrohre aufgrund des fehlenden äußeren Korrosionsschutzes (es gibt kein Kunststoffmaterial, welches über 100 °C aufgebracht werden könnte) ist in den nächsten Jahren aufgrund von Korrosionserscheinungen mit dem Austausch derselben zu rechnen. Hinzu kommen Schäden an der Betonkonstruktion und an Isoliermaterialien, welche behoben werden müssen.

Kanallose Verfahren wurden in unterschiedlichen Konstruktionsvarianten ausgeführt und weisen zum Teil Schäden auf, so dass in den nächsten Jahren ihre Erneuerung erforderlich sein wird.

Verfahren zur Reparatur bzw. zur Erneuerung befinden sich in der Entwicklungsphase.

### 2.3.4 Abwasserableitung

Bei Abwasserleitungen wird gegenwärtig insbesondere unterschieden in Straßenkanäle und Hausanschlussleitungen, da Straßenkanäle sich im öffentlichen Bauraum befinden, Hausanschlussleitungen z.T. im privaten Bereich und ihre Sanierung bzw. Erneuerung demzufolge von dem Eigentümer abhängig ist.

Von Interesse sind die Schadensfolgen Exfiltration in das Grundwasser bzw. den Boden und Infiltration von Grundwasser in das Kanalnetz und damit bei Mischwasserkanälen bzw. Schmutzwasserkanälen zur zusätzlichen Belastung der Kläranlagen.

## 2.4 Grabenlose Rehabilitationsverfahren

Die Entwicklung von **Sanierungs- und Erneuerungsverfahren** für Wasserversorgungsleitungen im Zeitraum nach 1990 erfordert die Entscheidung zwischen unterschiedlichen Verfahren. Neben der bewährten und in Deutschland seit 1958 angewandten Zementmörtelauskleidung können die Sanierungs- und Erneuerungsverfahren wie folgt unterschieden werden:

Das Altrohr bleibt erhalten und wird ausgekleidet durch

- Zementmörtel oder einen
- Gewebes Schlauch.

In das Altrohr wird ein neues Rohr mit kleinerer Nennweite eingezogen aus

- Polyethylen,
- Stahl beschichtet mit Zementmörtel oder Kunststoff oder
- Duktillguss beschichtet mit Zementmörtel oder Kunststoff.

Das Altrohr wird ersetzt durch ein neues Rohr, wobei

- das Altrohr entfernt wird oder
- das Altrohr zerstört wird und im Boden verbleibt.

Bei der Entscheidung über das anzuwendende Sanierungs- oder Erneuerungsverfahren werden in Zukunft neben den betriebswirtschaftlichen Aspekten (Kosten der Sanierung oder Erneuerung/Neuerlegung und Lebensdauer der sanierten oder erneuerten Leitung im Verhältnis zu einer neu verlegten im offenen Graben), **Umweltaspekte** eine größere Rolle spielen.

Für Gasrohrleitungen kommen

- Verfahren mit Inlinern (Gewebes Schlauch) bzw. Einzug kleiner Nennweiten in Altrohre sowie
- Berstlining und Press-/Ziehverfahren

in Betracht.

Fernwärmeleitungen können mit grabenlosen Verfahren nur auf Teilstrecken erneuert werden, da durch Festpunkte und Gleitlager ein Erneuerung größerer Streckenabschnitte nicht möglich ist. Fernwärmeleitungen in Sammelkanälen können dagegen aufgrund vorhandener Montageöffnungen erneuert werden – die Altleitung müssen ausgebaut und neue Leitungen ggf. mit neuen Auflagerkonstruktionen eingebaut werden.

Abwasserleitungen können mit sehr verschiedenartigen Verfahren saniert werden, welche für Wasser- und Gasrohrleitungen nicht in Frage kommen, wie Injektionsverfahren, Zweikomponentenverfahren sowie Auskleidungsverfahren auf Zementmörtel- und Kunststoffbasis und zahlreiche Inlinerverfahren und den bereits genannten Berstlining und Press-/Ziehverfahren.

### Vorteile grabenloser Bauweisen

**Grabenlose Bauweisen**, und dazu gehören die im *Kap. 4.8 Rehabilitationsverfahren* behandelten Sanierungs- und Erneuerungsverfahren, werden in zunehmendem Maße eingesetzt werden. Ihre Vorteile bestehen insbesondere darin, dass

- neue Trassen nicht erforderlich sind (begrenzter unterirdischer Bauraum),

2. Begriffsbestimmungen der Rehabilitation (Sanierung und Erneuerung)

- Straßenaufbrüche minimiert werden
- kürzere Bauzeiten und damit kurze Versorgungsausfälle erreicht werden,
- Anwohner und Anlieger durch Lärm, Staub, Abgase weniger belästigt werden,
- der Straßen- und Anlieferverkehr von Geschäften weniger beeinträchtigt wird,
- der Baumbestand und Bepflanzungen geschont werden,
- Transporte von großen Bodenmassen entfallen,
- geringere Spätschäden auftreten, z.B. Bodenabsenkungen.

Als weitere Aspekte sind zu nennen:

- geringere Störung des normalen Tagesablaufes der Bevölkerung,
- weniger Rohrgrabenbrücken,
- weniger verkehrspolizeiliche Maßnahmen erforderlich,
- eine große Zahl an Parkplätzen bleibt während der Baumaßnahmen erhalten,
- Haltestellen der öffentlichen Verkehrsmittel können weitergenutzt werden,
- geringere Deponiebelastung durch Aushub- und Straßenaufbruchmaterial,
- weniger Bedarf an Austauschmaterial zum Wiederverfüllen,

- einfache Rückgewinnung und Entsorgung des Altmaterials,
- andere Einbauten erfordern keine zusätzliche Sicherung,
- weitgehend wetterunabhängig.

**2.5 Begriffsbestimmungen nach DIN 31051**

**Instandhaltung** beinhaltet nach DIN 31051 [DIN, 1985b]:

„Maßnahmen zur *Bewahrung und Wiederherstellung des Sollzustandes sowie Feststellung und Beurteilung des Istzustandes von technischen Mitteln eines Systems*“.

Die Maßnahmen beinhalten: *die Wartung, die Inspektion und die Instandsetzung* und schließen ein

- Abstimmung der Instandhaltungsziele mit den Unternehmenszielen,
- Festlegung entsprechender Instandhaltungsstrategien.

Zu beachten ist, dass die Begriffe nicht einheitlich verwendet werden und die nachfolgend in der Wasserversorgung, Gasversorgung und Entwässerung verwendeten Definitionen oder Zustandsbeschreibungen bereits voneinander abweichen.

Tab. 2.1: Begriffe und Maßnahmen (auszugsweise nach DIN 31051 [DIN, 1985b])

Begriff	Definition/Erläuterung
Abnutzung	Im Sinne der Instandhaltung Abbau des Abnutzungsvorganges infolge physikalischer und/oder chemischer Einwirkungen
Abnutzungsvorrat	Im Sinne der Instandhaltung Vorrat der möglichen Funktionserfüllungen unter festgelegten Bedingungen, der einer Betrachtungseinheit aufgrund der Herstellung oder aufgrund der Wiederherstellung durch Instandsetzung innewohnt
Abweichung	Die Nichtübereinstimmung von Zuständen, Werten und Größen. Der Unterschied kann gegebenenfalls quantifiziert werden
Ausfall	Im Sinne der Instandhaltung unbeabsichtigte Unterbrechung der Funktionsfähigkeit einer Betrachtungseinheit
Fehler	Nichterfüllung vorgegebener Forderungen durch einen Merkmalswert
Funktionsfähigkeit	Fähigkeit einer Betrachtungseinheit aufgrund ihres eigenen technischen Zustandes
Inbetriebnahme	Im Sinne der Instandhaltung Bereitstellung einer funktionsfähigen Betrachtungseinheit zur Nutzung
Inspektion	Maßnahmen zur Feststellung und Beurteilung des Istzustandes von technischen Mitteln eines Systems Erstellen eines Planes, Vorbereitung der Durchführung, Durchführung, Auswertung, Ableitung von Konsequenzen)
Instandsetzung	Maßnahmen zur Wiederherstellung des Sollzustandes von technischen Mitteln eines Systems Auftrag, Planung, Entscheidung für eine Lösung, Vorbereitung, Vorwegmaßnahmen, Überprüfung Durchführung, Funktionsprüfung, Fertigmeldung, Auswertung einschließlich Dokumentation)
Istzustand	Die in einem gegebenen Zeitpunkt festgestellte Gesamtheit der Merkmalswerte
Istzustandsabweichung	Im Sinne der Instandhaltung Nichtübereinstimmung von Istzuständen vorwiegend einer Betrachtungseinheit zu verschiedenen Zeitpunkten oder auch mehrerer Betrachtungseinheiten zum gleichen Zeitpunkt
Nutzungsvorrat	Im Sinne der Instandhaltung Vorrat der bei der Nutzung – bis zum vollständigen Abbau des Abnutzungsvorrates einer Betrachtungseinheit – unter festgelegten Bedingungen erzielbaren Sach- und/oder Dienstleistungen
Schaden	Im Sinne der Instandhaltung einer Betrachtungseinheit nach Unterschreiten eines bestimmten (festzulegenden) Grenzwertes des Abnutzungsvorrates, der eine im Hinblick auf die Verwendung unzulässige Beeinträchtigung der Funktionsfähigkeit bedingt
Schwachstelle	Durch die Nutzung bedingte Schadensstelle oder schadensverdächtige Stelle, die mit technisch möglichen und wirtschaftlich vertretbaren Mitteln so verändert werden kann, daß Schadenshäufigkeit und/oder Schadensumfang sich verringern
Sollzustand	Die für den jeweiligen Fall festzulegende Gesamtheit der Merkmalswerte
Sollzustandsabweichung	Im Sinne der Instandhaltung Nichtübereinstimmung zwischen dem Istzustand und dem Sollzustand einer Betrachtungseinheit bei einem gegebenen Zeitpunkt
Stillsetzung	Im Sinne der Instandhaltung beabsichtigte Unterbrechung ( auch Beendigung) der Funktionserfüllung einer Betrachtungseinheit
Störung	Im Sinne der Instandhaltung unbeabsichtigte Unterbrechung ( oder bereits auch schon Beeinträchtigung) der Funktionserfüllung einer Betrachtungseinheit
Wartung	Maßnahmen zur Bewahrung des Sollzustandes von technischen Mitteln eines Systems (Erstellen eines Wartungsplanes, Vorbereitung der Durchführung, Durchführung, Rückmeldung)

Während in der Wasserversorgung ein Schaden mit einem Wasseraustritt verbunden ist und zur Reparatur, Sanierung oder Erneuerung der Schadensstelle oder Leitungsstrecke führt, können Abwasserleitungen z.B. mit Abflusshindernissen (Ablagerung, Inkrustation, einragende Hindernisse, Wurzeleinwuchs) und den Schadensfolgen Reduzierung der hydraulischen Leistungsfähigkeit, Verstopfungen, höherer Wartungsaufwand mit Einschränkungen weiter betrieben werden.

Dagegen müssen Schäden an Gasrohrleitungen mit Gasaustritt aus Sicherheitsgründen sofort behoben werden.

Durch physikalische und chemische Einwirkungen (auch als Abnutzung oder Alterung bezeichnet) auf das Rohrmaterial wird der sog. **Abnutzungsvorrat** abgebaut (siehe *Abb. 2.1*).

Ohne Abnutzung können Anlagen nicht betrieben werden.

Ist der **Abnutzungsvorrat** abgebaut, ist zu prüfen ob durch technische Maßnahmen der Abbau des Abnutzungsvorrates in befriedigender Weise vermindert werden kann. Wenn diese Voraussetzungen gegeben sind, wird diese Stelle (z.B. Leitungsstrecke) als **Schwachstelle** bezeichnet und es ist zu prüfen, ob diese beseitigt werden kann und dadurch ein wirtschaftlicher Vorteil erzielt werden kann.

(Beispiel Zementmörtelausschleuderung – korrosionsgeschädigte Wasserrohrleitung wird mit einer Zementmörtelschicht ausgekleidet und kann Jahrzehnte weiter betrieben werden – Voraussetzung statisch noch ausreichend dimensionierte „Rest“wandstärke).

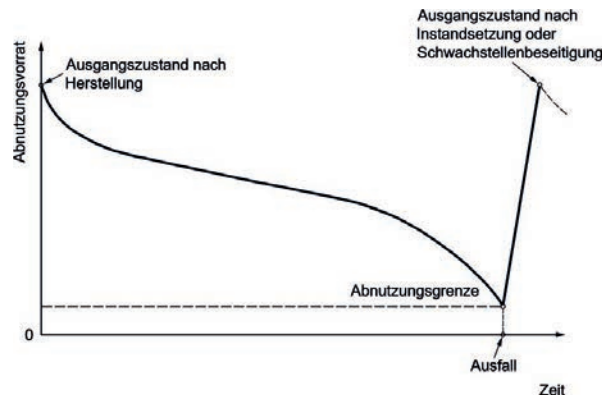


Abb. 2.1: Abbau des Abnutzungsvorrates (DIN 31051, S. 8 [DIN, 2012c])

*Abb. 2.2* gibt das Schema zur Beurteilung einer Schadensstelle unter dem Gesichtspunkt „Schwachstelle, ja oder nein“ an.

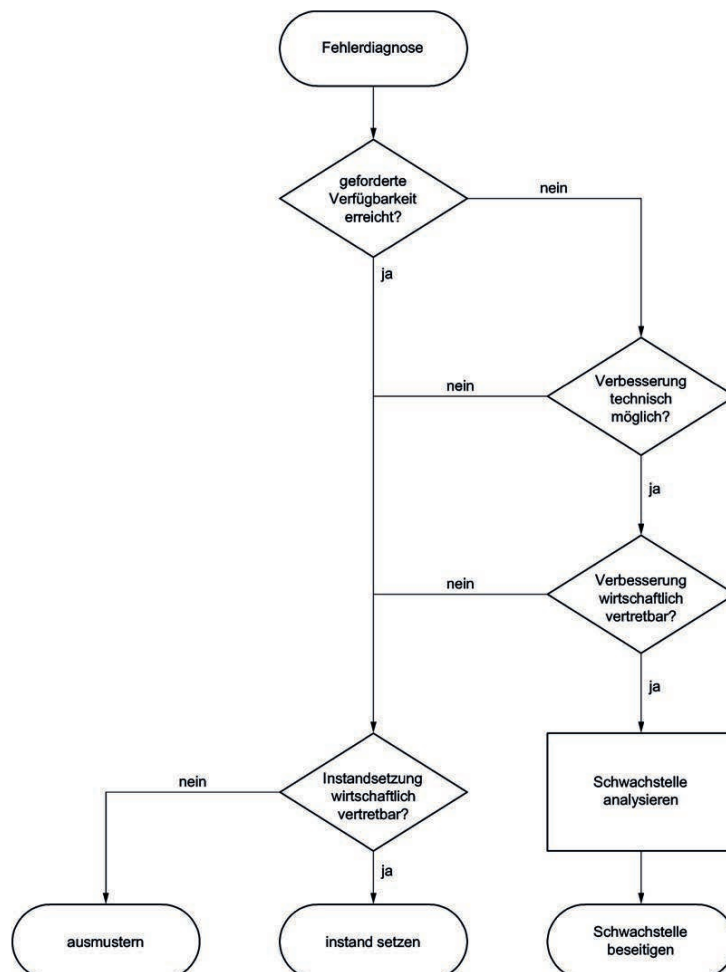


Abb. 2.2: Fehleranalyse nach DIN 31051 [DIN, 2012c]



### 2.5.1 Begriffsbestimmungen der Instandhaltung von Wasserversorgung

Tab. 2.2: Rehabilitation – Begriffe, Definitionen, Erläuterungen (W 401 [DVGW, 2005b])

Begriff	Definition/Erläuterung
Betriebswirtschaftliche Nutzungsdauer	Begrenzung der Nutzungsdauer im Zuge der kalkulatorischen Bewertung der Gesamtkosten (Kapital-, Betriebs- und Instandsetzungskosten unter Berücksichtigung der Kosten für Wasserverluste) einer neuen Leitung im Vergleich zu einer vorhandenen Leitung
Erneuerung	Ersatz einer vorhandenen Leitung mit Schwachstellen durch Verlegung einer neuen Leitung. Anm.: Führt meist zur unmittelbaren Instandsetzung durch Reparatur.
Inspektion	Maßnahmen zur Feststellung und Beurteilung des Istzustandes der Verteilungsanlagen
Instandhaltung	Maßnahmen zur Bewahrung und Wiederherstellung der Funktionsfähigkeit sowie zur Feststellung und Beurteilung des Istzustandes der Verteilungsanlagen. Anm.: Die Maßnahmen schließen die Abstimmung der Instandhaltungsziele mit den Unternehmenszielen und die Festlegung entsprechender Instandhaltungsmaßnahmen ein
Instandsetzung	Maßnahmen zur Wiederherstellung der Funktionsfähigkeit der Verteilungsanlagen. Diese Maßnahmen schließen Reparatur und Rehabilitation von Verteilungsleitungen ein
Leitungsalter	Alter eines Leitungsabschnittes zu einem bestimmten Zeitpunkt
Leitungsgruppen	Gruppenweise Zusammenfassung einzelner Leitungsabschnitte hinsichtlich gleichartiger Merkmale und Verhaltensweisen (z. B. Rohrwerkstoff, Verbindungsart, Verlegebedingungen, Korrosionsverhalten, Bruchanfälligkeit...)
Mittlere Nutzungsdauer	Statistischer Erwartungswert der Nutzungsdauer für einzelne Leitungsgruppen, gestützt auf Erfahrungen und Prognosen
Mittleres Leitungsalter	Gewichtetes, arithmetisches Mittel des Alters einer Leitungsgruppe oder des gesamten Netzes zu einem bestimmten Zeitpunkt
Netzanalyse	Untersuchung der Verteilungsanlagen nach quantitativen, qualitativen und zustandsbedingten Gesichtspunkten zur frühzeitigen Erkennung und Lokalisierung von Schwachstellen im Netz
Qualitative Netzanalyse	Untersuchung der Verteilungsanlagen hinsichtlich der Beeinträchtigung der Wasserqualität (Veränderung des Wassers auf dem Transportweg)
Quantitative Netzanalyse	Untersuchung der hydraulischen Leistungsfähigkeit der Verteilungsanlagen mit Hilfe der Rohrnetzrechnung und Vergleichsmessungen (siehe GW 303)
Rehabilitation	Maßnahmen zur Erhaltung oder Verbesserung der Funktionsfähigkeit der Wasserverteilungsanlagen. Sie schließt alle Reinigungs-, Sanierungs- und Erneuerungsmethoden ein.
Rehabilitationsrate	Anteil der jährlichen Rehabilitationslänge bezogen auf eine Leitungsgruppe oder das gesamte Wasserrohrnetz
Reparatur	Schadensbehebung durch Einzelmaßnahmen
Sanierung	Ertüchtigung einer vorhandenen Rohrleitung mit einer nicht tragenden Auskleidung (Zementmörtel-Auskleidung, Schlauchrelining,...)
Schaden	Eine lokale unzulässige Beeinträchtigung der Funktionsfähigkeit – in aller Regel mit Wasseraustritt verbunden
Schadensrate	Jährliche Anzahl der Schäden je km Rohrleitung, bei Hausanschlüssen wird die Schadensrate auf die Anzahl der Hausanschlüsse bezogen
Schwachstelle	Schadensanfälliges Anlagenteil im Netz, das die Funktionsfähigkeit beeinträchtigen kann.
Technische Nutzungsdauer	Begrenzung der Nutzungsdauer einer Leitung aus versorgungstechnischen Gründen. Sie liegt meist deutlich über der betriebswirtschaftlichen Nutzungsdauer
Wartung	Maßnahmen zur Bewahrung der Funktionsfähigkeit der Verteilungsanlagen
Wasserverteilungsanlagen	System bestehend aus Rohren, Formstücken, Verbindungen, Armaturen und Feuerlöscheinrichtungen für Versorgungs- und Anschlussleitungen
Zustandsbedingte Netzanalyse	Untersuchung des Netzzustandes nach Schwachstellen, Schadensraten und Wasserverlusten ( s. W 391 Wasserverluste und W 395 Schadensstatistik)

### 2.5.2 Begriffsbestimmungen der Instandhaltung von Gasversorgungsnetzen

Tab. 2.3: Rehabilitation – Begriffe, Definitionen, Erläuterungen (G 401 [DVGW, 1999b])

Begriff	Definition/Erläuterung
Betriebswirtschaftliche Nutzungsdauer	Begrenzung der Nutzungsdauer im Zuge der kalkulatorischen Bewertung der Gesamtkosten (Kapital-, Betriebs- und Instandsetzungskosten ) einer neuen Leitung im Vergleich zu einer vorhandenen Leitung
Erneuerung	Ersatz einer vorhandenen Leitung mit Schwachstellen durch Verlegung einer neuen Leitung.
Funktionsfähigkeit	Betriebssichere Verteilung von Gas in ausreichender Menge, mit erforderlichem Druck
Gasverteilungsnetz	System bestehend aus Rohren, Formstücken, Verbindungen, Armaturen
Inspektion (Überprüfung)	Maßnahmen zur Feststellung und Beurteilung des Istzustandes der Verteilungsanlagen
Instandhaltung	Maßnahmen zur Bewahrung und Wiederherstellung der Funktionsfähigkeit sowie zur Feststellung und Beurteilung des Istzustandes der Gasverteilungsnetze
Instandsetzung	Maßnahmen zur Wiederherstellung der Funktionsfähigkeit von Gasverteilungsnetzen.
Leckstellenhäufigkeit	Anzahl der Schäden/Leckstellen je km Rohrleitung, umgerechnet auf ein Jahr als Mittelwert eines Überprüfungszeitraumes
Leitungsabschnitt	Kleinster Teil eines Gasverteilungsnetzes mit gleichen bestandsbeschreibenden Attributen ( Nennweite, Rohrwerkstoff, Rohrverbindung, Rohrumhüllung, Verlegungsart, Baujahr u.a.m.
Leitungsalter	Alter eines Leitungsabschnittes zu einem bestimmten Zeitpunkt

Begriff	Definition/Erläuterung
Leistungsgruppen	Gruppenweise Zusammenfassung einzelner Leitungsabschnitte hinsichtlich einzelner oder mehrerer Merkmale und Verhaltensweise der Leitungsabschnitte
Mittlere Nutzungsdauer	Statistischer Erwartungswert der Nutzungsdauer für einzelne Leistungsgruppen, gestützt auf Erfahrungen und Prognosen
Mittleres Leitungsalter	Gewichtetes, arithmetisches Mittel des Alters einer Leistungsgruppe oder des gesamten Netzes zu einem bestimmten Zeitpunkt *
Rehabilitation	Maßnahmen zur Erhaltung oder Verbesserung der Funktionsfähigkeit der Gasverteilungsnetzes.
Rehabilitationsrate	Anteil der jährlichen Rehabilitationslänge bezogen auf eine Leistungsgruppe oder das gesamte Gasrohrnetz
Reparatur	Schadensbehebung durch Einzelmaßnahmen
Sanierung	Ertüchtigung einer vorhandenen Rohrleitung mit einer nicht tragenden Auskleidung (Schlauchrelining)
Schaden/Leckstelle (kein Schaden durch Dritte)	Eine lokale unzulässige Beeinträchtigung der Funktionsfähigkeit – in aller Regel mit Gasaustritt verbunden – führt meist zur unmittelbaren Instandsetzung durch Reparatur
Schwachstelle	Schadensanfälliges Anlagenteil im Netz, das die Funktionsfähigkeit beeinträchtigen kann.
Schwachstellenanalyse	Untersuchung des Gasverteilungsnetzes nach zustandsbedingten Gesichtspunkten zur frühzeitigen Erkennung und Lokalisierung von Schwachstellen im Gasrohrnetz
Technische Nutzungsdauer	Begrenzung der Nutzungsdauer einer Leitung aus versorgungs-, sicherheitstechnischen und bautechnischen Gründen. Sie liegt in der Regel deutlich über der betriebswirtschaftlichen Nutzungsdauer
Wartung	Maßnahmen zur Bewahrung der Funktionsfähigkeit der Verteilungsnetzen

### 2.5.3 Begriffsbestimmungen der Instandhaltung von Fernwärmeversorgungsnetzen

Tab. 2.4: Rehabilitation – Begriffe, Definitionen, Erläuterungen (AGFW [AGFW, 2013])

Begriffe	Definitionen
Schaden	Ist die Beendigung der Fähigkeit eines Betriebsmittels, eine geforderte Funktion zu erfüllen.
Fremdschaden	Schaden, der beispielsweise durch Bauarbeiten in der Nähe von Leitungen infolge Unachtsamkeit und Nichtbeachtung vorhandener Anlagen durch Dritte verursacht wird.
Systemschaden	Schaden der systematisch einem Verlegesystem zuzuordnen ist
Leitungsabschnitt	Ist der kleinste Abschnitt eines Fernwärmenetzes mit gleichen bestandsbeschreibenden Attributen (Nennweite, Werkstoff, Baujahr usw.)
Leistungsgruppe (Gruppe)	Ist die gruppenweise Zusammenfassung einzelner Leitungsabschnitte hinsichtlich einzelner oder mehrerer gleichartiger Merkmale und Verhaltensweisen der Leitungsabschnitte. (hier annähernd gleiche Nutzungsdauer)
Verlegesystem	Bezeichnet den Aufbau der Fernwärmerohrleitung (KMR, SMR, Kanal, Gieß- und Schüttssysteme, Frei- und Gebäudeverlegung).
Funktionsfähigkeit	Ist die Eigenschaft eine nachhaltige betriebssichere und zuverlässige Verteilung von Wärme in ausreichender Menge mit erforderlicher Temperatur und Druck dem Kunden zur Verfügung zu stellen.
Instandhaltung	Sind alle planmäßigen und außerplanmäßige Maßnahmen zur Bewahrung und Wiederherstellung der Funktionsfähigkeit sowie zur Feststellung und Beurteilung des Istzustandes sowie zur Bewahrung und Wiederherstellung des Soll-Zustandes
Wartung	Sind alle Maßnahmen zur Bewahrung der Funktionsfähigkeit
Inspektion	Sind alle Maßnahmen im Rahmen der Überprüfung des Netzes bzw. der Netzelemente die dazu dienen, den Ist-Zustand festzustellen und zu beurteilen
Instandsetzung	Sind alle Maßnahmen zur Wiederherstellung des Soll-Zustandes
Reparatur	Ist die Schadensbehebung durch Einzelmaßnahmen
Technische Nutzungsdauer	Ist die Nutzungsdauer eines Bauteils aus versorgungs-, sicherheits- und oder bautechnischen Gründen von der Inbetriebnahme bis zum Zeitpunkt des Versagens. Sie liegt in der Regel deutlich über der wirtschaftlichen Nutzungsdauer
wirtschaftliche Nutzungsdauer	Ist der Zeitraum des rentabilitäts- und liquiditätsoptimalen Einsatzes eines aktivierungspflichtigen Wirtschaftsgutes in einem Unternehmen einschließlich der Risikobewertung.
Rehabilitation	Sind (Zusammenhängende/großflächige/größere) Sanierungs- und Erneuerungsmaßnahmen zur Erhaltung der Funktionsfähigkeit des bestehenden Fernwärmenetzes.

2. Begriffsbestimmungen der Rehabilitation (Sanierung und Erneuerung)

**2.5.4 Begriffsbestimmungen der Instandhaltung von Abwasserleitungen**

Tab. 2.5: Inspektion, Instandsetzung und Erneuerung – Begriffe, Definitionen, Erläuterungen (M 143, Teil 1 [ATV-DVWK, 2004a]) im Zusammenhang mit EN 752-1 [DIN, 1996]

Begriff	Definition/Erläuterung
Bauzustand *	Zustand von Abwasserleitungen und -kanälen hinsichtlich ihrer baulichen Substanz
Erneuerung	Herstellung neuer Abwasserleitungen und -kanälen in der bisherigen oder einer anderen Linienführung, wobei die neuen Anlagen die Funktion der ursprünglichen Abwasserleitungen und -kanäle übernehmen
Instandhaltung *	Maßnahmen zur Bewahrung und Wiederherstellung Sollzustandes sowie zur Feststellung und Beurteilung des Istzustandes von Entwässerungssystemen. Die Maßnahmen der Instandhaltung beinhalten Maßnahmen der Wartung, der Zustandserfassung und der Sanierung.
Mangel *	Baulicher, umweltrelevanter oder hydraulischer Zustand, der eine im Hinblick auf die Verwendung unzulässige Beeinträchtigung der Funktionsfähigkeit bedingt oder erwarten läßt
Renovierung *	Maßnahmen zur Verbesserung der aktuellen Funktionsfähigkeit von Abwasserleitungen und -kanälen unter vollständiger oder teilweise Einbeziehung ihrer ursprünglichen Substanz
Reparatur *	Maßnahmen zur Behebung örtlich begrenzter Schäden
Sanierung *	Alle Maßnahmen zur Wiederherstellung oder Verbesserung von vorhandenen Entwässerungssystemen ( DIN EN 752-1)
Schaden *	Baulicher Mangel
Wartung *	(in DIN EN 752-7 als Unterhalt bezeichnet); Maßnahmen, die das Entwässerungssystem in einem Zustand erhalten, der die Betriebsfähigkeit gewährleistet.
Zustandsbewertung **	Bei der Zustandsbewertung werden die hydraulische Leistungsfähigkeit und die Auswirkungen auf die Umwelt mit dem Ergebnis der Zustandsklassifizierung logisch und/oder mathematisch verknüpft Das Ergebnis der Zustandsbewertung dient zur Beurteilung der Sanierungsbedürftigkeit des Entwässerungssystems. Sie ist Grundlage zur Erarbeitung ganzheitlicher Lösungen
Zustandserfassung *	Maßnahmen zur Feststellung des Istzustandes von Entwässerungssystemen
Zustandsklassifizierung **	Beinhaltet die Einordnung von Kanälen, Schächten und Bauwerken der Ortsentwässerung in Zustandsklassen ausschließlich aufgrund ihres baulichen und betrieblichen Zustandes

\* ATV-DVWK-M 143-1, August 2004, Sanierung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden, Teil 1 Grundlagen

\*\* ATV-M 149, April 1999, Zustandsbewertung, -klassifizierung und -bewertung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden

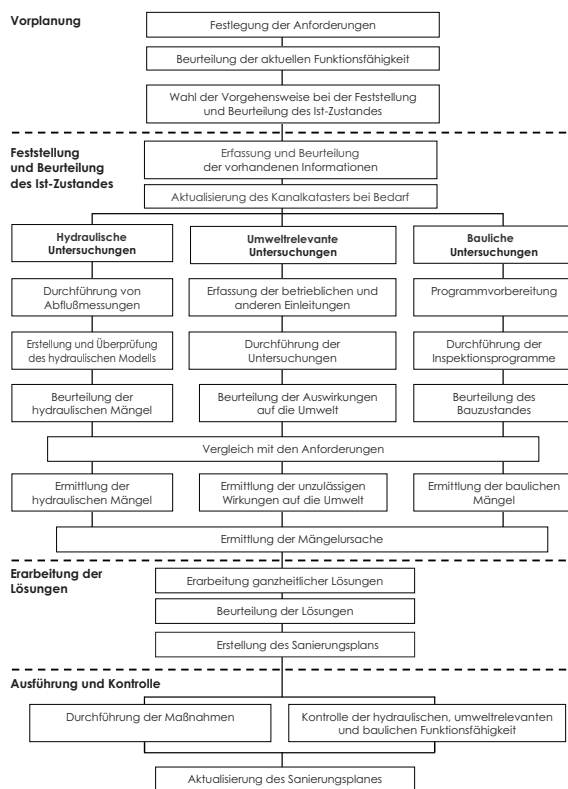


Abb. 2.3: Ablaufdiagramm für die Sanierung von Entwässerungssystemen



## 3 Rohrmaterialien und ihre Eigenschaften

### 3.1 Zur Entwicklung der Rohrleitungstechnik in 5 Jahrtausenden [Roscher]

Quellen: [Merkel, 1899], [Jansen, 1993], [Garbrecht et al., 1988], [Strell, 1914], [Frontinus, 2013], [Heimberg und Rieche, 1998], [Grahn, 1883 sowie 1898/1902], [Mai, 1967c], [Mai, 1967b], [Mai, 1967a], [Matschoss, 1935], [Gluth, 1996], [Brix et al., 1934], [Kaempffe, 1956], [Bärthel, 1992], [Hobrecht, 1884], [Roscher, 1981], [Roscher, 1999], [Roscher, 2002 ff.], [Roscher, 2009], [Roscher, 2012], [Kluger, 2012]

Die Geschichte der Technischen Versorgung von Städten und Siedlungen sowie die Entwicklung der **Rohrleitungstechnik lassen sich in 5 Etappen einteilen:**

1. Etappe Beginn der Wasserversorgung und Abwasserableitung in Rohren bereits vor 5.000 Jahren
2. Etappe Rohrleitungstechnik im Mittelalter
3. Etappe Zentrale (einheitliche) Versorgung von Städten in der industriellen Revolution
4. Etappe Ausbau der städtischen Versorgung im Verlauf des 20. Jahrhunderts und Bau von Fernleitungssystemen (national und international)
5. Etappe Rehabilitation der städtischen Versorgungssysteme

#### 1. Etappe – Beginn der Wasserversorgung und Abwasserableitung in Rohren bereits vor 5.000 Jahren

Bereits vor mehr als 5.000 Jahren wurden in den Großstädten des Altertums Kanalisationsanlagen gebaut, da die Anfangsform der Kanalisation, der überdeckte Straßengraben oder Senkgruben nicht mehr ausreichten und man deshalb unterirdische Kanäle zur Ableitung des Abwassers anlegte.

Bekannt sind die Kanalisationsanlagen in den Städten Mesopotamiens, den großen Städten Ägyptens sowie des heutigen Indien. Zu nennen sind insbesondere Sumer (Irak, 3.800 v. Chr.), Babylon am Euphrat, Kalach am Tigris, Ninive, Karthago, Mohenjo Daro am Indus, Ur in Chaldäa, aber auch Tringad in Nordafrika.

Ebenso besaß Jerusalem Kanalbauwerke. Die Ableitung des Abwassers erfolgte in Teiche und der Bodensatz wurde als Dünger und das Wasser zur Bewässerung verwendet. Es handelt sich demzufolge um die erste Form der Abwasserreinigung.

Der Ausbau der Kanalisation des antiken Roms begann im 5. Jahrhundert v. Chr. in Form eines überwölbten Entwässerungskanals, der Cloaca Maxima, an die später andere städtische Abwasserleitungen angeschlossen wurden. Sie entstand durch die Überwölbung eines ehemaligen Bachlaufs, der mit dem Anwachsen der Stadt überdeckt wurde. Seine Breite beträgt 2-3 m, seine Höhe 3 m, am Auslauf 4 m. Das Gefälle wechselt zwi-

schen 3 % und 0,1 %. Die Seitenkanäle bestanden aus kreisförmigen Rohren aus Ton, Blei oder Bronze. In den ersten Jahrhunderten wurden von den Römern für den Bau von Abwasserkanälen große Natursteinquader (Tuff, Kalkstein und für den Boden Lava) verwendet, später Ziegel und vor allem opus cementinum.

Räumkolonnen von Gefangenen verrichteten die unhygienische Arbeit der Instandhaltung. Paläste, Stadtbäder und 144 öffentliche Bedürfnisanstalten hatten das Recht des Anschlusses an diese Großkloake. Für den Bau und die Unterhaltung des Kanalsystems wurden Gebühren erhoben – von diesen stammt der lateinische Ausdruck „non olet“, sinngemäß übersetzt „(Geld) stinkt nicht“.

Auf dem Gebiet der Wasserversorgung sind die bekanntesten Anlagen die Wasserversorgung der Städte des Römischen Reiches. Aquädukte führten Quellwasser, Wasser von Bächen oder Flüssen sowie von Seen in die römischen Städte rund um das Mittelmeer. Rom besaß 9 große Zuleitungen (die längste mit 91 km). In Nimes wurde das Castellum Divisorium (Château d’Eau Romain; 1884 entdeckt) gebaut, welches das über den Pont du Gard herangeführte Wasser in der Stadt Nimes verteilte. Römische Anlagen in Deutschland sind die Eifelleitung für Köln (Colonia), die Wasserversorgungen von Trier, Xanten und weiteren Städten westlich des Limes.

In Griechenland verlegte man seit dem 5. Jahrhundert v. Chr. unter dem Pflaster von öffentlichen Plätzen Kanäle. Das antike Athen besaß Wasserversorgungs- und Abwasseranlagen. Interessante Anlagen sind auch in Pergamon (Westtürkei), in Olympia, Agrigento (Südwestküste Siziliens – damals griechische Kolonie), auf Samos (Ostküste der Ägäis) usw. zu finden.

Von Griechen und Römern sind in der West-Türkei zahlreiche Zeugnisse antiker Wasserkunst zu finden. Leider sind viele Städte im Laufe von 2½ Jahrtausenden durch Erdbeben in Mitleidenschaft gezogen worden und wurden oftmals nach diesen Ereignissen von ihren Bewohnern verlassen.

In den Abwasseranlagen von Ephesus und Ostia (damalige Hafenstadt von Rom) wurden unter den Sitzen der Toilettenanlagen die Exkremete mit fließendem Wasser abgeführt. Vor den Sitzen befindet sich eine Wassergraben in der die Benutzer die Hände waschen konnten.

#### 2. Etappe – Rohrleitungstechnik im Mittelalter

Die rohrleitungsgebundene „Technische Versorgung“ der mittelalterlichen Städte beschränkte sich auf die Wasserversorgung einzelner Städte mit Holzrohrleitungen, ggf. auf die Überwölbung von Bachläufen und damit auf Anfänge der Kanalisation.

Seit dem 14. Jahrhundert war man in der Lage, gusseiserne Geschützrohre zu gießen. Voraussetzung für die Fertigung von Gussrohren waren neben einem verhältnismäßig großen Eisenerz erhebliche Mengen an Holz-

kohle und die Fertigkeit, hohe Temperaturen zu erzeugen. Die deutschen Mittelgebirge boten beides – Erz und einen Waldbestand aus dem man Holzkohle herstellen konnte.

Im 19. Jahrhundert tauschte man in einzelnen Städten Holz- und Bleileitungen gegen gusseiserne aus. Die Verwendung von Buntmetallen (Blei, Kupfer und Bronze) scheiterte an den hohen Kosten, von Ausnahmen abgesehen. Vereinzelt erfolgte auch die Anwendung von Steinrohrleitungen (Dresden Mitte 19. Jahrhundert 46 von ca. 200 km).

Die ältesten bekannten Gusseisenleitungen in Deutschland sind 1412 für die Wasserversorgung von Augsburg hergestellt worden, allerdings wurden diese Rohre wegen zu geringer Querschnitte und nicht ausreichendem Wasserdruck durch Holzrohre ersetzt (1821 baute Augsburg für die Wasserversorgung ein Rohrnetz aus Gusseisen auf).

Es folgten 1455 Gussrohre für Schloss Dillenburg (Hessen) und 1562 in Bad Langensalza (Thüringen) für die Versorgung des Jacobi- und Ratsbrunnens. Weitere Einzelleitungen sind für die Schlosswasserversorgung Homburg (1684 – 330 m), Wilhelmshöhe Kassel (1713 – 1.000 m), 1722 Schloss Brühl bei Köln (1722 – 2.000 m) und Schloss Ehrenbreitstein bei Koblenz (1766 – 6.000 m) zu nennen.

Die im Schlosspark von Versailles 1668 zur Versorgung der Wasserspiele verlegten Gussrohrleitungen mit Flanschverbindungen in den Nennweiten DN 350 bis 500 hatten eine Gesamtlänge von rd. 24 km.

Eine technische Höchstleistung war 1817 für die Solewasserzuführung von Berchtesgaden nach Reichenhall gebaute erste Hochdruckleitung mit Gussrohren in Ilsank bei Berchtesgaden mit einer Förderhöhe von 358 m.

### 3. Etappe – Zentrale (einheitliche) Versorgung von Städten in der industriellen Revolution

Erste zentrale Wasserversorgungsnetze entstanden im Zuge der Industrialisierung in Frankreich, England und den USA bereits Anfang des 19. Jahrhunderts; die Verlegung gusseiserner Rohre für die Wasserversorgung erfolgte in Lyon bereits 1800, in Paris 1802, in London 1808 und Marseille 1813, in Pennsylvania (USA) 1825.

1848 wurde in Hamburg nach dem großen Brand die erste zentrale Wasserversorgung Deutschlands nach den Vorschlägen Lindleys gebaut. (1856 folgte Berlin, 1859 Magdeburg). Zur Erzielung eines gleichmäßigen Druckes im Versorgungsgebiet und zum Ausgleich von Verbrauchsschwankungen wurden Ausgleichbehälter möglichst im Schwerpunkt des Versorgungsgebietes vorgesehen.

Zentrale Wasserversorgungssysteme und ausgedehnte Kanalisationsnetze entstanden in den meisten deutschen Städten erst in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts. Wesentliche Voraussetzung für die zentrale Wasserversorgung waren die Dampfmaschine, die Kolbenpumpe und die Herstellung gusseiserner Rohre.

Für den Bau von Kanalisationsnetzen waren die Erkenntnisse der Städtehygiene sowie die Entwicklung

entsprechender Bauverfahren für Abwassersammler in großer Tiefenlage von entscheidender Bedeutung, Steinzeugrohre wurden aus England importiert und erst ab 1869 in Deutschland produziert (Maßeinheiten – Zoll).

Vorreiter für den Bau von Kanalnetzen in Deutschland war Hamburg im Jahre 1842 (1856 Magdeburg, 1860 Leipzig, 1864 Rostock, 1875 Erfurt). In Berlin sollte es noch 3 Jahrzehnte dauern bis das Kanalnetz in der Kernstadt realisiert wurde. Am 13.08.1873 wurde der 1. Spatenstich für die umfassende Kanalisierung der damaligen Millionenstadt ausgeführt. Das Abwasser der einzelnen Kanalisationsteilgebiete wurde rund um Berlin auf Rieselfelder geleitet und landwirtschaftlich verwertet.

Die städtische Gasversorgung gewann erst zwischen 1860 und 1880 eine zunehmende Bedeutung, obwohl Gas für die Straßenbeleuchtung bereits zu Beginn des 19. Jahrhunderts verwendet wurde (1813 Freiberg, 1818 Wien). 1827 wurde durch Blochmann das erste Gaswerk in Dresden errichtet und 1828 Gas in gusseisernen Rohren transportiert (weitere Gaswerke in Leipzig 1837, Aachen und Elberfeld 1839, Köln 1840). 1855 gab es 176 Gaswerke in Deutschland und 1868 bereits 608. 1880 kamen Gaskoch- und Heizgeräte auf den Markt und anstelle der anfänglichen Rohre für die Gasbeleuchtung waren größere für die Heiz- und Kochzwecke erforderlich.

Die Anfänge der Fernwärmeversorgung liegen erst am Ende des 19. Jahrhunderts. 1884 erhielt in Berlin die Technische Hochschule eine Fernwärmeanlage, 1884 in Dresden der Staatsbahnhof – erst nach der Jahrhundertwende wurde 1902 die erste europäische Fernwärmeanlage in Betrieb genommen.

Im engen Zusammenhang mit der Entwicklung der technischen Versorgungssysteme stehen der Materialeinsatz sowie die Entwicklung der Bauverfahren und die Einordnung der Leitungs- und Kanalsysteme in den unterirdischen bzw. oberirdischen Bauraum. Gas-, Wasservers- und Abwasserleitungen wurden erdverlegt ausgeführt, Fernwärmeleitungen in nicht begehbaren Kanälen, wobei gemauerte Kanäle und Fertigteilkonstruktionen angewendet wurden.

Die ersten Sammelkanäle wurden in England gebaut, um der Bevölkerung die Unbequemlichkeiten zu ersparen, die durch häufiges Aufgraben der Straßen verursacht werden.

Gussrohre wurden bereits 1827 für die Gasversorgung von Berlin eingesetzt, aber erst Mitte des 19. Jahrhunderts für die Wasserversorgung. Versuche zur Herstellung von Stahlrohren waren zunächst nicht erfolgreich (1886 Patent der Gebrüder Mannesmann für die Herstellung nahtloser Rohre). Die massenhafte Produktion von Stahlrohren begann erst am Anfang des 20. Jahrhunderts.

### 4. Etappe – Ausbau der städtischen Versorgung im Verlauf des 20. Jahrhunderts und Bau von Fernleitungssystemen (national und international)

Die ersten Wasser-, Gas- und Fernwärmeversorgungssysteme wurden als Inselanlagen betrieben, später in

den Städten und Ballungsgebieten zum Verbundbetrieb zusammengeschlossen und schließlich Fernversorgungssysteme gebaut.

Die heutigen zu rehabilitierenden Versorgungssysteme (Wasser, Gas und Abwasser) wurden vor dem ersten und zwischen dem ersten und zweiten Weltkrieg gebaut – während der Weltkriege ist eine Stagnation des Ausbaus zu verzeichnen.

Nach dem zweiten Weltkrieg bestimmte zunächst der Wiederaufbau der Städte und damit die Instandsetzung beschädigter oder zerstörter Leitungssysteme die Entwicklung der Technischen Versorgung. Danach folgte eine Phase des immensen Zuwachses an Leitungslängen durch den Bau von Wohn- und Gewerbegebieten in Stadtrandlagen. Dadurch wuchs einerseits die Länge der Wasser-, Gas- und Abwassernetze sowie an Fernwärmeleitungen beträchtlich, aber andererseits vergrößerte sich die spezifische Länge der Leitungen pro Einwohner, so dass die Aufwendungen pro Einwohner zwangsläufig stiegen.

Nach dem zweiten Weltkrieg erfolgte der Bau von Fernwassersystemen. Für die Gasversorgung sind der Aufbau von Verbundsystemen und Gasspeichern sowie die Umstellung von Stadtgas auf Erdgas von wesentlicher Bedeutung. Fernwärmesysteme wurden für neu zu versorgende Wohn- und Industrieanlagen gebaut, besitzen jedoch nicht den Ausbaugrad von Wasser- und Gasversorgungssystemen.

Der Anschlussgrad an Abwasseranlagen erhöhte sich permanent, aber neue Probleme waren und sind zukünftig zu lösen, wie die zunehmende Versiegelung der Stadtflächen und damit verbunden die Vergrößerung der Regenabflüsse.

Ein weiterer wesentlicher Aspekt der technischen Versorgung ist der Rohrmaterialeinsatz. Zu dem Einsatz von Gussrohren für die Gas- und Wasserversorgung kam im 20. Jahrhundert eine Vielzahl von neuen Rohrmaterialien hinzu.

Nicht immer wurde geeignetes Rohrmaterial eingebaut, z.B. in Ostdeutschland Stahlrohre mit unzureichendem Korrosionsschutz sowie PE-Rohre in ungeeignetem Bettungsmaterial, in Westdeutschland Duktulgussrohre der 1. Generation mit unzureichendem Korrosionsschutz.

### 5. Etappe – Rehabilitation der städtischen Versorgungssysteme Sanieren oder Erneuern?

Nach dem Ausbau der Wasserversorgungssysteme im 20. Jahrhundert müssen sich die Versorgungsunternehmen in verstärktem Maße der Instandhaltung ihrer Rohrnetze zuwenden, Rohrleitungen sanieren oder erneuern und aufgetretene funktionale Mängel am Rohrnetz beseitigen.

Im letzten Jahrzehnt des 20. Jahrhunderts kam als weiterer wichtiger Aspekt für die Rohrnetzrehabilitation der seit 1990 rückläufige Wasserverbrauch im Zusam-

menhang mit der demografischen und wirtschaftlichen Entwicklung in der Deutschland hinzu.

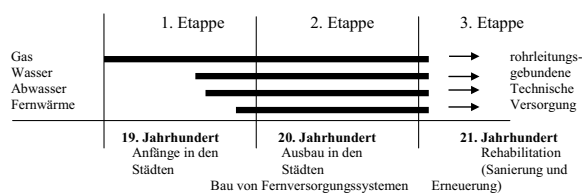


Abb. 3.1: Etappen der Entwicklung der rohrleitungsgebundenen Technischen Infrastruktur

Die **technische und betriebswirtschaftliche Nutzungsdauer** aller Rohrmaterialien, Rohrverbindungen und Armaturen ist begrenzt und von verschiedenen Einflussfaktoren abhängig. Durch rechtzeitige Sanierungsmaßnahmen kann die Nutzungsdauer verlängert werden, Voraussetzung dafür ist die Zustandsbewertung.

Einflussfaktoren, welche bei der Rehabilitation zu beachten sind bzw. welche die Nutzungsdauer von Materialien beeinflussen, sind z.B.:

- physische Veränderungen der Materialien aufgrund ihres Alters (Korrosion, Graphitierung, Zeitstandsverhalten usw.)
- äußere Einflüsse wie Verkehrsbelastungen, Boden- und Grundwasserverhältnisse
- neue Entwicklungen von Rohrmaterialien und -auskleidungen bzw. -beschichtungen
- neue wissenschaftliche Erkenntnisse, z.B. Wechselwirkung der Rohrmaterialien mit dem transportierten Wasser oder Verhalten des Rohrnetzes bei Desinfektion und Spülung hinsichtlich des Biofilms in Rohrleitungen oder von Ablagerungen bei Wiederinbetriebnahme der Leitungsstrecken nach Rehabilitationsmaßnahmen
- neue oder veränderte Anforderungen an die Rohrnetze
- Einsatz von geeignetem Rohrmaterial
- Verfahrensentwicklung (grabenlose Technologien, Bohrlochverfahren für Hausanschlüsse)

## 3.2 Rohrmaterialien und Herstellung (Produktion und Eigenschaften) [Roscher]

### 3.2.1 Zur Entwicklung der Rohrleitungstechnik für die Wasserversorgung

Die „Rohrleitungstechnik“ ist mindestens 6.000 Jahre alt, wie Funde aus dem Euphratgebiet bezeugen. Genaue Kenntnisse über die Herstellung und Verwendung von Rohren liegen aus der Römerzeit vor, wo man sowohl gegossene Rohre als auch aus Metallblechen gebogene und verlötete Bleirohre verwendete. Die Bilder aus *Abb. 3.2* zeigen Bleirohrleitungen aus Pompeji; innerhalb der Gebäude wurden Bleirohrleitungen auch unter Putz verlegt.



## 3. Rohrmaterialien und ihre Eigenschaften

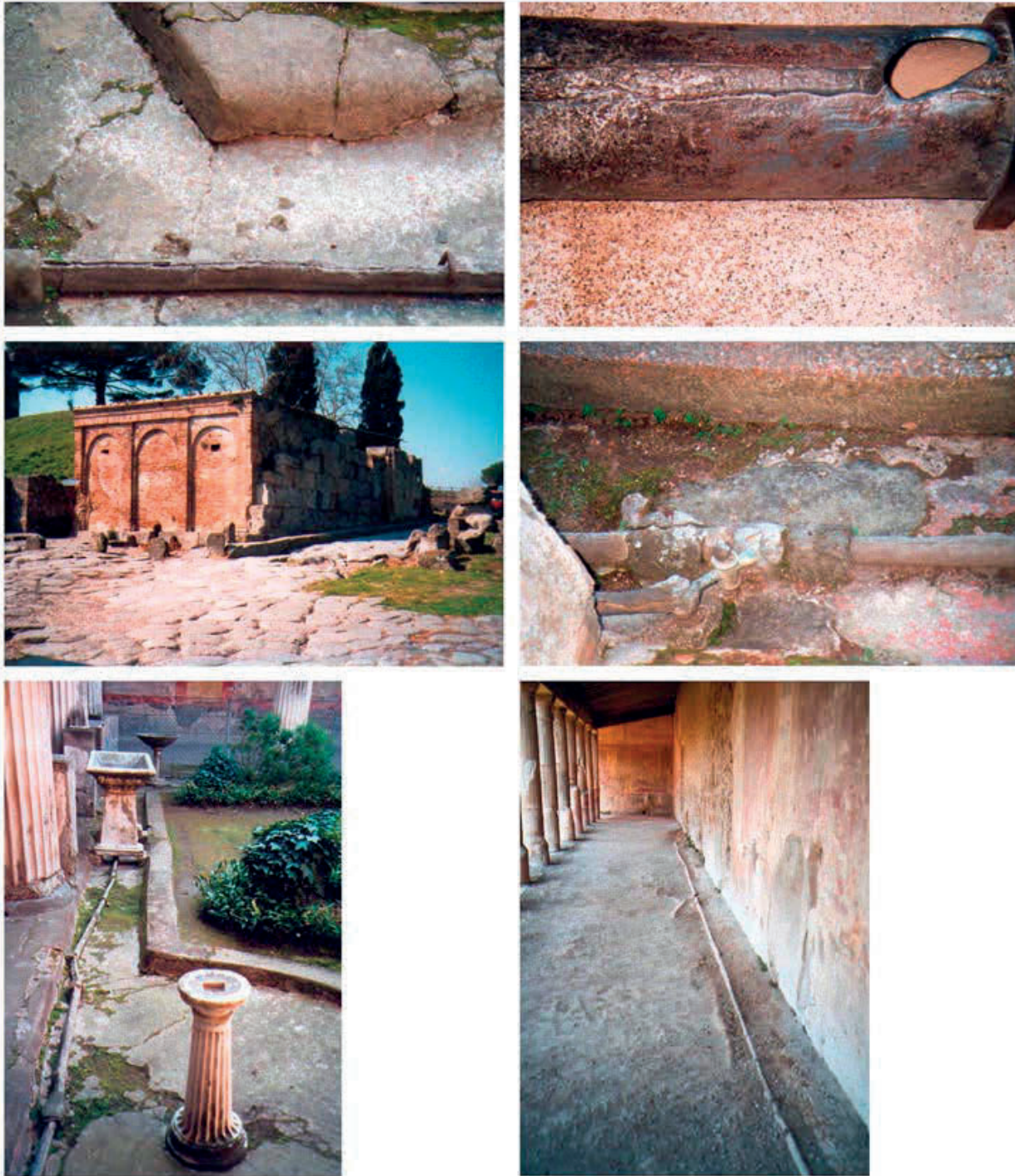


Abb. 3.2: Pompeji – Bleirohre und Castellum aquae an der Porta vesuvio

In der Hafenstadt Roms Ostia am heute verlandeten Ufer des Tibers sind die in *Abb. 3.4* gezeigten Toilettenanlagen mit einer Schwemmkanalisation zu finden. In den weiteren Bildern von Rom sind das Stadtmodell mit den Aquaedukten und ein instandgesetztes Teilstück eines Aquaeduktes zu sehen.

Aquaedukte römischer Wasserversorgungen sind in allen Mittelmeerländern, welche von den Römern besetzt waren (Frankreich, Spanien, Portugal, Nordafrika usw.) zu finden, aber auch in Deutschland für die Wasserversorgung von Köln (Colonia) mit einer Länge von fast 100 km die sog. Eifelleitung.



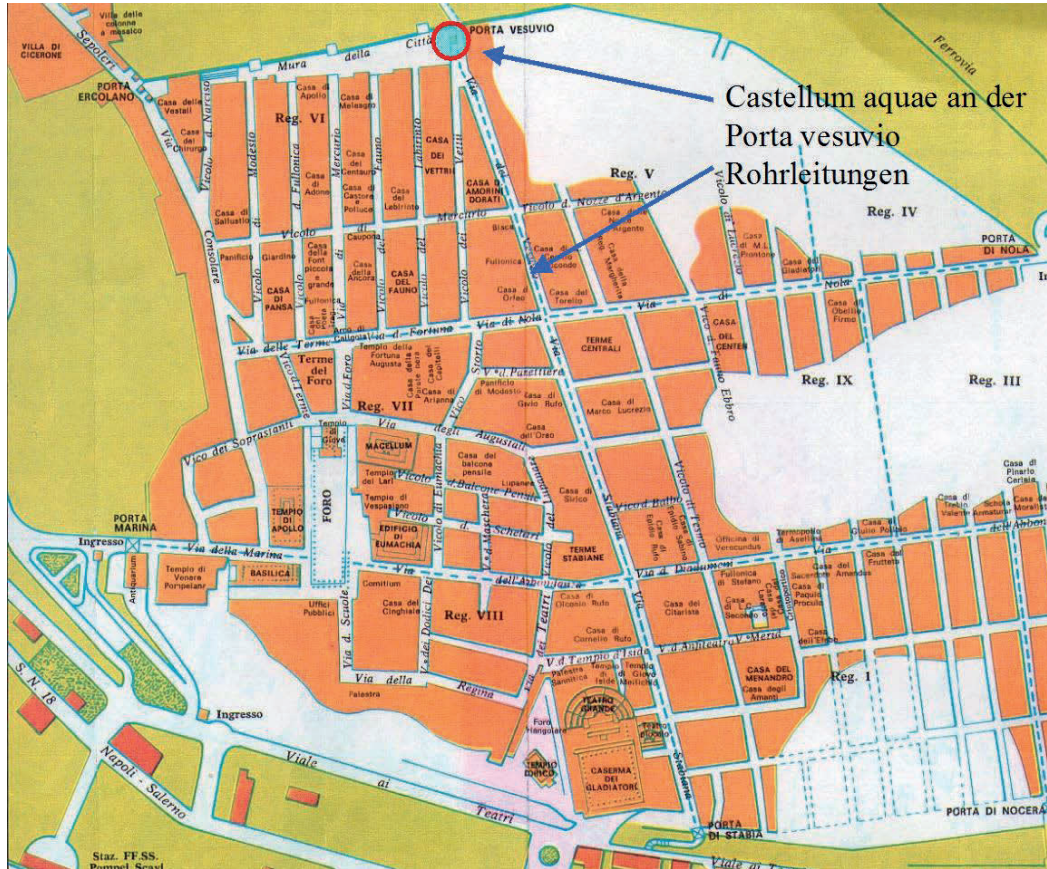


Abb. 3.3: Pompeji – Wasserverteilungssystem [Nappo, 1998], Ergänzungen zur Wasserversorgung durch Verfasser



Abb. 3.4: Rom – Ostia: Toilettenanlagen



Abb. 3.5: Rom – Aquädukt a) Stadtmodell b) Reste eines Aquäduktes



### 3.2.1.1 Holzrohrleitungen für die mittelalterliche Wasserversorgung

(Textauszug aus [Roscher, 1999], Abschnitt 3.1)

Die frühmittelalterlichen Städte entstanden hauptsächlich an Flüssen, also auf wasserführenden Schichten. Bei nicht ausreichendem Wasservorkommen wurde es in künstlich angelegten Wasserläufen in die Städte geleitet und ggf. mittels eines die Straßen durchziehenden Grabensystems auf das Stadtgebiet verteilt.

Die immer dichter werdende Besiedlung innerhalb der Stadtmauern, erforderte eine ständig wachsende Anzahl von **Grundwasserbrunnen**, die sich in unmittelbarer Nachbarschaft von Kloaken befanden. Verheerende Seuchen waren die Folge, denen erst durch medizinische Erkenntnisse am Ende des 19. Jahrhunderts und den Fortschritten der Wasserversorgungstechnik Einhalt geboten werden konnte.

Im 12. und 13. Jahrhundert erfolgten zahlreiche Stadtgründungen und bestehende Städte erweiterten sich. Die Weiterentwicklung der **Wasserversorgungstechnik** ermöglichte, Wasserbauvorhaben wie **Wasserhebeanlagen** und **Röhrwasserleitungen** auszuführen. Voraussetzung dafür war ein hochentwickeltes Handwerk, welches in der Lage war, sog. Wasserkünste zu bauen und Holzröhren zu bohren. Erfindungen dieser Zeit wie der Eisenguss (14. Jahrhundert) blieben aufgrund der hohen Herstellungskosten auf einige Schlossanlagen beschränkt.

Die Bedeutung der Röhrwasserversorgung nahm zwar seit dem Mittelalter ständig zu, da sie aber betriebsunsicher war und durch Zerstörungen außerhalb der Stadtmauern unterbrochen werden konnte, wurden die Grundwasserbrunnen nicht beseitigt.

Für die Röhrwasserversorgungen wurden hauptsächlich **gebohrte Holzröhren** verwendet, die jedoch eine begrenzte Lebensdauer besaßen. Stand kein ausreichendes Druckgefälle zur Verfügung, so musste es mittels Wasserkünsten geschaffen werden. Als **Wasserkünste** bezeichnete man verschiedenartige Wasserhebemaschinen einschließlich der Gebäude, in denen sie untergebracht waren (in Thüringen Altenburg, Arnstadt, Nordhausen und Gera).

Technisch sind zwei Grundarten zu unterscheiden, entweder sind an einem Mühlrad, das vom Fluss angetrieben wird, Schöpfgefäße befestigt, die sich selbsttätig in einen Behälter entleeren oder es wurde mittels einer Pumpe das Wasser auf die erforderliche Höhe gedrückt, ggf. auch mehrfach.

Der Bau der Wasserkünste ist durch den Bergbau stark beeinflusst worden, denn bereits G. Agricola beschrieb die Einrichtungen für das Berg- und Hüttenwesen. Zwei der bekanntesten Wasserkünste sind die „Rote Kunst“ in Leipzig und das „Blausternwerk“ in Nürnberg. Die Kolbenstangen wurden über waagerechte Kipphebel und lange Gestänge von der Kurbelwelle aus angetrieben; das etwa 1450 gebaute Brunnenwerk „Bei den sieben Kindern“ in Augsburg arbeitete dagegen mit übereinander angeordneten Schrauben.

Druckrohrleitungen wurden aus Nadel- und Laubholz (Kiefern-, Fichten-, Lärchen-, Buchen-, und Erlenholz) hergestellt. Das im Winter geschlagene Rohholz wurde entrindet und in 2 bis 4 m lange Rohrstücke zersägt. Die Röhrenherstellung erfolgte an Handbohrstühlen folgendermaßen „Mit kleinen Handbohrern wurde vorgebohrt, damit der einbohriige Röhrenbohrer fassen konnte. Dieser wurde 5- bis 8-mal herumgedreht, dann zog man den Span heraus. Das musste solange wiederholt werden, bis die Hälfte der Rohrlänge ausgebohrt war. Die fertigen Röhren verstopfte man mit Heu oder Gras, um ein Reißen zu vermeiden“. Nach dem ersten Bohrgang folgten weitere, nach der Anzahl der Bohrgänge wurden die Innendurchmesser als ein- bis fünfbohriig unterschieden.

Innerhalb der Städte wurden die Leitungen im Allgemeinen in nur geringer Tiefenlage im Straßenquerschnitt verlegt, da die Rohrleitungen oft auszuwechseln waren. Die Gebrauchsdauer der Leitungen betrug 10 bis 30 Jahre und wurde neben der Verlegetiefe (Leitungszerstörung durch Frost) insbesondere durch den umgebenden Boden bestimmt (in Sandboden kürzere Lebensdauer). Die Wasserverluste hingen von der Bodenart und Feuchtigkeit, von der Leitungslänge, von der Art der Rohrstöße, vom Alter und der Verschmutzung der Leitungen ab (Begrenzung der Leitungslänge 5–6 km durch Wasserverluste). Die Leitungen mussten oft gereinigt werden, da durch die geringe Fließgeschwindigkeit sich Stoffe ablagerten; hierzu musste man Rohre herausnehmen und reinigte z.T. mit aneinandergebundenen Haselruten und einer Kratzbürste.

Die Bilder *Abb. 3.6* und *Abb. 3.7* zeigen einen Ausschnitt aus einer Karte von Weimar mit Eintragung von Leitungen und 1999 bei Straßenbauarbeiten in Weimar (Am Graben) freigelegten Holzrohrleitungen.



Weimar, Blaufußplan (Ausschnitt)

Abb. 3.6: Kartenausschnitt mit Trassen der mittelalterlichen Wasserversorgung mit Holzrohrleitungen in Weimar [Roscher, 1999]





Abb. 3.7: Bergung von Holzrohrleitungen in der Innenstadt von Weimar 1999



Abb. 3.8: Bohrwerkzeuge für das Röhrenbohren [Roscher, 1999]

### 3.2.1.2 Gussrohre

#### Die ersten Gussleitungen

Seit dem 14. Jahrhundert wurde die Herstellung von Eisen- und Stahlgussrohren möglich und Gussleitungen fanden seit dem ausgehenden Mittelalter Verwendung für Laufbrunnenversorgungen und für die Versorgung von Schlössern und Burgen (z.B. Schloss Dillenburg/Lahn 1455, Schlosswasserleitung Braunfels 1661). Für die Wasserversorgung der Gärten und Fontänen des Schlosses Versailles wurden Gussrohre mit

achteckigen Flanschverbindungen verwendet, die die nachfolgenden Bilder des Verfassers zeigen

Mit der Entwicklung der Gasversorgung wurden Gussleitungen für den Gastransport eingesetzt (1827 Berlin, 1838 Aachen, 1854 Frankfurt), in der Wasserverteilung wurden Gussrohre 1848 in Hamburg und nachfolgend in allen Städten eingesetzt [FGR, 1983 und 1996].

Im 19. Jahrhundert tauschte man in einigen Städten Holz- und Bleileitungen gegen gusseiserne aus, z.B. in Arnstadt, ohne eine „einheitliche“ Wasserversorgung zu bauen [Roscher et al., 2000].





Abb. 3.9: Gussrohrleitung der Wasserversorgung der Gärten und Fontänen des Schlosses Versailles 1680 (Fotoaufnahmen in Pont a Mousson)

**Gussrohrleitungen ab Mitte 19. Jahrhundert**

Quelle: [FGR, 1983 und 1996] und [Roscher et al., 2000]

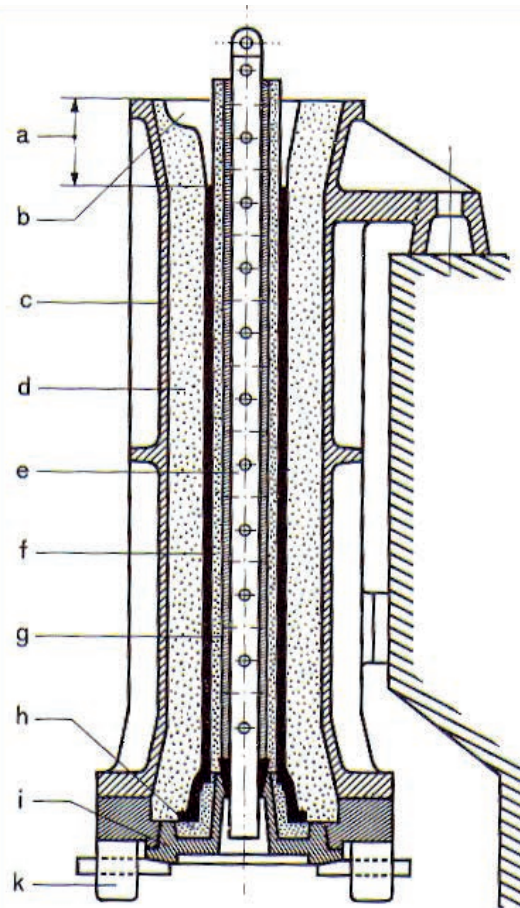
In den ersten zentralen Wasserversorgungssystemen (sog. „einheitliche“ Wasserversorgung) verwendete man Graugussleitungen, welche z.T. heute noch in Betrieb sind. Anfang des 20. Jahrhundert kamen Stahlrohrleitungen hinzu. Die ersten Druckrohrleitungen aus Spannbeton folgten in den 30er Jahren und ab 1930 erfolgte der Einsatz von Asbestzementrohren in deutschen Städten (1913 von Mazza in Italien entwickelt). Die PVC-Rohrfertigung für die chemische Industrie begann 1935, in der Wasserversorgung wurden sie aber erst in den 60er Jahren verstärkt eingesetzt. PE-Rohre werden seit den 60er Jahren und PEX-Rohre seit den 90er Jahren produziert. Schutzmantel-Kunststoffrohre (SLM) mit einer Alu-Folie als Diffusionsschutz werden seit Ende der 90er Jahre produziert.

Wesentliche Entwicklungen gab es auch im Bereich der Rohrverbindungstechnik – so sind Flansch-, Muffen-, Schweiß- und Klebeverbindungen, nicht zug- bzw. zugfest, lösbar bzw. nicht lösbar, abwinkelbar usw. zu unterscheiden.

Gussrohre wurden bis 1885 liegend gegossen, später einzeln stehend, danach in so genannten Gießkarussellmaschinen. Der Kontakt mit dem im Gießsand enthaltenen SiO<sub>2</sub> verlieh diesen bis in die 20er Jahre hergestellten Rohren eine hohe Korrosionsbeständigkeit (diese Rohre sind in der Regel durch ihre ungleichmäßige Wandstärke erkennbar – siehe Abb. 3.12 - Abb. 3.15).

Die Herstellung von Gussrohren im Schleudergussverfahren wurde in Deutschland 1926 eingeführt (Großversuchsanlage 1923), wobei in wassergekühlten, rotierenden und axial verfahrbaren Dauerformen (Kokillen) mit annähernd waagerechter Rotationsachse über eine feststehende Gießrinne das flüssige Eisen zugeteilt wurde. Diese Rohre besitzen eine geringere, aber gleichmäßige Wandstärke, aber durch das Fehlen des Gießsand und des enthaltenen SiO<sub>2</sub> eine geringere Korrosionsbeständigkeit.

Gleichzeitig konnte die Festigkeit von sandgeformten Rohren von 120 N/mm<sup>2</sup> beim Schleudergießen auf 200 N/mm<sup>2</sup> gesteigert werden.



- a) verlorener Kopf
- b) Eingsstrichter
- c) Formkasten
- d) Formsand
- e) Kernspindelrohr
- f) Strohseil oder Holzwolke-Umwicklung
- g) Muffenkern
- h) Muffenklappe
- i) Verschlussring

Abb. 3.10: Standgussverfahren [FGR, 1983 und 1996]

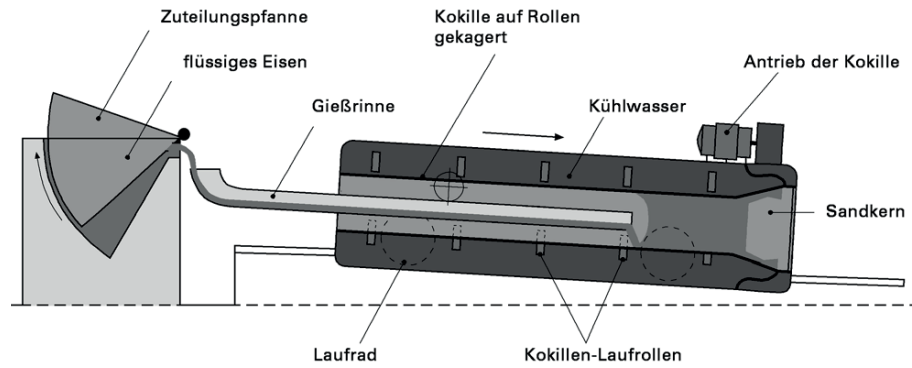


Abb. 3.11: Schleudergussverfahren (Schema) [FGR, 1983 und 1996]

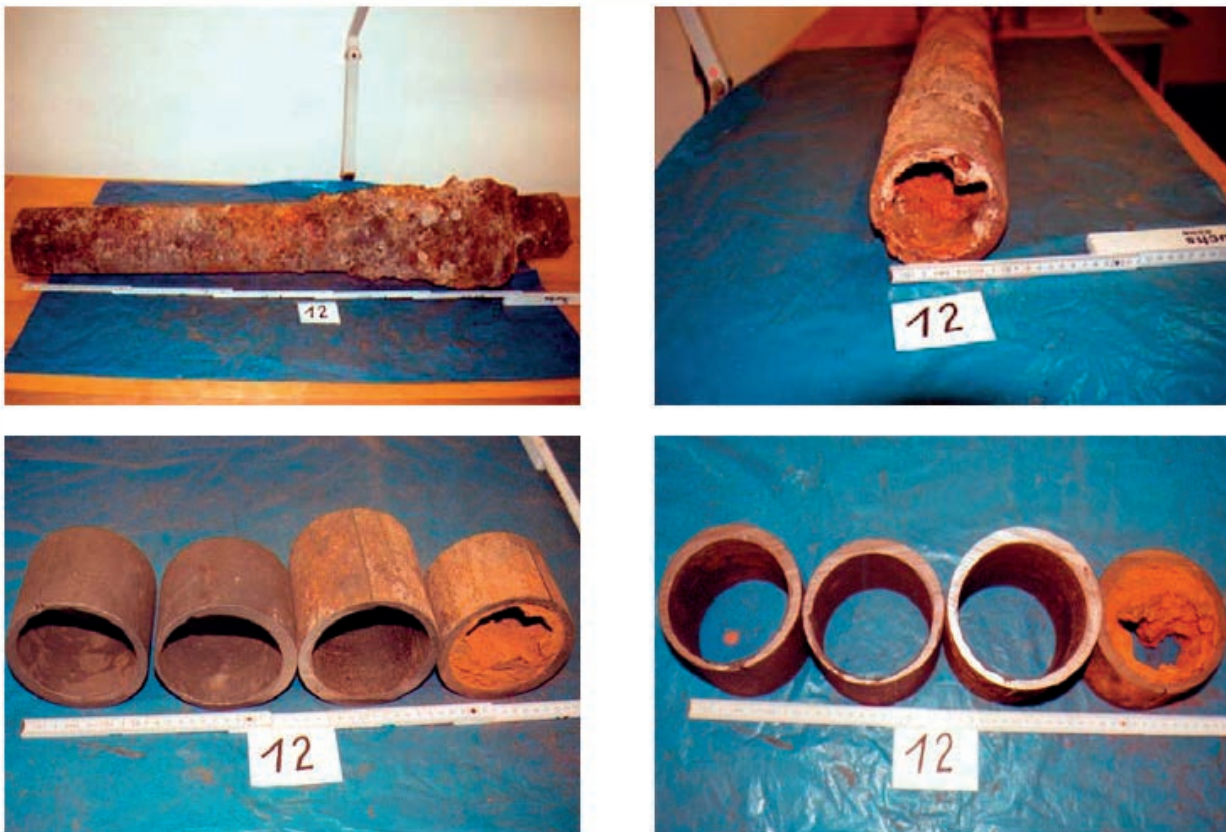


Abb. 3.12: Gussrohre mit unterschiedlicher Wandstärke vor und nach der Bearbeitung – Rohrstück mit Stemmuffe; Teilstücke für die Rohruntersuchung; Rohrstück mit Inkrustierung, die ungleichmäßige Wandstärke ermöglicht die Zuordnung zur 1. Generation der Graugussrohrherstellung (Standguss)



Abb. 3.13: Gussrohr mit Graphitierungserscheinungen, Bruchstücke mit Graphitierung [Roscher et al., 2000]



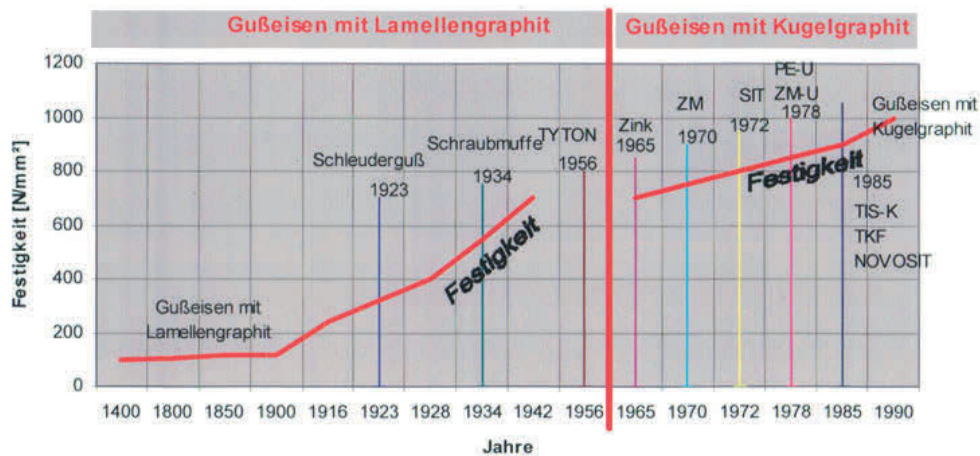


Abb. 3.14: Innovationsschritte in der Gussrohrtechnik

Um 1950 gelang durch metallurgische Maßnahmen die prozesssicher reproduzierbare Beeinflussung der Graphitform in Richtung rein kugelig ausgebildet, von denen sich heute die Behandlung der Schmelze mit Magnesium durchgesetzt hat. Die Graphitkugeln heben die innere Kerbwirkung im Werkstoff weitgehend auf, wodurch E-Modul, Zugfestigkeit und Verformbarkeit (= Duktilität – **duktiler Gusseisen**) stark zunehmen. Durch eine **thermische Nachbehandlung**, bei welcher der infolge der hohen Abkühlgeschwindigkeit zunächst gebildete Zementit ( $\text{Fe}_3\text{C}$ ) in Eisen (Ferrit) und Graphit zerlegt wird, erreicht das ferritische Gusseisen mit Kugelgraphit eine Zugfestigkeit von mindestens  $420 \text{ N/mm}^2$  (siehe Abb. 3.14).

In der Verbindungstechnik erfolgten ebenfalls wesentliche Änderungen – ab Mitte des 19. Jahrhunderts kam die **Stemm-Muffenverbindung** auf und war bis in die dreißiger Jahre des 20. Jahrhunderts gebräuchlich, 1931 wurde die **Schraubmuffe** „Union“ eingeführt, 1936 kam die in DIN 28602 genormte **Stopfbuchsenmuffen-Verbindung** im Nennweitenbereich von DN 500 bis DN 1200 auf. 1957 wurde aus den USA die Steckmuffenverbindung TYTON mit der gekammerten Dichtung eingeführt. Ab 1970 folgten erste **zugfeste Verbindungen**, formschlüssig mit Schweißwulst auf dem Einsteckende und einer vorgegossenen Rückhaltekommer, reibschlüssig mit Krallen, die in der Dichtung einvulkanisiert wurde und sich in der Oberfläche des Einsteckendes einkrallen (TYTON-SIT DN 80 bis DN 400). 1988 kam die Weiterentwicklung NOVOSIT (DN 80 bis DN 1000) auf, bei der die Dichtung und die Zugsicherung in zwei getrennten Kammern des Muffenprofils untergebracht sind.

Zum Schutz gegen Rostbildung verwendete man geschmolzenen **Heißasphalt**, in den die erwärmten Rohre getaucht wurden. Die Tauchasphaltbeschichtung wurde ab Anfang der sechziger Jahre von Bitumenlacken als äußerem Korrosionsschutz abgelöst, der ab 1965 mit einer **metallischen Spritzverzinkung** kombiniert wurde. Weitere Entwicklungen der ausgehenden siebziger Jahre waren die **PE-Umhüllung** und die **Faserzementumhüllung**. Eine auf der Baustelle aufgebrachte Umhüllung aus Polyethylen-Folie vervollständigte das

Korrosionsschutz-System für alle Bodenaggressivitäten.

Rohre mit Faserzement-Umhüllung können ohne Sandbett in steinigen Böden aller Art eingebaut werden; durch Wiedereinbau des Grabenaushubs lassen sich erhebliche Kosten einsparen; der innere Korrosionsschutz mittels Zementmörtelauskleidung wurde etwa ab 1970 eingeführt, die im Bereich der Wasserleitungen seit etwa Mitte der siebziger Jahre Standard ist.

Zusammenfassend sind als **wesentliche Entwicklungsschritte** zu nennen:

- Grauguss (Gusseisen mit Lamellengraphit) in Sand geformt und ab 1926 im Schleudergießverfahren hergestellt (**GG 1. und 2. Generation**)
- Duktile Schleudergussrohre ab 1956 in der BRD (**GGG 1. Generation**)
- bis 1968 mit Bitumenlack gegen Korrosion geschützt, ab 1968 Zink mit bituminöser Deckbeschichtung.

### 3.2.1.3 Stahlrohre

Quelle: [Roscher et al., 2000]

Seit Anfang des 19. Jahrhunderts versuchte man Stahlrohre aus Blechstreifen zum Rohr zu biegen und die Naht zu schließen.

Die Erfindung, nahtlose Stahlrohre durch **Schrägwalzen** herzustellen, geht auf das Patent der Gebr. Mannesmann (1886) zurück. Die industrielle Verwertung des Verfahrens durch Brüser 1891 führte zu einer kapazitätsmäßig geringen Fertigung in den Jahren 1891-1894 für Durchmesser bis 236 mm. Um 1894 wurde die Produktion wieder eingestellt und erst 1901 in einem Werk in Düsseldorf-Rath (Mannesmann) wieder aufgenommen. Entsprechend der Entwicklung der Produktionsanlagen wurden nahtlose Rohre in folgenden Dimensionen gefertigt: ab 1902 bis 308 mm, ab 1905 bis 404 mm und ab 1923 bis 620 mm.

Rohrleitungen größerer Durchmesser konnten als **geschweißte Rohre** mit Längsnaht von verschiedenen Firmen hergestellt werden. Einige Städte setzten ab 1905/06 aufgrund des hohen Ausstoßes und gefallener Preise bei Neuanlagen Stahlrohre ein.

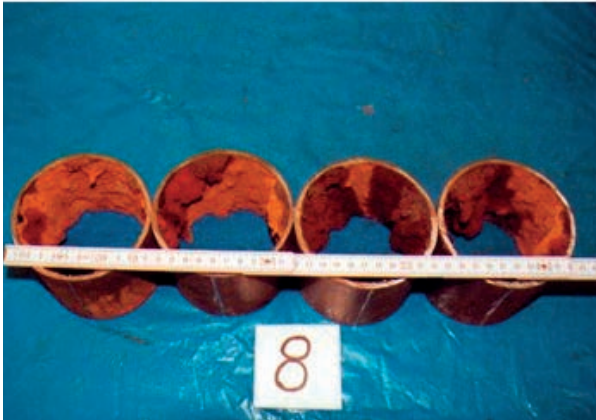


Abb. 3.15: Jutearmiertes Rohr aus den 30er Jahren (Verrottung der Jutearmierung, nach Bearbeitung der Rohrprobe zeigt sich ausreichende Restwandstärke für Zementmörtelauskleidung)

Um die Jahrhundertwende hatte sich bereits das Muffenrohr durchgesetzt, Flanschrohre wurde nur vereinzelt verwendet. Die Dichtung erfolgte mit Hanfstrick und Bleiring (Stemmuffen), aber es wurden auch bereits gummidichtende Verbindungen eingesetzt.

Als Rohrverbindungen wurden in den 30er und 40er Jahren eingesetzt: Schweißverbindungen (Stumpfstoß-, Einsteck- und Kugelschweißmuffe), gummidichtende Verbindung (besonders die Sigurmuffe auch bei hohen Betriebsdrücken) und Stemmverbindungen wurden nicht mehr angewandt.

Die Stahlrohrindustrie setzte sich bereits sehr früh mit Korrosionsfragen auseinander. Zum Schutz der Rohre wurden metallische und nichtmetallische Überzüge (Verzinkung für die Hausinstallation) angewandt. Beim Innenschutz wurde unterschieden in:

- normale Schutzschicht, aufgebracht durch Tauchen oder Anstrich, geeignet für alle nicht angreifenden oder zu Schutzschichtbildung neigenden Wasser
- verstärkte Schutzschicht von 1 bis 2 mm, aufgebracht durch Einschleudern reinen geblasenen Bitumens, geeignet für angreifende Wasser mit Temperaturen bis zu 30 °C
- starke Schutzschicht aus gefülltem Bitumen (4 mm), aufgebracht im Schleuderverfahren, geeignet für stark angreifende Abwässer mit Temperaturen bis etwa 55 °C.

Der Außenschutz bestand aus einer durch Tauchen oder Anstrich aufgetragenen Grundschicht aus bituminöser Masse und der Wickelschicht, bestehend aus Wickelmasse und der zur Aufbringung der Wickelmasse dienenden imprägnierten Wollfilzpappe, welche gleichzeitig einen mechanischen Schutz der Wickelmasse darstellt. Bei stark angreifenden Bodenarten und bei besonders schwierigen Verlegeverhältnissen (Düker) wurde eine doppelte Wicklung mit Rohrschutzmasse und Wollfilzpappe aufgebracht (angreifende Böden: Ton, Lette, Mergel, Torf und Moor, Müll- und Aschen- oder Schlackenanschlüpfungen).

Besondere Innenschutzmaßnahmen waren erforderlich:

- für aggressive Wasser (weiche und sauerstoffreiche Wasser, saure Wasser, Wasser mit hohem

Salzgehalt insbesondere an Chlorid und Sulfat, an Magnesium und Alkalien gebunden, bzw.

- bei ungünstigen Verhältnissen von Kalk und Kohlensäure und Wässern mit gestörtem Kalk-Kohlensäure-Gleichgewicht.
- Bitumenauskleidung in einer Dicke von 4 bis 6 mm für hochaggressive Durchflussmittel.

Als **Außenschutz** wurden gefüllte, d.h. mit Zusätzen versehene Schutzmassen auf der Basis von Erdölbitumen oder Steinkohlenteerpech verwendet (Grundanstrich, Wickelschicht, bestehend aus Bitumen und Glasvlies-Umhüllung und Kalkanstrich gegen Sonnenbestrahlung).

Die heutigen Stahlrohre werden gefertigt nach dem

- Hochfrequenzwiderstandspress-Schweißverfahren
- Unterpulver-Schweißverfahren
- Nahtlos-Verfahren.

Durch gezielte Zugabe von Legierungselementen, wie Mangan, Silicium, Molybdän, Chrom, Titan, Nickel u.a., können die gewünschten technologischen Eigenschaften eingestellt werden.

Zusammenfassend können unterschieden werden:

- **1. Generation** ohne ausreichenden Korrosionsschutz bis etwa 1940
- **2. Generation** mit unzureichendem Korrosionsschutz bis Ende der 70er Jahre
- **3. Generation** mit ausreichendem Korrosionsschutz (etwa ab 1980)

Stahlrohre aus der DDR-Zeit sind aufgrund des unzureichenden Korrosionsschutzes der 1. bzw. 2. Generation zuzuordnen.

### 3.2.1.4 Zementmörtel-Auskleidung von Guss- und Stahlrohren

Quelle: [Roscher et al., 2000]

Analog zur Zementmörtel-Auskleidung von liegenden Rohrleitungen (1958 Hamburg, 1958 und 1959 Dortmund) begann 1958 die Gussrohrindustrie der Bundesrepublik Deutschland sog. ZM-Rohre (wie Rohre mit Zementmörtelauskleidung kurz genannt werden) herzustellen, 1963/64 folgten die Stahlrohrhersteller Phoenix und Mannesmann und 1967 Hoesch.



3. Rohrmaterialien und ihre Eigenschaften

In der DDR wurden ebenfalls zementmörtel ausgekleidete Stahlrohre in Bitterfeld hergestellt und durch wissenschaftliche Untersuchungen begleitet.

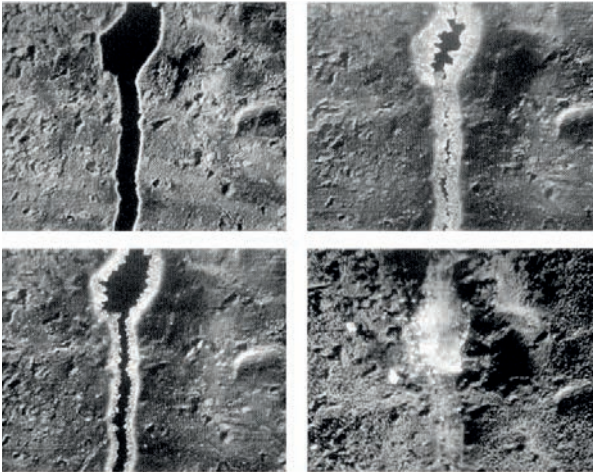


Abb. 3.16: Selbstheilungseffekt – Phasen der Rissheilung [Roscher et al., 2000]

Wesentliche Eigenschaften zementmörtel ausgekleideter Rohre sind:

- hohe Widerstandsfähigkeit gegen Korrosion
- gleichmäßige und glatte Rohrinneoberfläche, daher geringer Reibungswiderstand
- keine Inkrustationsbildungen, und damit bei unveränderten Betriebsverhältnissen Erhaltung der Förderkapazität
- große Festigkeit und Gleichmäßigkeit der Mörtelschicht, und damit große Widerstandsfähigkeit gegen mechanische Beanspruchungen bei gleichzeitig hoher Abriebfestigkeit
- Temperaturbeständigkeit, sodass Schweißverbindungen – also hochfeste, kraftschlüssige

Verbindungen – auch bei kleinen Rohrdurchmessern gewählt werden können.

Für das Verhalten der Zementmörtelschicht sind Vorgänge bei der Erhärtung ausschlaggebend. Es muss dabei genügend Feuchtigkeit vorhanden sein, damit der abbindende Zement nicht verdunstet, d.h., dass er das notwendige Abbindewasser nicht verliert; das Austrocknen des frischen Zements ist wegen des Erhärtens an der Atmosphäre zu vermeiden.

Eine wesentliche Eigenschaft des Zementmörtels ist der sog. **Selbstheilungseffekt** (siehe Abb. 3.16), d.h. dass sich Risse und auch Nähte an Rohrverbindungen durch Calciumcarbonatbildung „zuwachsen“ (schließen). Die Aushärtung kann durch CO<sub>2</sub>-Begasung beschleunigt werden.

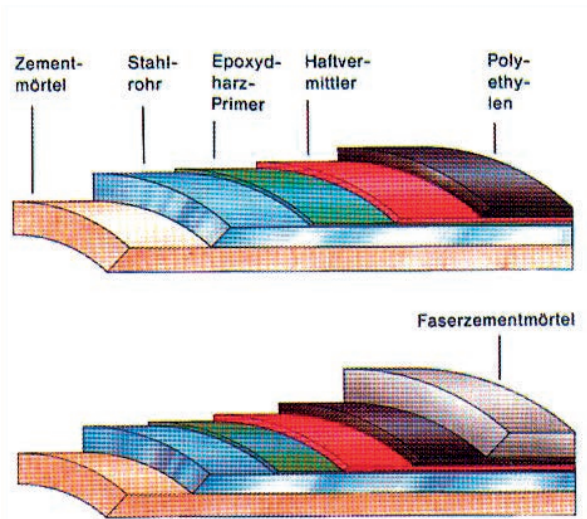


Abb. 3.17: Korrosionsschutz von Stahlrohren - Werkstoffverbund



Abb. 3.18: Stahlrohrherstellung bei Fuchsrohr Siegen – 1

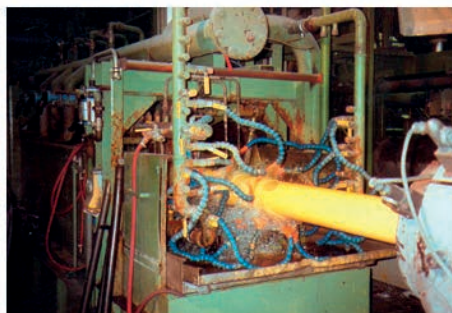






Abb. 3.19: Stahlrohrherstellung bei Fuchsrohr Siegen – 2



Abb. 3.20: Korrosionsschutz von Stahlrohren – Zementmörtelausschleuderung im Spritzverfahren und Zementmörtelumhüllung im Wickelverfahren von Stahlrohren

### 3.2.1.5 Stahlbeton und Spannbetonrohre sowie Betonrohre

Bereits in den 1920er Jahren wurden Stahlmantelschleuderbetonrohre hergestellt, die innen aus Stahlblech und außen aus Stahlbeton bestanden. Diese hochwertigen Rohre sind bis heute weitgehend ohne Schäden in Betrieb.

Druckrohrleitungen aus Stahlbeton der 1930er Jahre erhielten Rundeiseneinlagen. Die Dichtung erfolgte mit Hanfstrick und Blei wie bei Guss- und Stahlrohren. Bei aggressiven Böden wurde ein Asphaltbetonaußenschutz aufgebracht (Asphaltbeton wurde aus Bitumen, Steinmehl sowie gröberem Sand- und Steinmaterial hergestellt).

Die Produktion von Spannbetonrohren erhielt in den 50er Jahren mit dem Bau großer Fernwasserleitungen einen großen Aufschwung. Im internationalen Maßstab wurden Rohre ab DN 500 bis zu 8 m Baulänge und für Betriebsdrücke bis 35 bar hergestellt. Die Längsbewehrung wurde vorher in der Form vorgespannt, der Betonkörper einschichtig hergestellt und mit Hochfrequenzrüttlern verdichtet.

Spannbetonrohre müssen für jeden Anwendungsfall bemessen werden und sind gegenwärtig nicht wettbewerbsfähig.

Die Herstellung von Betonrohren wurde in Deutschland um 1850 unmittelbar nach der Errichtung der ersten Zementfabriken aufgenommen. Ihr eigentlicher großtechnischer Einsatz in der Kanalisation der Städte begann jedoch erst mit dem Aufschwung der deutschen Portland-Zement-Industrie Anfang der 80er Jahre des 19. Jahrhunderts. Die Rohrfertigung war damit von kostspieligen Zementimporten unabhängig und konkurrenzfähig zu den Steinzeugrohren.

Der verstärkte Einsatz von Betonrohren in der Kanalisation war nicht nur aus Kostengründen, sondern auch durch die vielfältigen Möglichkeiten, die sich aus dem Baustoff und der Fertigungstechnik ergaben, möglich. Es bestand keine Beschränkung hinsichtlich der Querschnittsform (Kreis-, Maul-, Ei- und Rechteckprofile) und der Abmessungen, so dass eine bessere Anpassung an die Anforderungen der Entwässerungstechnik möglich wurde. Die ersten bewehrten Rohre aus Beton (damals Zementröhren mit Eiseneinlagen oder Eisenbetonrohre genannt) wurden vor der Jahrhundertwende im Jahre 1889 vorgestellt.

Der heutige Beton wird aus Zement, Gesteinskörnung, Wasser und häufig noch mit Bezugszusatzstoffen und Betonzusatzmitteln hergestellt. Betonzusatzmittel sind chemische Wirkstoffe, die bestimmte Eigenschaften des frischen oder festen Betons beeinflussen, hierzu gehören z.B. Betonverflüssiger, Fließmittel, Luftporenbildner oder Dichtungsmittel.

Eine besondere Variante stellt der sog. Polymerbeton dar. Hierbei kommen Reaktionsharzformstoffe zum Einsatz, Zement und Wasser werden nicht benutzt. Der starke Verbund von Harz und den Zuschlagstoffen erlaubt die Aufnahme hoher Druck- und Biegespannungen bei geringen Wanddicken und reduziertem Rohrgewicht.

Je nach Zusammensetzung, Erhärtungsgrad und besonderen Eigenschaften kann Beton eingeteilt werden nach

- der Rohdichte (Leichtbeton, Normalbeton, Schwerbeton)
- der Konsistenz (steif, plastisch, weich, fließfähig, selbstverdichtend)
- der Bewehrung (unbewehrt, bewehrt, Stahlbeton, Spannbeton)

In nationalen und internationalen Vorschriften für Beton ist es üblich, Beton nach seiner Druckfestigkeit zu klassifizieren. Die Festigkeitsklasse eines Betons ist zugleich einer der Ausgangswerte für den statischen Nachweis einer Betonkonstruktion.

Am Markt kommen verschiedene Betonprodukte zum Einsatz: Betonrohre mit und ohne Fuß (DN 300–1500), Stahlbetonrohre für besondere statische Belastungen wie z.B. im Bereich von Gleisen, Containerterminals und Autobahnen (DN 300–4000), Eiprofile (300/450–1200/1800 mm), Sonderprofile wie Drachenprofile (DN 1200–3000) oder Rohre mit Trockenwetterrinne (DN 800–3600), Rahmenprofile aus Rechteckrohren, Vortriebsrohre (DN 300–3600), Schachtfertigteile und Sonderbauwerke sowie Betonrohre mit Innenauskleidungen für spezielle Anforderungen.

### 3.2.1.6 Asbestzementrohrleitungen

Quelle: [Roscher et al., 2000]

Zu einer umfassenden Anwendung von **Asbestzementdruckrohren** kam es erst ab 1925, verschiedene Länder bauten Produktionsstätten (in Deutschland 1930). Ab 1930 setzten auch deutsche Städte Asbestdruckrohre ein.

Asbestzementrohre wurden aus einem Asbestzementgemisch hergestellt, welches in dünnen Schichten von etwa 0,1 mm unter hohem Druck auf einem Stahlkern nahtlos aufgewickelt wurde, bis die gewünschte Wanddicke erreicht wurde. Sie wurden ab DN 50 in Baulängen von 4 bis 5 m produziert und zeichneten sich durch geringes Gewicht, gute Verarbeitbarkeit und weitgehende Korrosionsbeständigkeit aus. Korrosionsgefährdung besteht allerdings durch kalkaggressives Wasser und kalkaggressive Böden, gegen Kalkaggressivität wurden sie innen und außen durch Bitumenüberzüge geschützt (bei nicht wasserdichten Rohren trat jedoch Blasenbildung und damit Ablösung der Bitumenschicht auf). Die Verlegung von Asbestzementrohren erforderte

eine einwandfreie Rohrbettung, da sie empfindlich gegen Stoß und Schlag sind und eine geringe Biegezugfestigkeit besitzen.

Als **Rohrverbindungen** wurden Gummigleit-, Gummiroll- und Gummidichtungen verwendet (Kuas-, Simplex-, Gibault-, Magnaniverbindungen u.a.); die Rohrenden durften nicht vollständig zusammengeschoben werden, um die Rohrenden vor Beschädigungen zu bewahren und eine Abwinkelung – bei kleinen Nennweiten bis  $6^\circ$ , bei großen bis  $3^\circ$  – zu gewährleisten.

Seit dem **1. Januar 1995** dürfen Rohre aus Asbestzement nicht mehr hergestellt und verwendet werden; eine Ausnahme besteht bei Abbruch-, Sanierungs- und Instandhaltungsarbeiten.

Asbestzementrohre wurden in der Zeit von 1930 bis 1990 verlegt. In den 80er Jahren standen in der DDR für die Herstellung nur kurzfasrige Asbeste zur Verfügung, so dass die Druckstufe auf PN 6 herabgesetzt werden musste. Diese Rohre waren bruchempfindlicher als die davor hergestellten Rohre, bestanden oftmals Druckproben nicht und in bindigen Böden traten nach längeren Frost- und Trockenperioden Schadenshäufungen auf. Ein Festigkeitsabbau trat weiterhin in Gebieten mit Talsperrenwasserversorgung durch weiches, nicht aufgehärtetes Wasser auf.

### 3.2.1.7 Kunststoffrohre

#### Zur Entwicklung von Kunststoffrohren aus PE

Quelle: [Roscher et al., 2000]

Die „Geburtsstunde“ des Polyethylen geht zurück auf den 27. März 1933. Im Laboratorium der ICI in London entstand bei einer Reaktion mit Ethylen und Benzaldehyd bei  $170^\circ\text{C}$  und 1.400 bar ein weißer, wachsartiger Belag. Im Jahr 1939 begann dann die erste großtechnische Produktion. Durch weitere Verfahrensverbesserungen gelang es, die Polymerisation auch bei niederen Drücken durchzuführen. Mittlerweile gibt es eine Vielzahl an unterschiedlichen Verfahrenstechniken, um Polyethylen herzustellen. Sie unterscheiden sich im Wesentlichen in der Temperatur, dem Druck und den verwendeten Katalysatoren. Das jeweilige Ethylen differenziert sich in der Länge der Makromoleküle und der Verzweigungen, was zu unterschiedlichen Dichten führt. Heutzutage können die Eigenschaften von PE durch Zugabe von Füll- und Verstärkungsstoffen, von Additiven oder Herstellung von Polymermischungen noch gezielt beeinflusst werden.

Voraussetzung für die Herstellung von Kunststoffrohren war die Produktion von Polymeren. Mitte der 30er Jahre gelang es, in industriellem Maßstab aus niedermolekularen Verbindungen durch Polymerisation, Polykondensation bzw. -addition hochmolekulare Produkte nach verschiedenen Verfahren herzustellen.

#### PE-Rohre

Polyethylen wird seit nahezu 60 Jahren eingesetzt (1956 erste Rohrleitung aus PE-LD; Rohrnormung PE-HD und PE-LD 1960). Seit Anfang der 90er Jahre erfolgt der Einsatz von Kunststoffrohren der



3. Generation des Werkstofftyps PE 100. Vernetztes Polyethylen wird seit Mitte der 90er Jahre in der Erdverlegung eingesetzt, nachdem unterschiedliche Vernetzungsverfahren die Vernetzung der Moleküle ermöglichten.

Generell unterscheidet man im Rohrleitungsbau PE-Typen nach dem MRS-Wert:

PE 63 (**PE der ersten Generation** MRS  
= 6,3 N/mm<sup>2</sup>)

PE 80 (**PE der zweiten Generation** MRS  
= 8 N/mm<sup>2</sup>)

PE 100 (**PE der dritten Generation** MRS  
= 10 N/mm<sup>2</sup>)

PE Rohre der dritten Generation aus PE 100 besitzen eine neue Verkettung und zeichnen sich durch einen erhöhten Widerstand gegen schnelle Rissfortpflanzung und eine höhere **Zeitstandsinnendruckfestigkeit** aus. Der Zeitstands-Innendruckversuch wird an einem wassergefüllten, druckbeaufschlagten Rohr im Wasserbad durchgeführt. Als Ergebnis liefern die Zeitstandsversuche die Zeitdauer bis zum Versagen der Prüfrohre bei einer vorgegebenen Vergleichsspannung.

Beim PE 100 wurden durch Fortschritte beim Polymerisationsverfahren (gezielter Einbau von Seitenketten im kristallinen Bereich des PE) höhere Werte der Zeitstandsfestigkeit erreicht, wobei die hochkristallinen Anteile aus kurzen Polyethylenketten eine hohe Steifigkeit ergeben und die langkettigen Anteile dem Material eine hohe Zähigkeit verleihen. Das bewirkt, dass nach bisherigen Versuchsergebnissen an diesen Werkstoffen das langsame Risswachstum kein relevanter Schädigungsmechanismus mehr ist.

Vernetztes Polyethylen (PE-X) unterscheidet sich von normalem Polyethylen besonders in folgenden Materialeigenschaften:

- höhere Temperaturbeständigkeit,
- verbessertes Langzeitverhalten,
- geringere Anfälligkeit gegen Spannungsrisse,
- bessere Chemikalienbeständigkeit und
- höhere Abriebfestigkeit.

Als Verbindungstechniken kommen das Heizwendel-schweißen und Klemmverbinder in Betracht.

Für Polyethylen sind als **Vorteile** Korrosionsbeständigkeit, geringes Gewicht, Biegsamkeit, Verwendung langer Rohre oder auf Trommeln und in Ringbunden transportierte Rohre und damit weniger Verbindungen, schmale Rohrgräben, längskraftschlüssige Verbindungen und sehr glatte Rohrwandungen zu nennen. Als **Nachteile** gelten, dass sich die ertragbaren Spannungen in Abhängigkeit von Temperatur und Betriebszeit verringern und ihre Empfindlichkeit gegen örtliche Spannungsspitzen (scharfkantige Steine oder Verletzungen der Oberfläche) zunehmen.

Für die grabenlose Verlegung von Rohren ist die **Entwicklung von Rohren mit Schutzmantel** von Bedeutung, wobei die PE-Rohre (Produktenrohre) mit einem widerstandsfähigem Schutzmantel aus verstärktem Polyolefin umgeben werden, wodurch eine Beschädigung

des PE-Rohres vermieden wird. Als Variante für die Verlegung in kontaminierten Böden ist ein Mantelrohr mit Aluminium anwendbar (SLA – Safety-Line für Trinkwasser), bei dem eine zusätzliche innenliegende Aluminiumschicht eine dauerhafte zuverlässige Diffusionssperre vorhanden ist.

Für grabenlose Verlegeverfahren in der Wasser- und Gasversorgung (Langrohr-Relining, Berstlining- und Spülbohrverfahren) wurde das SLM-Rohr (Safety-Line-Mantelrohr) entwickelt.

Die Weiterentwicklung des PE 100-Werkstoffs führte in den letzten zehn Jahren zum Werkstoff PE 100-RC, der einen deutlich erhöhten Widerstand gegen langsame und schnelle Rissfortpflanzung und gegen Punktlasten aufweist. Mittlerweile werden rund 20 % der in Deutschland eingesetzten PE 100-Rohre aus dem Werkstoff PE 100-RC gefertigt. Mit der Erarbeitung der PAS 1075 brachten Rohstoff- und Rohrhersteller eine öffentlich verfügbare Spezifikation heraus, die die Eigenschaften, Anforderungen und Prüfverfahren für PE-Werkstoffe und die daraus gefertigten Rohre für alternative Verletechniken beschreibt und als Ergänzung zu bestehenden Normen- und Richtlinienwerken dient.

Für spezielle Anwendungsbereiche haben die Kunststoffrohrhersteller verschiedene Rohrvarianten entwickelt. So kommen bei grabenlosen Verlegeverfahren PE-Rohre mit Schutzmantel (in der Regel PP) zum Einsatz (Empfehlung nach DVGW-Regelwerk, z.B. GW 321 oder GW 323) oder PE-Rohre mit Aluminium-Schicht als Diffusionssperre bei der Verwendung in Altlastenflächen.

Die Verbindung der PE-Rohre erfolgt über Schweißung. Hier unterscheidet man zwischen Heizwendel- und Heizelementstumpfschweißung. Um eine einwandfreie Schweißung zu erzielen, sind nach DVS-Richtlinie verschiedene Parameter und Arbeitsschritte einzuhalten: Entfernen der Oxidschicht, saubere und fettfreie Schweißoberflächen, Schweiß- und Abkühlzeiten, Fügedruck usw.

Zusammenfassend ergibt sich, dass Kunststoffrohre bei normaler Beanspruchung auch in stark aggressiven Böden korrosionsbeständig sind; sie sind jedoch empfindlich bei extremen Auflagerbedingungen. **Schäden** an früher verlegten Rohren sind insbesondere auf schlechte Rohrbettung und spitze Steine unter oder über den Rohren zurückzuführen.

Eine zunehmende Bedeutung erlangen Kunststoffrohre durch die Relining-Verfahren bei der Rehabilitation von Wasserrohrnetzen.

### PE-X - Rohre aus vernetztem Polyethylen

Vernetztes Polyethylen (PE-X) unterscheidet sich von unvernetztem Polyethylen besonders in folgenden Materialeigenschaften: höhere Temperaturbeständigkeit, verbessertes Langzeitverhalten, geringere Anfälligkeit gegen Spannungsrisse, bessere Chemikalienbeständigkeit und höhere Abriebfestigkeit.



### 3. Rohrmaterialien und ihre Eigenschaften



Abb. 3.21: Kunststoffrohrherstellung

Durch ihre Kerbunempfindlichkeit werden sie sowohl bei offenen Bauweisen ohne Sandbettung als auch bei grabenlosen Erneuerungsverfahren eingesetzt; z.B. beim Berstverfahren durch im Boden verbliebene Scherben des Altrohres entstandene Riefen sind unproblematisch.

PE-X-Rohre finden vor allem im Gas- und Wasser-Hausanschlussbereich Anwendung, die Verbindung erfolgt über Heizwendelschweißung.

Die Vernetzung kann chemisch oder physikalisch nach folgenden Verfahren erfolgen:

- Peroxidische Vernetzung (PE-Xa – physikalisch)
- Silanvernetzung (PE-Xb – physikalisch)
- Elektronenstrahlvernetzung (PE-Xc – chemisch)
- Azo-Vernetzung (PE-Xd)

Tab. 3.1: Vernetzungsverfahren und Eigenschaften [Langlouis, 2001]

	Vernetzung	Eigenschaften
PE-Xa	Gemisch aus PE-HD und Peroxid wird unter sehr hohem Druck extrudiert. Bei Abkühlung bilden sich amorphe Strukturen	Kristallinität und die Dichte nehmen durch die Vernetzung ab. Dadurch erhöht sich die Flexibilität
PE-Xb	In Mischextruder werden auf PE-HD-Ketten Silane aufgepfropft. Silanvernetzung erfolgt in separatem Schritt nach Extrusion unter Feuchte- und Wärmeeinwirkung	Kristallinität und die Dichte nehmen durch Nachvernetzung zu. Rohre sind steifer.
PE-Xc	Nach dem Extrudieren der PE-HD-Rohre erfolgt die Vernetzung mittel Elektronen- bzw. ionisierender Gammastrahlung	Aufgrund begrenzte Durchdringungstiefe nur für kleine DN. Steifigkeit und Eigenschaftsbild entsprechen etwa PE-Xb

Als Verbindungstechniken kommen das Heizwendelschweißen und Klemmverbinder bei kleinen DN in Betracht. Da durch die Vernetzung der thermoplastische Charakter des Polymers verloren geht, ist eine Stumpfschweißung nicht möglich. Durch die Stromzufuhr erwärmen sich die Heizwendel aus Metall und plastifizieren in der Fugebene das Verbinder- und Rohrmaterial. Nach dem Abkühlen wird die Endfestigkeit erreicht.

#### Rohre mit Schutzmantel

Die grabenlose Verlegung von Rohren stellt höhere Anforderungen an das Rohrmaterial, so dass die **Entwicklung von Rohren mit Schutzmantel** von großer Bedeutung war und ist. Bei diesem PE-Rohr (Produktenrohre) erhalten diese einen widerstandsfähigen Schutzmantel aus verstärktem Polypropylen, wodurch eine Beschädigung des PE-Rohres vermieden wird. Als Werkstoff für die Produktenrohre werden heute in der Regel PE 100 RC Werkstoffe eingesetzt, welche aufgrund ihrer Polymerstruktur (verbesserte Seitenketten) annähernd die Spannungsrissunempfindlichkeit aufweisen, wie PE-X-Werkstoffe, aber sich stumpf verschweißen lassen.

Als Variante für die Verlegung in kontaminierten Böden ist ein Mantelrohr mit Aluminium anwendbar, bei dem eine zusätzliche, innenliegende Aluminiumschicht eine dauerhafte zuverlässige Diffusionssperre vorhanden ist. Weitere Möglichkeiten sind Rohre mit integriertem Kupferdraht, die dadurch geortet werden können bzw., wenn das elektrische Leiterband helical um das Produktenrohr angeordnet ist, ist auch mittels elektrischer Durchgangsprüfung der Nachweis der Nichtbeschädigung des innen liegenden neuen Rohres nach einem grabenlosen Einbau möglich.

Rohre mit aufaddiertem Schutzmantel besitzen in der Regel einen Schutzmantel aus mineralisch verstärktem Polypropylen, dessen wichtigste Eigenschaft der Schutz gegen Kratzer und Riefen ist. Außerdem besitzt Polypropylen eine wesentlich höhere Abriebfestigkeit gegenüber PE 100. Nach Entfernung des Schutzmantels im Hausanschlussbereich können die Anbindungen z.B. mit Heizwendelschweißen erfolgen.

Zusammenfassend ergibt sich, dass Kunststoffrohre bei normaler Beanspruchung auch in stark aggressiven Böden korrosionsbeständig sind; sie sind jedoch empfind-

lich bei extremen Auflagerbedingungen. **Schäden** sind insbesondere auf schlechte Rohrbettung und spitze Steine unter oder über den Rohren zurückzuführen. Ein Phänomen, welches bei neuartigen PE 100 RC Werkstoffen allerdings nicht mehr auftritt.

Eine zunehmende Bedeutung erlangen Kunststoffrohre durch die hohe Flexibilität, die längskraftschlüssige schlanke Verbindung und die mittlerweile in vielen Varianten angebotenen Rohre mit Schutzschichten insbesondere bei grabenlosen Erneuerungsverfahren wie dem Relining, Berstlining oder Press-Ziehverfahren und gesteuerten Bohrungen.

#### PVC-Rohre

Im Jahr 1835 gelang es dem französischen Chemiker Henri Victor Regnault erstmalig Vinylchlorid herzustellen, das unter Einfluss von Sonnenlicht ein weißes Pulver bildete. 1935 begann in Bitterfeld die großtechnische Herstellung von Hart-PVC bei Temperaturen von 160 °C.

Die **PVC-Rohrfertigung begann Mitte der 30er Jahre** mit dem Werkstoff Hart-PVC zunächst für die chemische Industrie, wurde aber durch den 2. Weltkrieg unterbrochen. Entwicklungsarbeit wurde insbesondere in den Niederlanden geleistet. Eine aus dem Jahre 1938 stammende Hausanschlussleitung für die Trinkwasserversorgung ist in den Berliner Wasserbetrieben noch heute in Betrieb. Kunststoffrohre aus Hart-PVC wurden erst zu Beginn der 50er Jahre wieder eingesetzt, obwohl die Normung in DIN bereits 1941 erfolgt war. In den folgenden 15 Jahren nahm die Verlegung von PVC-Rohren ständig zu (in der DDR ab 1967 nur noch PVC-100 mit einer Dauerzeitstandfestigkeit 100 kp/cm<sup>2</sup>).

PVC ist ein vorwiegend thermoplastischer Werkstoff. PVC ist ein Polymer des Vinylchlorids, welches aus Ethylen (aus Erdöl oder Erdgas) und Chlor (aus NaCl) hergestellt wird und dem für die Rohrherstellung Wärmestabilisatoren und Gleitmittel zugesetzt werden. Für die Rohrherstellung wird fast ausschließlich PVC aus der Suspensionspolymerisation verwendet, das zur Erzielung der Eigenschaftsprofile mit Zugschlagstoffen (Stabilisatoren, Gleitmittel, Pigmenten usw.) versehen wird. Für die Herstellung von Rohren und Formstücken wird dem Werkstoff kein Weichmacher hinzugefügt,



daher spricht man von PVC-U (unplasticised Plastic). PVC-U besitzt eine hohe Härte und Formstabilität bei gleichzeitig sehr guter chemischer Beständigkeit. Man unterscheidet zwischen kerngeschäumten Rohren und Vollwandrohren. Bei den kerngeschäumten Rohren wird der Zwischenraum mit z.B. Grafit „verfüllt“, während bei Vollwandrohren die komplette Wandung aus einem Material besteht.

PVC-Rohre zeichnen sich durch gute mechanische Festigkeitswerte, gute Stabilität und Lebensdauer sowie hohe Widerstandsfähigkeit gegen Umgebungseinflüsse, geringes Gewicht und einfache Verlegetechnik aus, stellen jedoch an die Verlegung und Nutzung besondere Anforderungen. Wechselnde Zug-Druck-Spannungen führen zu Ermüdungsbrüchen (möglichst konstanter Innendruck). Während des Transports und der Verlegung sollten die Rohre nicht durch Kratzer und Einkerbungen geschädigt werden. Eine Verlegung sollte bei Temperaturen unter 0 °C nicht erfolgen (mit sinkender Temperatur spröde). PVC-Rohre sollten Witterungseinflüssen, besonders der Sonneneinstrahlung, nicht ausgesetzt werden. Die Längenänderungen durch Temperaturschwankungen sind bei der Verlegung zu beachten (höher als bei metallischen Rohren). Da heute Kontaminationen der Böden nicht mehr auszuschließen sind, spielt ihre **Widerstandsfähigkeit** gegen Säuren, Laugen und wässrige Lösungen eine wichtige Rolle. Aromatische und chlorierte Kohlenwasserstoffe sowie Äther und Ester bewirken jedoch eine Quellung und Erweichung der Rohrwand. Die hydraulischen Eigenschaften (glatte Rohrwand) ändern sich über eine lange Zeitdauer kaum, so dass der niedrige  $k_p$ -Wert über die gesamte Betriebszeit erhalten bleibt.

Als **Rohrverbindungen** kommen gummigedichtete elastische Steckmuffenverbindungen, Flanschverbindungen (nur geklebt) und Klebeverbindungen zur Anwendung. Ein umfangreiches Formstückangebot stand zur Verfügung.

### Polypropylen (PP)

Die Entwicklung des Polypropylens ist eng mit der des Polyethylens verknüpft. 1956 gelang es G. Natta aus Propen, ein hochkristallines, bis zu 95 % isotaktisches Polypropylen herzustellen. In Abhängigkeit von der Abkühlgeschwindigkeit und Nukleierung können die Eigenschaften von PP stark beeinflusst werden. Für die Produktion von PP-Rohren werden heute drei PP-Typen verwandt:

- Homopolymere (PP-H)

- Blockcopolymere (PP-B)
- Random-Copolymere (PP-R).

Das PP-H hat eine hohe Wärmeverformbeständigkeit und eine hohe Festigkeit. Bei Temperaturen unter 0 °C verhält sich der Werkstoff sehr spröde; die Schlagzähigkeit kann durch bestimmte Nukleierungstechniken aber erhöht werden. Haupteinsatzgebiete sind Hausabflussleitungen, Lüftungsleitungen und Abgasleitungen.

PP-B hat eine erhöhte Schlagzähigkeit gerade bei niedrigeren Temperaturen. Durch den Einsatz der sog. Mehrreaktortechnologie wird eine gummiartige Ethylen/Propylen-Phase fein verteilt in die PP-H-Matrix eingebunden, so dass der Werkstoff ein ausgewogenes Verhältnis von Zähigkeitsverbesserung und gleichzeitiger guter Steifigkeit erhält (hochmoduliges PP-HM). PP-HM ist besonders geeignet für den Einsatz im Abwasserbereich.

PP-R besitzt eine höhere Zähigkeit bei niedrigerer Festigkeit und Härte. Im Vergleich zu den beiden anderen PP-Typen hat PP-R eine höhere Wärmealterungsbeständigkeit. Hauptanwendungsgebiete sind Hausinstallation (warm und kalt) sowie Industrierohrleitungen.

Für den Einsatz beim TIP- oder beim Berstverfahren wurde eine spezielle Steckverbindung entwickelt – die Multi-Raster-Schweißverbindung. Dabei handelt es sich um eine Kombination aus Steckverbindung und Heizwendelschweißung. Es entsteht ein stoffschlüssig verbundenes, dichtes Rohrsystem.

### 3.2.1.8 Einteilung der Rohrmaterialien nach Generationen

Aufgrund der Rohrerstellung des Korrosionsschutzes, der Zeitstandsfestigkeit usw. lässt sich eine Einteilung nach Generationen vornehmen. So unterteilte Roscher in [Roscher et al., 2000] alle vorgenannten Rohrmaterialien nach diesen Kriterien. Aus diesen können Rückschlüsse hinsichtlich des Zustandes liegender Rohrmaterialien gezogen werden. Weitere Zustandsmerkmale sind Rohrverbindungen, welche in bestimmten Verlegeperioden eingesetzt wurden, wie Stemmuffen-, Schraubmuffenverbindungen, welche zu Schäden führten.

In *Kap. 4 Sanierung und Erneuerung von Wasserversorgungsnetzen* werden herstellungsbedingte, Verlege- und Montagefehler, technische und biologische Alterungsprozesse, natürliche Bodenbewegungen sowie Betriebs- und Rohrnetzfehler als Ursachen für die Schadensentstehung angegeben.



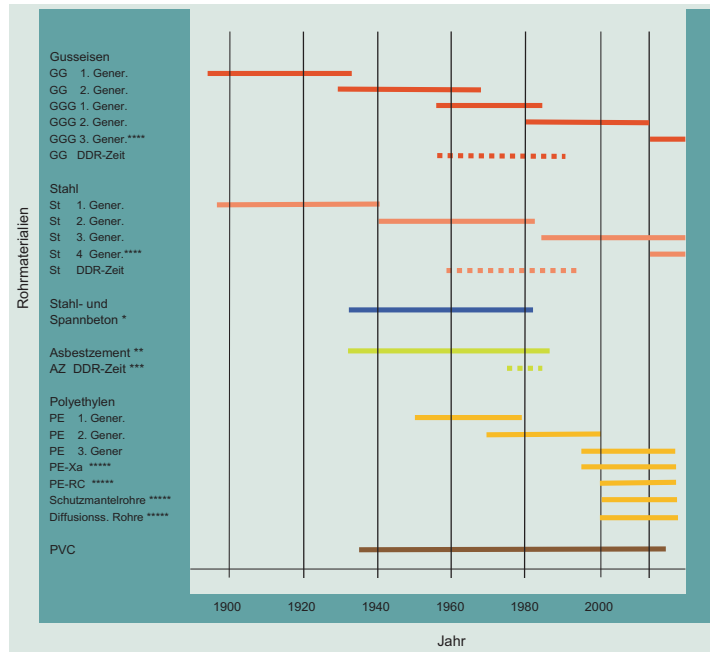


Abb. 3.22: Herstellungszeiträume [DVGW, 2012]

Tab. 3.2: Zeittafel Gussrohrherstellung

	1850	1900	1920	1940	1960	1980	2000	
Herstellungsverfahren	Guss einzelner Rohre in stehenden Sandformen							
	<u>GG 1. Gener.:</u> 1885 in stehenden Sandformen auf einem Drehgestell (Bildung einer Schutzschicht aus SiO <sub>2</sub> )							
	<u>GG 2. Gener.:</u> 1926 Schleudergussverfahren von de Lavaud in liegenden rotierenden Metallformen							
	<u>GGG 1. Generation:</u>			1951 duktiler Guss in Europa		1956 duktiler Guss in der BRD		etwa 1980 duktiler Guss in der DDR
	<u>GGG 2. Generation:</u> ab etwa 1980 in der BRD duktiler Guss mit erhöhtem Korrosionsschutz							
Rohrverbindungen	die anfangs verwendete Flanschverbindung wurde durch die Stemmuffe abgelöst							
	Muffenverbindung (Teerstrick, Blei-Stemmuffe)							
	um 1900 für geringe Drücke: Kautschukring							
	1931 Schraubmuffenverbindung für höhere Betriebsdrücke (Gummidichtung)							
	1936 Stopfbuchsenverbindung							
Korrosionsschutz	Erwärmung der Rohre auf 150 bis 180 °C in kochende Asphaltmasse getaucht, dünner gleichförmiger Überzug							
	(bei Verlegung in aggressiven Böden: Einbettung Lehm und Ton)							
	innen und außen asphaltiert							
	<u>Stand 1980:</u> Bitumen-Beschichtung oder Polyethylen-Umhüllung oder bei großen Rohren in Wickelextrusionsverfahren							
	etwa 1965: werkseitige ZM-Ausschleuderung, FZM-Umhüllg. Korrosionsschutz heutiger Stand: siehe oben							

3. Rohrmaterialien und ihre Eigenschaften

Tab. 3.3: Zeittafel Stahlrohrherstellung

	1850	1900	1920	1940	1960	1980	2000
Herstellungsverfahren	1845 geschweißte Blechrohre in Maul (Eifel) 1860 Fertigung nach Düsseldorf verlegt 1886 nahtlose Stahlrohre durch Schrägwalzen  1950 Schrägwalzen, Pilgern Stopfenwalzen, Pressen  1980 – 2000 * *Nahtlose Rohre Mannesmann-Schrägwalz-Pilgerschrittverfahren, Stopfenwalzverfahren, Rohrkontiverfahren Geschweißte Stahlrohre nach Unter-Pulver-Schweißverfahren, Hochfrequenz-Induktiv-Schweißverfahren, Schutzgas-Schweißverfahren, Fretz-Moon-Verfahren						
Rohrverbindungen	Muffenverbindung (Hanfstrick, Blei-Stemmmuffe) Muffen- und Flanschverbindungen  Flanschverbindungen Schweißverbindungen (Stemmmuffe nicht mehr angewandt) Gummidichtende Verbindungen						
Korrosionsschutz	in Bitumen getaucht, Rotation des Rohres ca. 2 mm dicke Schichten  um 1930 Jutierte Stahlrohre (innen und außen asphaltiert und mit in heißen Asphalt getauchten Jutestreifen umwickelt) um 1950 in Bitumen getaucht, erhöhter Außenschutz durch 2. Arbeitsgang imprägnierte Wollfilzpappe spiralförmig umwickelt  wesentliche Weiterentwicklungen in den letzten 20 Jahren innen mit Epoxidharz oder Zementmörtel, außen mit Polyethylen-Umhüllung (z.B.: elektrostatische Primerbeschichtung mit Epoxidharz, Kleberbeschichtung und Polyethylen-Umhüllung nach dem Schlauchextrusionsverfahren sowie zusätzlichem mechanischen Schutz durch Faserzement-Umhüllung)						

Tab. 3.4: Zeittafel Kunststoffrohrherstellung

	1930	1940	1950	1960	1970	1980	1990	2000
Herstellungsverfahren	Mitte der 30er Jahre: Produktion hochmolekularer Verbindungen durch Polymerisation, Polykondensation bzw. Addition aus niedermolekularen Verbindungen 1935 PVC-Rohrfertigung in Bitterfeld für chemische Industrie, 1941 bereits Normung in der DIN nach dem 2. Weltkrieg: Produktion von PVC-H von 1962 bis 1982 verlegt mit Doppelklebemuffen-Klebeverbindung, mit angeformten Klebemuffen 1956 PE-LD (low density) 1960 PE-HD (high density) PE-Rohre PE 63 (PE der ersten Generation bis 1979) PE 80 (PE der zweiten Generation ab 1980) PE 100 (PE der dritten Generation ab 1995) vernetztes PE Xa ab 1995 Schutzmantelrohre ab 2000 PE-RC ab 2000							
Zusätzlicher Schutz gegen Diffusion und Beschädigung	Mantelrohre mit zusätzlicher Alu-Schicht als Diffusionsschutz oder für grabenlose Verfahren (SLA und SLM-Rohre)							
Rohrverbindungen	Klebeverbindungen Schweißverbindungen							

### 3.2.2 Zum Problem der Korrosion und der Alterung

#### 3.2.2.1 Das Phänomen der Korrosion

Allgemein bekannt ist, dass es in Indien eine gusseiserne Säule gibt, welche nicht „rostet“. Allgemein geht man auch davon aus, dass Stahl leicht korrodiert und Guss korrosionsträge ist.

Deshalb ist es verständlich, dass sich einerseits die Stahlrohrindustrie frühzeitig mit Fragen des Korrosionsschutzes beschäftigte, andererseits auch die Gussrohrindustrie, die mit der Entwicklung des Duktulgusses die Korrosionsträgheit von Guss mit ertragbarer hoher Biegezugspannung erreichen wollte (Kap. 3.2.1.2 *Gussrohre*).

Durch unzureichenden Korrosionsschutz von Duktulgussrohrleitungen aus der Produktionszeit vor 1970 (GGG 1. Generation) in den alten Bundesländern traten und treten auch gegenwärtig noch zahlreiche Schäden auf, so dass dem Korrosionsschutz auch bei Duktulgussrohren eine hohe Priorität zukommt. Bereits mit der Einführung des Schleudergießens (1926) und dem Wegfall der Korrosionsschutzschicht (durch Wegfall des Gießandes) änderten sich die Korrosionseigenschaften von Gussmaterial.

Dem Korrosionsschutz kommt deshalb sowohl werkseitig als auch auf der Baustelle ein hoher Stellenwert zu.

#### 3.2.2.2 Korrosion metallischer Rohrleitungen

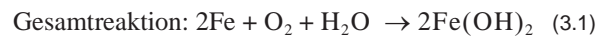
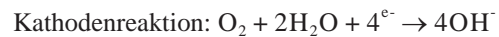
Wesentliche Schadensursache metallischer Rohrleitungen ist die Korrosion, der in vielen Fällen die Zerstörung des passiven Korrosionsschutzes vorausgeht. Eine besondere Form der Korrosion bei Gussrohren ist die Graphitierung (auch als Spongiose bezeichnet), s. auch Kap. 3.2.2.5 *Graphitierung bei Graugussleitungen*.

Korrosion erdverlegter Rohrleitungen kann nur dann erfolgen, wenn Wasser und Sauerstoff vorhanden sind (aus der Luft oder gelöst in Bodenelektrolyten) und Zutritt zur Rohroberfläche haben und wenn die Elektronenübergänge der einzelnen Teilreaktionen ablaufen können.

Demzufolge sind Wasser und Sauerstoff von der Metalloberfläche der Rohrleitung fernzuhalten, so dass der Elektronenfluss verhindert wird und die chemischen Reaktionen der Korrosion nicht ablaufen können.

In der Praxis ist die vollständige Umhüllung der Rohrleitung aus Materialien erforderlich, die eine extrem geringe Permeabilität für Sauerstoff und Wasser aufweisen und die über einen sehr hohen elektrischen Widerstand verfügen.

Formel 3.1: Chemische Reaktionen bei der Korrosion:



Zu unterscheiden sind folgende Korrosionsformen:

- *Flächenkorrosion*: der metallene Werkstoff wird gleichmäßig abgetragen,
- *Muldenkorrosion*: sie weist auf Elementbildung am Rohr hin, wobei der Bereich der Mulde als Anode, die Umgebung als Kathode wirkt,
- *Lochkorrosion*: kraterförmige Durchrostungen der Rohrwand.

**Außenkorrosionsschäden** bei erdverlegten Guss- und Stahlleitungen gehen Schäden an der Umhüllung voraus.

**Innenkorrosionsschäden** treten bei Abtragung der in Rohrleitungen früher eingebrachten Bitumen- oder Asphaltsschicht auf, so dass Wasser und Sauerstoff mit der Metalloberfläche reagieren können.

Von wesentlichem Einfluss auf die Korrosion sind bei ungeschützten Rohren Boden und Grundwasser (siehe dazu Abb. 3.24). Rohre bedürfen deshalb des äußeren Korrosionsschutzes (siehe dazu Abb. 3.25).

Als **passiver Korrosionsschutz** wird der werkseitige Korrosionsschutz bezeichnet (Nachumhüllung auf der Baustelle Hauptproblem), als **aktiver Korrosionsschutz** wird der **kathodische Korrosionsschutz** (aufgezwungene Potenzialänderung, kathodischer Korrosionsschutz).

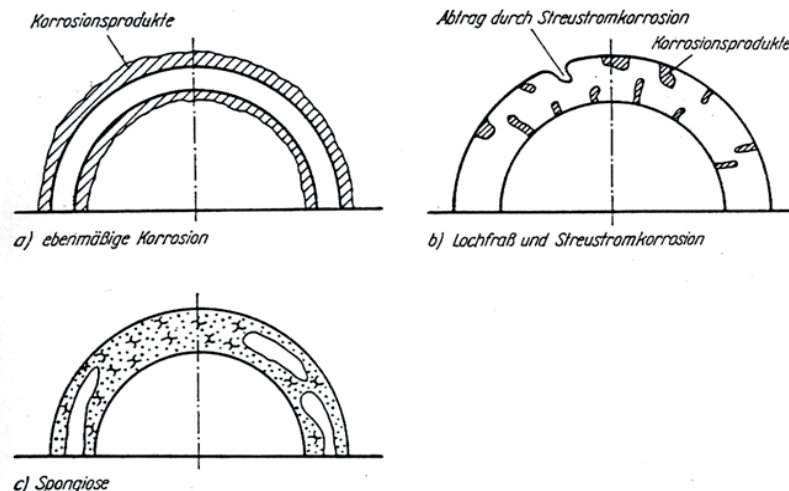


Abb. 3.23: Erscheinungsformen der Korrosion [Böhm, 1993]



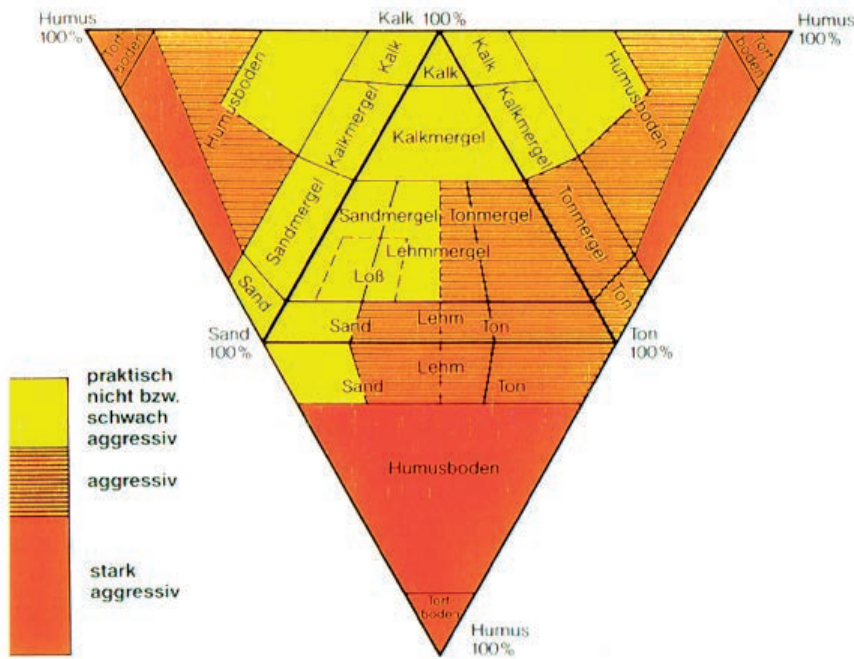


Abb. 3.24: Aggressivität verschiedener Bodenarten gegenüber Eisenwerkstoffen [FGR, o.J.]

### 3.2.2.3 Elektrochemisch bedingte Korrosion

Zur **elektrochemisch bedingten Korrosion** stellte [Skarda, 1993] fest, dass

- Rohrleitungen in der Nähe von Gleichstrombahnen (Straßenbahn, Obusse), Schweißwerkstätten und anderer geerdeter Gleichstromverbraucher durch Streustromkorrosion zerstört werden können,
- an Fehlstellen der Rohrumhüllung (anodischen Bereich) Strom austritt und demzufolge an der Rohrleitung Mulden- und Lochkorrosion entsteht (die Vertiefungen sind meist frei von Korrosionsprodukten, weil das metallische Eisen weggetragen und außerhalb der Mulde oxidiert wird),
- an Bögen und in den lichten Querschnitt hineinragenden Teilen, z.B. an Messblenden, Erosion beobachtet wird (mechanischer Abtrag).

Die *Außenkorrosion* wird durch das Zusammenwirken vieler mitbestimmender Faktoren wie aggressiver Böden, Streuströme, galvanische Verbindungen zu Fremdkathoden etc. verursacht. ... (in der Schweiz seit 1991 wirksamer Außenschutz und Streustromursachenbekämpfung).

### 3.2.2.4 Korrosionsschutz heute

Neue Rohrmaterialien aus duktilem Gusseisen mit Verzinkung, ZM-Auskleidung und Außenschutz mit Faserzement eignen sich auch für die Verlegung in steinigten Böden, ebenso Stahlrohre mit ZM-Auskleidung und Außenschutz.

Die *Tab. 3.7* und *Tab. 3.8* enthalten Werte über die Korrosionsgeschwindigkeit nicht geschützter Stahl- und Gussrohrleitungen.

Ebenfalls ist auf den inneren Korrosionsschutz zu achten, der vom Durchflussmedium Wasser abhängig ist (siehe dazu *Abb. 3.25* und W 343 [DVGW, 2005a] und W 346 [DVGW, 2000d]).

Untersuchung	Angriffsgrade		
	schwach angreifend	stark angreifend	sehr stark angreifend
1 pH-Wert	6,5 bis 5,5	5,5 bis 4,5	unter 4,5
2 Kalklösende Kohlensäure (CO <sub>2</sub> ) in mg/l best. mit dem Marmorversuch nach Heyer	15 bis 30	30 bis 60	über 60
3 Ammonium (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> ) in mg/l	100 bis 300	30 bis 60	über 60
4 Magnesium (Mg <sup>2+</sup> ) in mg/l	200 bis 600	300 bis 1500	über 1500
5 Sulfat (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ) in mg/l	200 bis 600	600 bis 3000	über 3000
Wassereindringtiefe in mm (DIN 1048, Teil 1)	< 50	< 30	besondere Schutzschichten
W/Z-Wert	< 0,60	< 0,50	
Sulfatgehalt des Wassers > 400 mg/l	HS-		
HS-Zemente z. B. HOZ NWHS (Einsatzbereich pH 6,5 bis 12)			
Tonerdezement (Einsatzbereich pH 4,5 bis 10)			
Zementgebundene Auskleidungen nicht zu empfehlen			

Abb. 3.25: Einsatzbereiche von Zementmörtelauskleidungen [FGR, o.J.]

Tab. 3.5: Einsatzbereiche für den äußeren Korrosionsschutz von erdverlegten Rohrleitungen aus duktilem Gusseisen [FGR, o.J.]

Lfd. Nr.	Umhüllung mit	Schichtdicke [mm]	Einsatzbereich	
			Dauerbetriebstemp. [°C], max.	Bodenklasse <sup>2)</sup>
1	Polyethylen nach DIN 30674, Teil 1 [DIN, 1982]	1,8 bis 3,0 je nach Nennweite	50	1,2,3
2	Zementmörtel <sup>1)</sup> nach DIN 30674, Teil 2 [DIN, 1992]	5,0	50	1,2,3
3	Zink-Überzug mit Deckbeschichtung nach DIN 30674, Teil 3 [DIN, 2001a]	≥ 0,09 (Zinkauflage ≥ 130 g/m <sup>2</sup> )	50	1,2
4	Beschichtung mit Bitumen nach DIN 30674, Teil 4 [DIN, 1983]	Mittelwert 0,07 an keiner Stelle < 0,05	50	1
5	Polyethylen-Folienumhüllung <sup>3)</sup> nach DIN 30674, Teil 5 [DIN, 1985a]	≥ 0,2	50	1,2,3

<sup>1)</sup> Bei Verlegung in stark sauren Böden (verschiedene Moorböden) sowie in Deponiebereichen ist der Rohrhersteller zu befragen.

<sup>2)</sup> Die Einflussgröße nach Abschnitt 3, Aufzählung b, ist zu beachten.

<sup>3)</sup> Steinfreie Einbettung erforderlich, die Festlegungen im Abschnitt 4.1 sind zu beachten.

Tab. 3.6: Hinweise für die Beurteilung des Rohrwerkstoffes [Böhm, 1993]

Zustandsnote	Beurteilung	Erscheinungsformen	vorgeschlagene Maßnahmen
1	gut erhalten	Flächenkorrosion und/oder Zerstörung der Umhüllung < 5% an der Rohroberfläche, keine Lochkorrosion, keine Graphitierung, keine Anrisse	keine
2	Erhalten	Flächenkorrosion und/oder Zerstörung der Umhüllung < 30 % an der Rohroberfläche, Lochkorrosion < 5 mm Durchmesser, keine Graphitierung, keine Anrisse	Auskleiden
3	Zerstört	Flächenkorrosion und/oder Zerstörung der Umhüllung > 30 % an der Rohroberfläche, Graphitierung, Lochfraß > 5 mm Durchmesser, Anrisse	Neubau oder Einziehen von Rohren kleinerer Nennweiten

Tab. 3.7: Korrosivitätsgrade für Stahl- und Gussrohrleitungen [Böhm, 1993]

Pos	Gesamtsalzgehalt der Lösung in und um die Rohrleitung bei O <sub>2</sub> -Sättigung 75 mg/l	Spezifischer elektrischer Widerstand % Ω m	pH-Wert		
			< 5	5 bis 9	> 9
			Korrosivitätsgrad		
	1	2	3	4	5
1	< 400	> 200	2	1	1
2		200 bis 100	3	2	
3		100 bis 20	4	3	
4	400 bis 500	20 bis 10	5	4	2
5	500 bis 200	10 bis 5	6	5	3
6	2.000 bis 5.000	5 bis 2	7	6	4
7	5.000 bis 10.000	2 bis 1	8	7	5
8	10.000 bis 20.000	1 bis 0,5		8	6

Tab. 3.8: Korrosionsgeschwindigkeiten an Stahlrohrleitungen [Böhm, 1993]

Korrosion		ME	Korrosivitätsgrad							
Form	Art		4	5	6	7	8	9	10	11
1	2	3								
innen	Ebenmäßig	bis mm pro Jahr	0,01			0,02	0,03	0,06	0,11	0,15
	Lochfraß		0,06			0,07	0,08	0,10	0,20	0,35
außen	Ebenmäßig		0,01				0,020	0,04	0,08	0,10
	Lochfraß		0,05				0,15			

### 3.2.2.5 Graphitierung bei Graugussleitungen

Quelle: [Kottmann, 1989]

Eine Besonderheit bei Graugussleitungen (GGL) ist die Graphitierung oder Spongiose (Schwamm). Bei der Graphitierung wird in salzreichen, sauren und sauerstoffarmen Böden das metallische Eisen aus dem Werkstoff herausgelöst. Das Gerüst aus korrosionsbeständigen Graphitlamellen, Phosphiden und Sulfiden bleibt in der Form des Rohrs zurück.

Die Festigkeit des Rohres nimmt stark ab, so dass es hohem Innendruck nicht mehr standhält. Graphitierte Bereiche lassen sich mit dem Messer ausschneiden. Graphitierung kann auch durch das Trinkwasser auf der Innenseite des Rohres hervorgerufen werden.

Graphitierung ist eine besondere Korrosionsart:

- Eisen bildet die Anode, Graphit die Kathode (vgl. Trockenbatterie);
- an der Grenzschicht der Anode gehen positive Metallionen in Lösung, im Metall entstehen ein Überangebot aus negativen Elektronen und ein negatives Potenzial;
- dieses zieht die positiven Ionen der Grenzschicht an, verhindert den weiteren Austritt weiterer Ionen und lässt den Vorgang zum Stillstand kommen;
- wenn das Überangebot an Elektronen laufend abfließt, z.B. über elektrisch leitende Verbindungen mit einem positiven edleren Metall oder Graphit, treten von neuem positive Metallionen aus;
- an der Kathode können, je nach Element, verschiedene chemische Reaktionen ablaufen, es handelt sich immer um elektronenverbrauchende Vorgänge (in der Chemie: Reduktion);
- an der Anode wird stets Metall oxidiert; der Elektrolyt hat die Aufgabe, die Ionen zu transportieren, die metallene Verbindung zwischen den Elektroden leitet die Ionen;
- bei erdverlegten Leitungen dient die Bodenfeuchtigkeit als Elektrolyt;
- je nachdem, welche Salze gelöst sind, läuft die Korrosion schnell ab oder kommt nach einiger Zeit zum Stillstand;
- wenn schwerlösliche Verbindungen ausfallen, bilden sich passivierende Deckschichten, die den Wegtransport der Eisenionen behindern oder unterbinden;
- schützende Deckschichten entstehen, wenn die Korrosion unter Anwesenheit von genügend Sauerstoff anläuft, was in gut belüfteten Böden stets der Fall ist;
- bei Sauerstoffmangel ist dieser Vorgang wenig ausgeprägt; das Gusseisen graphitiert.

Wie erkennt man Spongiose?

- Bruchstellen sind blank und rosten rotbraun an, die „kranken“ Bereiche erscheinen matt oder bleiben schwarzgrau (Umwandlung des Gusseisens);

- Eisen löst sich auf: zurück bleiben Graphit, Eisen/Phosphor- und Eisen/Sauerstoffverbindungen (Abb. 3.13).

### 3.2.2.6 Korrosion bei Asbestzement- und Betonrohren

Als Korrosion werden auch Erscheinungen bei Asbestzement- und Beton- bzw. Stahlbetonrohren bezeichnet.

Bei **Asbestzementrohren** kann in kalkaggressiven Wässern der Kalkanteil des Bindemittels Zement entzogen werden, d.h., der Verbund zwischen Asbest und Zement wird zerstört, so dass nur noch die beständigen Asbestfasern übrig bleiben.

**Betonrohre**, die mit kalkreichem Zement hergestellt und nicht besonders geschützt worden sind, werden von aggressiven Wässern durch Herauslösen von Kalk aus dem Bindemittel zerstört. Der Vorgang wird durch das Vorhandensein aggressiver Kohlensäure beschleunigt.

In weichen Wässern besteht eine besondere Gefahr, wobei Alkalichloride die Korrosionsgeschwindigkeit steigern, dagegen Kalziumsalze sie senken.

Auflösungs- und Auswaschungserscheinungen werden durch Poren im Beton (ungenügende Verdichtung) begünstigt.

Betonrohre, die mit kalkreichem Zement hergestellt und nicht besonders geschützt worden sind, werden von aggressiven Wässern durch Herauslösen von Kalk aus dem Bindemittel zerstört. Der Vorgang wird durch das Vorhandensein aggressiver Kohlensäure beschleunigt, in weichen Wässern besteht eine besondere Gefahr.

Alkalichloride steigern die Korrosionsgeschwindigkeit, Kalziumsalze senken sie. Auflösungs- und Auswaschungserscheinungen werden durch Poren im Beton (ungenügende Verdichtung) begünstigt.

### 3.2.2.7 Zeitstandsfestigkeit und Versprödung von Kunststoffrohren aus PE und PVC

Bei PVC und PE-Rohren muss mit zunehmender Liegezeit mit einer Festigkeitsabnahme gerechnet werden. Als Zeitstandsfestigkeit wird die ertragbare Spannung als eine Funktion der Zeit und der Temperatur bezeichnet, unter Spannung kriecht der Werkstoff zunächst erheblich, später kaum merklich.

Die heute gefertigten Rohre werden auf Zeitstandsfestigkeit geprüft. Die vor Jahren gefertigten Kunststoffrohre sind teilweise vorzeitig versprödet.

Schäden können durch Steine entstehen, welche bei der Baugrubenverfüllung eingebracht worden sind, über die Zeit sich eindrücken und dadurch eine Kerbwirkung und damit einen Schaden hervorrufen.

Spannungshäufungen treten durch ungünstige Formgebung auf. Schäden als Folge von Schmutzeinschlüssen in der Rohrwand und infolge ungleicher Abkühlung sind ebenfalls bekannt.

PVC ist spröder als PE, so dass heute PE bevorzugt wird.



Tab. 3.9: Zustand der Rohrwerkstoffe nach [Böhm, 1993]

Rohrwerkstoff	Beschreibung des Zustandes				
	Außen		Innen		
	Rohrwand	Umhüllung	Rohrwand	Auskleidung	Querschnittsveränderungen
Stahl (St)	Flächenkorrosion, Muldenkorrosion, Lochkorrosion	rissig Fehlstellen	Flächenkorrosion, Muldenkorrosion, Lochkorrosion	rissig Fehlstellen	fest haftende Ablagerungen
Grauguss (GG)	Graphitierung		Graphitierung		fest haftende Ablagerungen
Duktiles Gusseisen (GGG)	Korrosion		Kalkauflösung		
Asbestzement (AZ)	Kalkauflösung		Betonkorrosion		
Beton (Stahlbeton/Spannbeton – StB/StB)	Betonkorrosion		Anrisse		
PE, PVC	Anrisse				

### 3.3 Zur Entwicklung der Rohrleitungstechnik für die Gasversorgung [Roscher]

#### 3.3.1 Rohrmaterialien und Schlauchliner

(Rohrmaterialien – Herstellung, Rohrverbindungen und Korrosionsschutz siehe *Kap. 3.2 Rohrmaterialien und Herstellung (Produktion und Eigenschaften) [Roscher]*. Bezüglich der Literatur werden für den folgenden Abschnitt [Cerbe, 1999], [DVGW, 1999b] und [Hüning und Homann, 1997] genannt.)

Als Rohrmaterialien werden heute **Stahlrohre (Fernleitungen) und Kunststoffrohre** (Ortsnetze) eingesetzt. Die Zunahme des Kunststoffrohreinsatzes ist insbesondere auf die niedrigen Materialpreise bei kleinen Nennweiten und die Möglichkeiten der Verlegung in schmalen Rohrgräben (vom Rohrbund oder auch als Langrohr) zurückzuführen.

**Graugussrohre** werden heute nicht mehr in der Gasversorgung eingesetzt (in den alten Bundesländern bis etwa 1967), haben aber bei der Rehabilitation von Gasrohrnetzen ihre Bedeutung noch nicht verloren. In sie werden PE-Rohre nach verschiedenen Verfahren und Schlauchliner bei entsprechenden statischen Voraussetzungen eingezogen. In diesen sind deshalb auch die o.g. Stemm-Muffenverbindungen und Schraubmuffenverbindungen anzutreffen.

In den 50er Jahren wurden in der Gasversorgung anstelle der Graugussrohre Duktulgussrohre eingesetzt (1967 Vereinbarung zwischen DVGW und Fachgemeinschaft Gusseiserne Rohre anstelle Grauguss-Duktulgussrohre einzusetzen), deren Nachteil aber gegenüber Stahlrohren in der größeren Wanddicke und damit

höheren Massen sowie in den geringeren Herstellungslängen besteht.

Bei Stahlrohren werden längskraftschlüssige Schweißverbindungen und gummigedichtete Muffenverbindungen angewandt. Als äußeren Korrosionsschutz erhalten Stahlrohre Beschichtungen aus Epoxidharz-Primer, Haftvermittler, Polyethylen und Faserzementmörtel (letztere für die Rohrlegung auch in steinigem Boden, wenn man auf eine Sandbettung verzichtet).

Innen bleiben Gasleitungen entweder unbehandelt (heute „trockenes“ Gas) oder werden zur Erhöhung der Transportleistung mit Epoxidharz beschichtet. Korrosive Einflüsse vom zu transportierenden Medium sind nur in Ausnahmefällen zu erwarten.

Bei Kunststoffrohren kommt PE-Rohr als PE 80 oder PE 100 zum Einsatz, wobei PE 100 bessere mechanische Eigenschaften als PE 80 besitzt. Als neue Kunststoff-Werkstoffe sind in den letzten Jahren PE-Xa und SLM-Rohre hinzugekommen.

Das in der Gasversorgung anfangs eingesetzte PVC-Rohrmaterial (ab 1949) wird heute nicht mehr eingesetzt (begrenzte Widerstandsfähigkeit gegenüber Kohlenwasserstoffen sowie schlechtere mechanische Eigenschaften als PE-Rohre) und wurde Ende der 60er Jahre von Rohrmaterialien aus PE-HD abgelöst.

Da Kunststoffe bei Temperaturunterschieden große Längenänderungen aufweisen, muss sowohl bei der Rohr-Neuverlegung als auch bei der Rehabilitation auf diese geachtet werden. Beim PE-Rohreinzug ist die Rückstellung auf die Ausgangslänge zu berücksichtigen und es müssen längskraftschlüssige Schweißverbindungen eingesetzt werden. Kunststoffrohre sollten wegen der Alterung nicht im Freien gelagert werden.

Tab. 3.10: Gasverteilung – SDR-Reihen – zul. Bauteilbetriebsdrücke – Gas/Wasserinfo Nr. 14 [DVGW, 1999a)]

	PE 80	PE 100	PE-Xa
SDR 11	4 bar	10 bar	8
SDR 17	1 bar	4 bar	–
SDR 17,6	1 bar	–	–
farbige Kennzeichnung	gelb oder schwarz mit gelben Streifen	orange-gelb oder schwarz mit orangegelben Streifen	gelb

Die Materialeigenschaften von Kunststoffrohren aus PE begünstigen ihren Einsatz bei der Rehabilitation von Rohrnetzen. Kunststoffrohre können sowohl als tragende als auch nicht tragende Rohrleitungen in Altröhre eingezogen werden (bei der Wandstärkenbemessung zu beachten!).

Die zweite verfahrensbedingte Entwicklung im Kunststoffrohbereich sind Schlauchliner, mit denen heute das Gewebeschlauchreliningverfahren (früher auch Foli-Relining) durchgeführt wird.

Voraussetzung für das Gewebeschlauchverfahren ist ein statisch tragfähiges Altrrohr, in das nach dem sog. Umstülpverfahren Gewebeschläuche eingebracht werden. Die aus einem Grundgewebe mit einer Beschichtung bestehenden Gewebeschläuche sind in der Regel für

4 bar zugelassen. Der Innendurchmesser wird bei diesem Verfahren nur unwesentlich verringert, die Transportkapazität erhöht sich durch die geringere Wandrauigkeit.

### 3.3.2 Leitungsgruppen – Rohrgenerationen

Die Bildung von Leitungsgruppen hat zum Ziel, auffällige Rohrmaterialien und Rohrverbindungen sowie Korrosionsschutzmaßnahmen, welche früher eingesetzt wurden, zu erkennen. Kriterien für die Gruppenbildung sind:

- die Materialart
- die Verbindungsart
- das Verlegeverfahren
- das dem Sanierungsverfahren

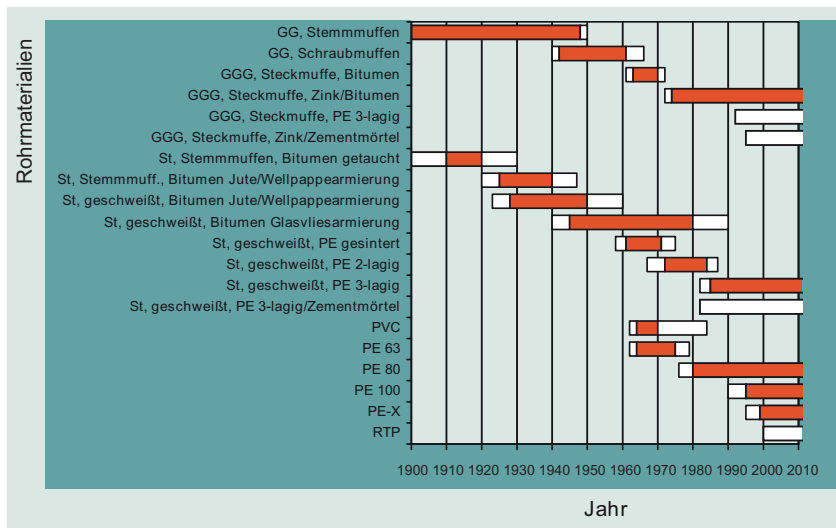


Abb. 3.26: Leitungsgruppen [DVGW, 2012]<sup>7</sup>

### 3.4 Zur Entwicklung der Rohrleitungstechnik in der Fernwärmeversorgung [Roscher]

#### Rohrmaterialien sowie kanallose Bauweisen für die Fernwärmeversorgung

#### Entwicklung der Fernwärmeversorgung in Deutschland

Fernwärmeleitungen wurden und werden sowohl in Kanal- als auch in kanalfreier Verlegung ausgeführt. Im unbebauten Gelände sowie in Industrie- und Gewerbegebieten wird aus Kostengründen die Verlegung auf Sockeln und Stützen bevorzugt. Diese Verlegeart ermöglicht auch eine leichte Kontrolle und Reparatur. Der zuletzt genannte Gesichtspunkt ist auch maßgebend für die Verlegung in Sammelkanälen und Leitungsgängen.

Die Sockel- und Stützenverlegung sowie die Verlegung von Fernwärmeleitungen in Sammelkanälen und Leitungsgängen sind besonders rehabilitationsfreundlich.

Die ältesten Fernwärmekanäle waren Mauerwerkskanäle sowie Ortbetonkanäle in unterschiedlicher Ausführung. Fertigteilkonkrete Kanäle wurden nach dem Prinzip Bodenplatten-Haube (klassische Bauweise) und als Bodenplatte-Haube (U-Form) bzw. U-Trog und Abdeckplatte ausgeführt.

Bereits in den 30er Jahren wurden in der damaligen Sowjetunion Fernwärmeleitungen in Sammelkanälen verlegt; in der DDR und anderen osteuropäischen Ländern wurden beginnend mit den 50er Jahren viele Kilometer Sammelkanäle und Leitungsgänge mit Fernwärmeleitungen gebaut.

Bereits sehr früh begann man mit der kanalfreien Verlegung von Fernwärmeleitungen (Schüttssysteme und andere) und wurden seit den 50er Jahren in sehr vielen Varianten gebaut.

Die Mantelrohrsysteme können unterteilt werden in Verbundsysteme, Gleitsysteme und offene Systeme. Sie wurden mit unterschiedlichen Rohrmaterialien, Isolierstoffen und Umhüllungsmaterialien ausgeführt.

<sup>7</sup> Zu beachten ist bei PVC-Leitungen, dass vor allem in Norddeutschland ein hoher Bestand an PVC-Leitungen vorhanden ist (nach energie-wasser-Praxis 1/2014 sind es 15.122 km)

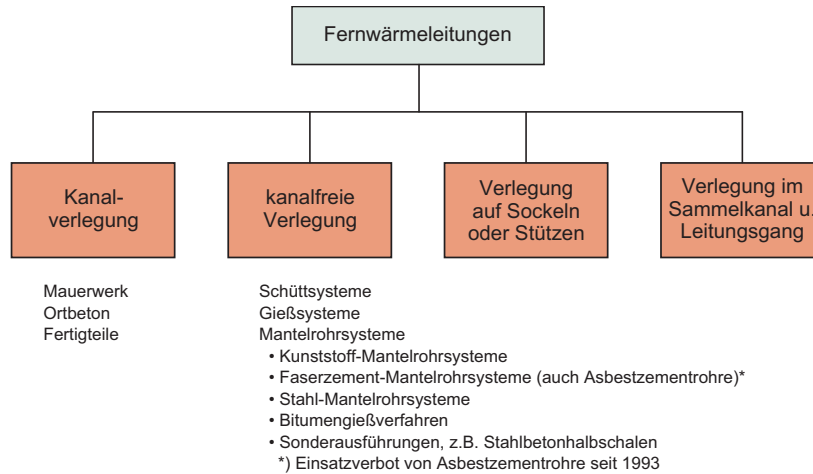


Abb. 3.27: Möglichkeiten zur Verlegung von Fernwärmeleitungen

Außerhalb bebauter Gebiete wurden Fernwärmeleitungen als:

- Sockelleitungen oder
- Stützenleitungen (nur für Fernwärme oder auch gemeinsam mit anderen Leitungen)

ausgeführt.

Diese Variante war kostengünstig und ermöglicht eine gute Kontrolle und ermöglicht im Schadensfall eine einfache Reparatur. Diese Variante war kostengünstig und ermöglicht eine gute Kontrolle und ermöglicht im Schadensfall eine einfache Reparatur.

### 3.5 Zur Entwicklung der Rohrleitungstechnik für die Abwasserableitung [Roscher]

#### 3.5.1 Steinzeugrohre

Die Serienproduktion von Steinzeugrohren begann in Deutschland im 19. Jahrhundert. 1862 entstand in Frechen bei Köln eine erste Thonröhrenfabrik, in der die Röhren mit von Hand betriebenen Pressen geformt wurden. 1863 begann die Bitterfelder Thonröhrenfabrikation.

Heute erfolgt die Formgebung in vertikal angeordneten Vakuumstrangpressen. Ausgangsmaterial von Steinzeugrohren sind Ton und Schamotte. Nach dem Trocknen der Rohre erfolgt der Brand in Tunnelöfen bei ca. 1.250 °C. Dabei entsteht der Werkstoff Steinzeug mit seinen besonderen Eigenschaften: hohe chemische Beständigkeit, nicht rückverformbar, hohe mechanische Festigkeit und Härte.

Die technische Weiterentwicklung erfolgte u.a. mit der Zielsetzung, größere Wanddicken und höhere Festigkeiten zu erreichen. Dadurch konnte der Anwendungsbereich von Steinzeugrohren erweitert werden. So kommen Steinzeugvortriebsrohre heute vielfach zum Einsatz.

Steinzeugrohre (DN 100 bis DN 1400, Baulängen 1,00 bis 2,50 m) und Formstücke für die offene und geschlossene Bauweise sind einschließlich der Rohrverbindungen in DIN EN 295 genormt.

Anhand der Baulängen der Einzelrohre kann das Alter des Steinzeugrohrkanals oft abgeschätzt werden: Zu Beginn des Einsatzes von Steinzeugrohren bei der Erstellung von Abwasserkanalisationen wurden Baulängen von 1,00 m eingebaut. Erst seit Mitte der 60er Jahre standen Steinzeugrohre mit Baulängen von 1,50 m zur Verfügung. Es folgten Baulängen 2,00 m und 2,50 m (ab Mitte der 70er Jahre).

Die Dichtungen für Steinzeugrohre werden werkseitig hergestellt. Unterschieden werden Verbindungssysteme nach Nennweite (DN) und Tragfähigkeitsklassen (TKL). Eine Grundregel bei der Festlegung von Verbindungsmaßen ist die Austauschbarkeit bei gleichem Verbindungssystem und gleicher Tragfähigkeitsklasse. Generell sind zu unterscheiden:

- Steckmuffenverbindungen mit Lippendichtung (L)
- Steckmuffenverbindung mit Dichtung in der Muffe und am Spitzende (K)
- Steckmuffendichtung mit einer Dichtung am Spitzende (S).

Die Anforderungen an die Dichtheit müssen auch bei zusätzlichen Scherbeanspruchungen der Rohrverbindung erfüllt sein. Für Steinzeugrohrverbindungen gilt der 25-fache Zahlenwert der Nennweite als aufnehmbare Scherlast. Die Abwinkelbarkeit der Rohrverbindungen stellt bei biegesteifen Bauteilen ein wesentliches Element zur Herstellung der Beweglichkeit der Leitung dar. Bei kleinen Nennweiten (DN 100 bis 200) liegt die Abwinkelbarkeit bei 4,6 ° bei großen (> DN 800) beträgt sie 0,6 °.

Für die Aufnahme von Belastungen ist die Angabe der Scheiteldruckkraft (FN) entscheidend. Der Zusammenhang zwischen Nennweite, Tragfähigkeitsklasse und Scheiteldruckfestigkeit ist für DN 200 und größer nach DIN EN 295 definiert:  $TKL = FN / DN \cdot 1000$ . Für DN 100 bis 150 gilt  $TKL = FN$ .

Zum Bau von Abwasserkanälen und -leitungen gibt es entsprechende Formstücke wie Abzweige und Bögen. Abzweige werden in der Regel als maschinengefertigte Kompaktabzweige hergestellt.

Für die geschlossene Bauweise sind Steinzeugvortriebsrohre (DN 150 bis DN 1400, Baulängen 0,50 bis



2,00 m) entwickelt worden, die eine hohe Längsdruckfestigkeit, einen schlanken Wandquerschnitt und eine glatte Außenwand besitzen. Sie eignen sich neben dem Neubau auch für verschiedene Sanierungsverfahren, wie dem Mikro-Tunnelbau (Pipe-Eating) und dem Berstlining.

Ein weiteres Steinzeugprodukt sind keramische Auskleidungen wie Sohlshalen, Platten und Platten-Elemente. Diese werden zum Schutz von Kanälen und Bauwerken gegen besondere Beanspruchungen wie z.B. Korrosion eingesetzt. Platten-Elemente können zur Teil- und Vollauskleidung der Sohle und des Gasraumes eingesetzt werden. Ihre Anwendung erfolgt sowohl im Neubau als auch in der Sanierung.

### **3.5.2 Stahlbeton und Spannbetonrohre sowie Betonrohre**

Siehe *Kap. 3.2.1.5 Stahlbeton und Spannbetonrohre sowie Betonrohre*.

### **3.5.3 Mauerwerkskanäle**

Mauerwerkskanäle wurden im 19. Jahrhundert für Hauptkanäle aus Klinkern in unterschiedlichen Kanalprofilen hergestellt, ebenso Bauwerke. Die Dauerhaftigkeit dieses Rohrmaterials gewährleistet eine lange Nutzungsdauer. Erforderlich sind Neuverfugungen (sehr aufwändig) bzw. die Auskleidung mit unterschiedlichen Materialien.

## 4 Sanierung und Erneuerung von Wasserversorgungsnetzen

### 4.1 Rohrnetzbestand in Deutschland

Der Rohrnetzbestand hat in Deutschland ständig zugenommen, so dass heute von einer fast vollständigen zentralen Wasserversorgung aus örtlichen und Fernwasservorkommen ausgegangen werden kann.

Aktuelle statistische Angaben über den Gesamtbestand an Rohrleitungen und differenziert nach Rohrwerkstoffen und Alter sind z.Z. nicht verfügbar. In [Roscher et al., 2000] wurde daher eine Zusammenfassung bis 1990 vorgenommen (siehe *Tab. 4.1*).

Dabei zeigten sich insbesondere die Unterschiede zwischen dem Materialeinsatz in West- und Ostdeutschland hinsichtlich des Einsatzes von metallischen und nichtmetallischen Rohrwerkstoffen. Aussagen über den Korrosionsschutz sind jedoch nicht ablesbar - bekannt sind aber der unzureichende Korrosionsschutz von Stahlrohren in Ostdeutschland in der Zeit von 1945 bis 1990 und die daraus abzuleitenden Schadensrate und der ebenfalls unzureichende Korrosionsschutz von Duktulgussrohren der 1. Generation in Westdeutschland der gegenwärtig zu einer hohen Schadensrate führt.

In den heute liegenden Wasserversorgungsnetzen sind also unterschiedliche Rohrmaterialien und Rohrverbindungen anzutreffen. Dabei gibt es zusätzlich regionale Unterschiede, welche verschiedene Ursachen haben, wie:

- die in bestimmten Gebieten ansässigen Produktionsfirmen (bevorzugter Einsatz von Guss-, Stahl-, Asbestzement- oder Kunststoffrohreinsatz)

- die durch die Teilung Deutschlands bedingten Verhältnisse hinsichtlich der Verfügbarkeit von Rohrwerkstoffen
- das durch die Stadtentwicklung beeinflusste Wachstum der Wasserversorgungsnetze (zeitliche Entwicklung des Materialeinsatzes)
- Preisangebote und Auffassungen der für den Kauf von Rohrmaterial Verantwortlichen.

Von wesentlichem Einfluss auf die Ausgangsbedingungen bei der Rehabilitation sind heute und auch in der Zukunft die aus der unterschiedlichen Wirtschaftsentwicklung zwischen 1945 bis 1990 in Ost- und Westdeutschland resultierenden Materialeinsatz. Die *Abb. 4.1*, ebenfalls aus [Roscher et al., 2000], zeigen die Materialstruktur ost- und westdeutscher Städte (einschließlich Zürich). Zu beachten sind die unterschiedlichen Werkstoffe.

Betrachtet man die Altersstruktur der Rohrnetze von Städten, so zeigt sich außerdem der geringe Bestandszuwachs im 1. und 2. Weltkrieg (siehe *Abb. 4.2* von Erfurt und Stuttgart [Roscher et al., 2000]). Zu beachten sind die Einschnitte im 1. und 2. Weltkrieg und der hohe Stahlrohranteil in Erfurt ab 1960 bzw. Duktulgussrohrleitungen in Stuttgart ab 1980.

Nach 1945 kamen in Ostdeutschland viele Einfamilienhaussiedlungen und Gewerbegebiete in Stadtrandlage hinzu, in denen vornehmlich Duktulgussrohre und Kunststoffrohre (PE und PE-Xa) verlegt worden sind.

Tab. 4.1: Materialstruktur der Wasserversorgungsnetze in Deutschland bis 1990 [Roscher et al., 2000]

Rohrmaterial	BRD <sup>a</sup>	BRD	BRD	BRD <sup>b</sup>	DDR <sup>c</sup>
	1970	1980	1990	1987	1988
	%	%	%	%	%
Guss	63,8	57,7	53,5	55,0	41,0
Stahl	9,0	6,3	5,1	5,7	21,9
AZ/Beton	9,5	11,5	11,1	11,1	25,3
Kunststoff	17,5	24,0	30,1	28,2	11,8
Sonstige	0,2	0,5	1,2		
Länge	159.600 km	255.800 km	304.300 km	287.000 km	91.000 km

a. GWF 132 (1991) 12, S. 660-670

b. GWF 130 (1989) 1, S. 33-39 (Stand 1987)

c. Datenbank Netze Wasserversorgungsnetze (Stand 1988)

4. Sanierung und Erneuerung von Wasserversorgungsnetzen

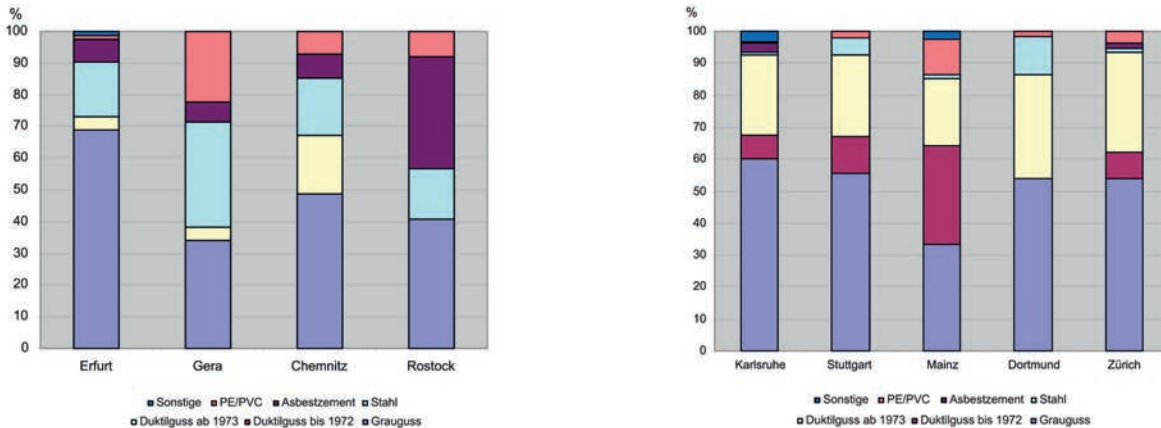


Abb. 4.1: Rohrwerkstoffe in ost- und westdeutschen Städten (einschließlich Zürich), zu beachten sind die unterschiedlichen Werkstoffe [Roscher et al., 2000]

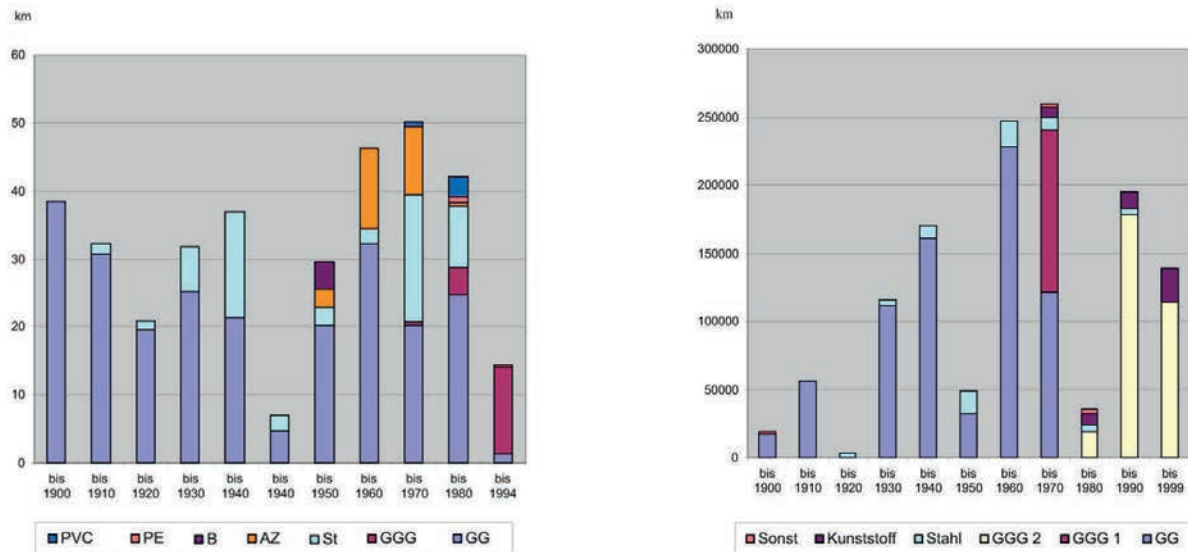


Abb. 4.2: Alters- und Materialstruktur in Erfurt (links) und Stuttgart (rechts) [Roscher et al., 2000], zu beachten sind die Einschnitte im 1. und 2. Weltkrieg und der hohe Stahlrohranteil in Erfurt ab 1960 bzw. Duktulgussrohrleitungen in Stuttgart ab 1980

- Wesentliche Faktoren für die Rehabilitation sind der
- Werkstoffeinsatz einschließlich des in der Vergangenheit angewendeten Herstellungsverfahrens sowie
  - der Korrosionsschutz bei metallischen Rohrleitungen
  - die Zeitstandsfestigkeit und
  - die Verlegebedingungen bei Kunststoffrohrleitungen.

Daraus folgen „Herstellungsbedingte Schädigungen“ (ungeeignete Werkstoffe und unzureichender Korrosionsschutz, ungeeignete Rohrverbindungen)“, „Physikalische, chemische und biologische Alterungsprozesse (Korrosion, Grafittierung, Verhalten zementgebundener

Werkstoffe, Verrottung organischer Materialien) usw. (siehe *Kap. 4.8.6 Untersuchungen zur Wirtschaftlichkeit grabenloser Rohrverlegung*)

Schäden und Schadensursachen sind aus den vorgenannten Gründen sehr unterschiedlich und die Ausgangsposition für die Rehabilitation (Einsatz von Rehabilitationsverfahren) wird dadurch beeinflusst.

Die zeitliche Abfolge des Rohrmaterialeinsatz in Deutschland zeigt *Abb. 3.26*. Danach wurden zunächst Gussrohre, später Stahl-, Asbestzement- und Kunststoffrohre eingesetzt. Die Herstellungsverfahren und die Eigenschaften der Rohre haben sich über die Zeit wesentlich geändert.



## 4.2 Schäden und Schadensursachen, Schadenserfassung und Zustandsbewertung

**Aus dem Schaden wird man klug – Ziele und Kriterien der Schadenserfassung und Zustandsbewertung**

### 4.2.1 Aufgaben der Schadenserfassung und Zustandsbewertung

Die Schadenserfassung und Zustandsbewertung hat die Aufgabe:

- Schäden zu erkennen
- systematisch zu beschreiben
- geeignete Verfahren der Sanierung oder Erneuerung auszuwählen

Praktiker können auf Erfahrungen hinsichtlich auftretender Schäden verweisen. So sind z.B. typische Schäden

- die Bruchgefährdung von Graugussleitungen kleiner Nennweiten
- bis 1970 verlegte duktile Gussrohre ohne Verzinkung und Außenisolierung – starke Außenkorrosion bei schwierigen Böden
- bis ca. 1970 eingebaute metallisch dichtende Absperrarmaturen mit Stopfbuchsen
- bis 1955 oft ohne Außenisolierung verlegte Hausanschlussleitungen aus Stahl sowie aus Blei.

### 4.2.2 Vorbemerkungen zur Schadensforschung

Mit der Erfassung von Rohrleitungsschäden und der Ermittlung von Schadensursachen befasste man sich seit Mitte der 70er Jahre sowohl in Westdeutschland als auch in Ostdeutschland intensiver – Veröffentlichungen und Dissertationen von Kottmann (Stuttgart 1978), Michalik (Dresden 1985) sowie der Aufbau der Datenbank Wasserversorgungsnetze von Ahrens in Berlin, in der bis 1989 ca. 75 % der Wasserversorgungsnetze der DDR sowie Schäden am Rohrnetz erfasst wurden. Davor liegende Veröffentlichungen zu Schäden umfassten insbesondere Frostschäden in Versorgungsleitungen und Hausanschlussleitungen in strengen Wintern [Kottmann, 1978], [Kottmann, 1979], [Kottmann, 1980a], [Kottmann, 1980b], [Michalik, 1985], [Michalik und Schweiger, 1986], [Roscher et al., 2000] und [Schweiger et al., 1985].

### 4.2.3 Ergebnisse der Schadensforschung

Von besonderer Bedeutung bei den Untersuchungen von Kottmann und Michalik waren und sind die Ermittlung von Schadensursachen. So befasste sich Kottmann insbesondere mit den Schäden an Graugussleitungen und Duktigussrohrleitungen der ersten Generation und Michalik mit den Schäden an Grauguss- und Stahlleitungen, die vor 1945 und nach 1945 auf dem Gebiet der DDR verlegt wurden.

Kottmann untersuchte folgende Einflussfaktoren:

- Mängel im Gefüge des Werkstoffs
- temperaturbedingte Veränderungen der Werkstoffeigenschaften
- Korrosion

- Innendruck und Schwankungen des Innendrucks
- Verkehrsbelastungen
- Veränderung der Bodentemperatur in verschiedenen Tiefen
- Veränderung der Bodenfeuchtigkeit in verschiedenen Tiefen

Es konnte jedoch kein deutlicher Einfluss nachgewiesen werden für

- Korrosion
- temperaturbedingte Veränderungen der Werkstoffeigenschaften
- Innendruck und Schwankungen des Innendrucks
- Temperaturänderungen des Wassers
- Veränderungen der Lufttemperatur
- Veränderungen der Bodentemperatur im Sommer

Belastungen durch starken Verkehr führten zur Verdoppelung der Bruchzahlen, einen deutlicher Einfluss zeigte sich für die Bodentemperatur im Winter und die Bodenfeuchtigkeit. Die Austrocknung durch Verdunstung und Frost verursacht dieselbe Wirkung.

Das Schrumpfen bindiger Böden führt zu zunehmenden Bruchzahlen, wobei Unterschiede zwischen bindigen und rolligen Böden bestehen (Schrumpfen nur in bindigen Böden). Hoher Grundwasserstand schützt vor Rohrbrüchen, weil Grundwasser die Austrocknung verhindert, ebenso erhöhen ungleiche Auflagerbedingungen die Rohrbruchgefahr.

Allgemein gehaltene Empfehlungen für die Auswechslung bestimmter Nennweiten sind nach den Untersuchungen von Kottmann nicht gerechtfertigt. Die Bruchgefahr ist je nach Bodenart sehr verschieden, sie kann sich von Netzteil zu Netzteil ändern.

### 4.2.4 Alter der Rohrleitungen kein Kriterium für Schäden und Zustand

Zur Übertragung von Erkenntnissen der Schadensforschung stellte Kottmann [Kottmann, 1980a] fest:

*„Erkenntnisse der Schadensforschung sind nur ohne Einschränkung übertragbar, wenn Schäden allein auf von der Wasserbeschaffenheit und vom Baugrund unabhängige Größen zurückgeführt werden können. Solche unabhängigen Größen sind Innendruck und Werkstoffeigenschaften wie Streckgrenze, Bruchfestigkeit und Bruchdehnung.“*

Skarda stellte in [Skarda, 1998] fest, dass

*„alte Leitungen heute sogar einen besseren Qualitätszustand aufweisen als die jüngeren aus weniger beständigen Rohrmaterial (Wandstärken, Schutzmaßnahmen). Jedes Material unterliegt Alterung, Ermüdung und Zersetzung, die je nach Güte, Umfeld und Belastung unterschiedlich ausfallen. Einen klassischen Zersetzungs Vorgang verkörpert die Korrosion schlecht geschützter metallischer Leitungen. Die Innenkorrosion wird durch die Wasserqualität und die Strömungsverhältnisse ausgelöst. Sie kann mit der Wasseraufbereitung, besonders durch eine pH-Wert-Korrektur, und mit Einsatz von korrosionsbeständigem Material respektive mit Sanierung, Rehabilitation und einem wirksamen Korrosionsschutz bekämpft werden.“*

### 4.3 Die zunehmende Beanspruchung der Rohrleitungen im Straßenraum

Quelle: [Roscher et al., 2000].

Grundlage für die Einordnung der Leitungen in den unterirdischen Bauraum ist die erstmalig 1931 herausgegebene DIN 1998 (2. Ausgabe 1940, 3. Ausgabe 1941, neu bearbeitet 1978 [DIN, 1978] – siehe Kap. 1.3.3 Richtlinie für die Einordnung und Behandlung der Gas-, Wasser-, Kabel- und sonstigen Leitungen bei der Planung öffentlicher Straßen – DIN 1998 Ausgabe 10.31). Die als Idealvorstellung anzusehende Richtlinie, nach der die Versorgungsleitungen in einer Leitungszone im Fußweg liegen, konnte in der Praxis nicht immer realisiert werden.

Der zunehmende Verkehr und die gewachsene Nutzung des unterirdischen Bauraumes haben oftmals dazu geführt, dass Wasserversorgungsleitungen, welche früher im Fußwegbereich lagen, heute unter Fahrstreifen liegen. Auch durch weitere Veränderungen im Stadtraum sowie durch Änderungen im Betrieb der Rohrnetze (Druckverhältnisse, Fließrichtung, Wasserqualität) haben sich die Bedingungen für die Rohrleitungen gegenüber dem Verlegezeitpunkt oftmals mehrfach geändert.

Wasserrohrleitungen liegen sowohl unter den Straßen als auch unter Fußwegen – Hauptleitungen mit großen Durchmessern vorzugsweise unter Straßen, Versorgungsleitungen mit kleinen Durchmessern sowohl unter Straßen als auch unter Fußwegen.

Die Rohrleitungen unterliegen sowohl Einwirkungen aus der Bauphase als auch aus dem Betrieb des Rohrnetzes wie:

- Bettungs- und Auflagebedingungen sowie unzureichende Verdichtung in der Leitungszone und der Hauptverfüllung,
- wechselnde Grundwasserstände oder Austrocknung des Bodens,
- Aggressivität des Grundwassers und Bodens,
- zunehmende Verkehrsbelastungen,
- Kriegsfolgen,
- Streuströme,
- Baumaßnahmen in Bereich der Rohrleitungen,
- Frostschäden,
- fehlerhaft ausgebildete Hausanschlüsse, nicht mehr geeignete Rohrverbindungen,
- Einwirkung von Schadstoffen aus kontaminierten Böden (z.B. Kunststoffrohre oder auf ZM-Umhüllung bei metallischen Rohren) usw.

Die Abb. 4.3 a) und b) zeigen schematisch die Beanspruchung der Rohrleitungen im Rohrgraben beim Bau einer Rohrleitung und die Beanspruchung der Rohrleitungen im späteren Betrieb der Rohrleitung.

Schäden oder Mängel resultieren aus:

- Planung und Bauausführung,
- eingesetzten Werkstoffen einschließlich äußerem Korrosionsschutz sowie innerem Korrosionsschutz und transportiertem Wasser,
- Wartung und Instandhaltung der Leitungsnetze,
- Art und Dauer der Nutzung der Leitungsnetze,

- äußeren Einflüssen von Baugrund, Rohrbettung, usw.,
- Grundwasser oder wechselnden Grundwasserständen, Austrocknung des Bodens bei ausbleibenden Niederschlägen,
- dauernde oder zeitweise auftretende Verkehrsbelastungen,
- Druckverhältnissen und Druckstößen,
- Streuströmen von Gleichstrombahnen und Stahlbetonfundamenten,
- Frostschäden bei nicht ausreichender Verlegetiefe,
- evtl. auch noch heute nachwirkenden Kriegsfolgen.

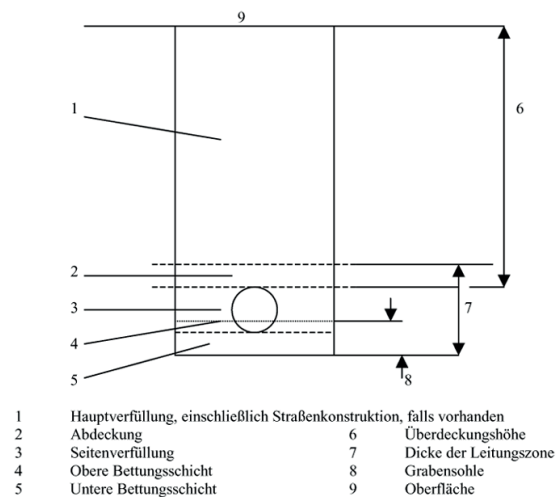


Abb. 4.3a) EN 805 Begriffe zur Verlegung (siehe auch DIN 1610 [DIN, 1997b])

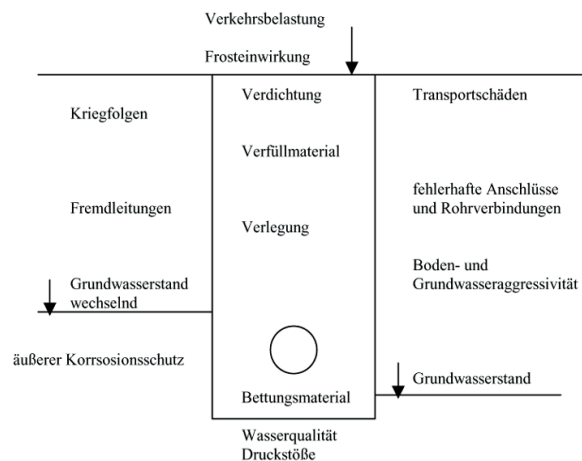


Abb. 4.3b) Einflüsse und Belastungen bei der Verlegung und im Betrieb der Rohrleitung

Abb. 4.3: Beanspruchung der Rohrleitungen im Rohrgraben [Roscher et al., 2000]

Rohrleitungen im Straßenraum werden heute zusätzlich beansprucht durch:

- höhere Achslasten und größere Anzahl von Lastübergängen des fließenden Verkehrs,
- indirekte Veränderung der Lage von Rohrleitungen und Armaturen (bisher unter weniger belasteten Streifen des Straßenraumes durch Straßenverbreiterung „neue“ Lage unter Fahrstreifen),

- veränderten Deckenaufbau (früher Pflasterdecke, heute 1. und 2. Tragschicht sowie bituminöse Verschleißschicht), dadurch ggf. Wasseraustritt entfernt von der Schadensstelle,
- Einwirkung von Streuströmen von Gleichstrombahnen,
- Einwirkung von Streuströmen verursacht durch Stahlbetonfundamente von Gebäuden mit Tiefgeschossen,
- Auskoffnung und Neuaufbau der Straßenkonstruktion (zeitweise unzureichenden Überdeckung für schwere Fahrzeuge – sofortiges oder späteres Auftreten von Bruchschäden),
- Aufgrabungen benachbarter Leitungen,
- Errichtung von Tiefbauwerken im Bereich liegender Leitungen.

Durch zunehmende oder zeitweise auftretende **Verkehrbelastungen** können vermehrt Bruchschäden bei Graugussleitungen kleiner Nennweiten auftreten. Ebenso können Verkehrsumleitungen über Nebenstraßen zu einer Erhöhung der Schadensanzahl führen. So war in Erfurt in einem Untersuchungsgebiet bedingt durch Verkehrsumleitungen im Zusammenhang mit dem Bau einer neuen Straßenbahnlinie eine Häufung von Schadensfällen zu beobachten.

Der Einbau von Rohrleitungen erfolgt nach den technischen Regeln des Rohrleitungsbaus (bisher W 403, DIN 4033, zukünftig EN 805, DIN 1610 usw.). Schäden nach Inbetriebnahme der Rohrleitungen sind in der Regel auf die Nichtbeachtung der technischen Regeln zurückzuführen. So treten in der Anfangsphase häufig Schäden auf, danach geht die Schadensanzahl zurück und steigt erst mit Erreichen der technischen Nutzungsdauer (technische Nutzungsdauer) durch Materialalterung usw. wieder an, so dass zu diesem Zeitpunkt die Rehabilitation erforderlich wird (sog. „Badewannenkurve“).

Eine bei der Schadensbeseitigung auftretende Schadensursache kann bei nicht ordnungsgemäßen Wiederherstellungsarbeiten – Einbau, Verdichten des Bodenmaterials und Straßendecke – auftreten (siehe Kap. 1.2.6 *Wiederherstellung von Straßen und Vermeidung von Folgeschäden durch Baugruben bzw. Baugraben bei konventioneller Verlegung von Rohrleitungen*).

[Kottmann, 1980b] stellte fest, dass

- Rohrbruchhäufungen auf Gefriervorgänge an der Erdoberfläche im Monat Dezember zurückzuführen sind,
- hohe Bruchzahlen die Folge von Gefriervorgängen im Januar auftreten, seltener im Februar,
- Rohrbruchhäufungen auf das Austrocknen des Bodens im Sommer, mit einem Höchstwert im September zurückzuführen sind,
- verhältnismäßig niedrige durchschnittliche Bruchzahlen im März auftreten,

- dass Tauvorgänge keinen nennenswerten Beitrag zur Erhöhung der Bruchzahlen leisten.

Zur **elektrochemisch bedingten Korrosion** stellte [Skarda, 1993] fest, dass

- Rohrleitungen in der Nähe von Gleichstrombahnen (Straßenbahn, Obusse), Schweißwerkstätten und anderer geerdeter Gleichstromverbraucher durch Streustromkorrosion zerstört werden können,
- an Fehlstellen der Rohrumhüllung (anodischen Bereich) Strom austritt und demzufolge an der Rohrleitung Mulden- und Lochkorrosion entsteht (die Vertiefungen sind meist frei von Korrosionsprodukten, weil das metallische Eisen weggetragen und außerhalb der Mulde oxidiert wird),
- an Bögen und in den lichten Querschnitt hineinragenden Teilen, z.B. an Messblenden, Erosion beobachtet wird (mechanischer Abtrag).

Die *Außenkorrosion* wird durch das Zusammenwirken vieler mitbestimmender Faktoren wie aggressiver Böden, Streuströme, galvanische Verbindungen zu Fremdkathoden etc. verursacht...“ (in der Schweiz seit 1991 wirksamer Außenschutz und Streustromursachenbekämpfung).

Rohrleitungen können in ihrem Bestand durch Baumaßnahmen gefährdet werden, wenn im Bereich der Einflusszone Bauarbeiten durchgeführt werden. Größe und Geometrie der Einflusszone sind abhängig von: Abständen zu Ausschachtungen, Baugruben, Fundamenten, Schächten, Decken- und Sohleplatten, Baustelleneinrichtungen, Verankerungen, Leitungen und Kabeln, Verkehrsbauwerken, Einschnitten, Dämmen u.a.

Die Beanspruchung der Rohrleitungen wird beeinflusst durch

- die Nennweite der Leitungen, Rohrwerkstoffe, Rohrwanddicke, Rohrverbindung,
- die Überdeckung der Leitung,
- den Schutz gegen mechanische Beanspruchung, z.B. Schutzrohre,
- den aktiven und passiven Korrosionsschutz,
- den Betriebszustand der Leitung,
- Armaturen,
- Kleinbauwerke, wie Schachtbauwerke, Widerlager und
- die Lage der Leitung, z.B. erdverlegt oder freiverlegt.

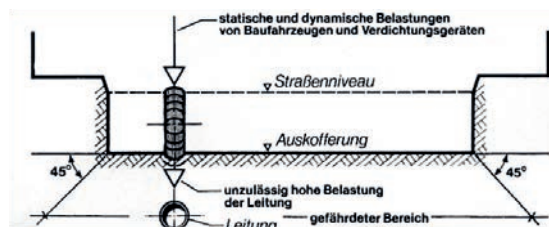


Abb. 4.4: Unzulässig hohe Belastung bei Straßenbauarbeiten (W 380 [DVGW, 1993]; neu W 400-3)



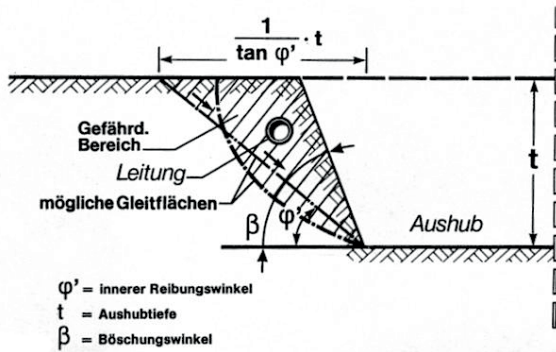


Abb. 4.5: Gefährdeter Bereich der Versorgungsleitungen bei Grabenaushub (W 380 [DVGW, 1993]; neu W 400-3)

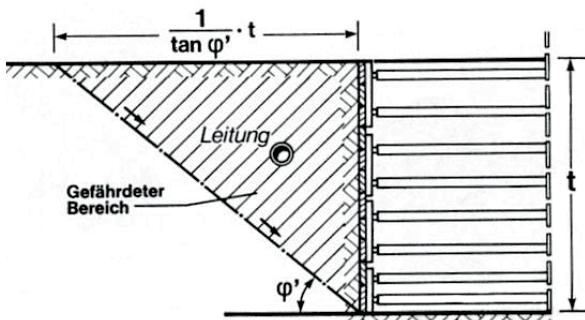


Abb. 4.6: Gefährdeter Bereich der Versorgungsleitungen bei Grabenaushub mit Verbau (W 380 [DVGW, 1993]; neu W 400-3)

W 380 [DVGW, 1993] integriert in W400/3 nennt als Maßnahmen zum Schutz der Leitungen

- bauliche Schutzmaßnahmen,
- betriebliche Schutzmaßnahmen,
- Umlegung der Leitungen.

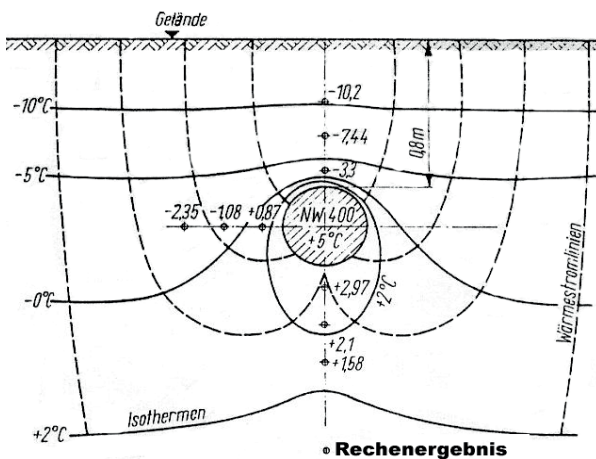


Abb. 4.7: Frosteindringtiefe bei wasserführenden Rohrleitungen [Löffler, 1965]

Als außergewöhnlicher Einflussfaktor für Rohr Schäden ist die **Frosttiefe** anzusehen, da in Deutschland besonders niedrige Temperaturen über einen längeren Zeitraum in einer bestimmten Periodizität aufgetreten sind (1928/29, 1939/40, 1962/63, 1995/96) [Mutschmann und Stimmelmayer, 1991], [Mutschmann und Stimmelmayer, 1995], [Roscher et al., 1997], [Saitenmacher et

al., 1997]. Die Frosttiefe ist eine Funktion klimatischer und bodenkundlicher Parameter (Temperatur, Zeit, Schneedicke, Schneedichte, Bodenmaterial). Einflussgruppen können in ihrer Wirkung auf engstem Raum erheblich schwanken. Da keiner der die Frosttiefe bestimmenden Faktoren für ein größeres Gebiet konstant ist, würde die rechnerische Verfolgung der Frosttiefen einer längeren Leitungstrasse so umfangreiche Voruntersuchungen erfordern, so dass sie einen für die Praxis ungangbaren Weg bedeutet.

[Löffler, 1965] untersuchte Gesichtspunkte zur frostsicheren Verlegung von Wasserleitungen und zeigte die Frosteindringtiefe bei wasserführenden Rohrleitungen (Abb. 4.7).

#### 4.4 Schadens Erfassung und Schadensstatistik

##### 4.4.1 Ziele und Inhalt der Schadens Erfassung

Als **Schaden** wird allgemein der Zustand eines Anlagenteils verstanden, der eine unzulässige Beeinträchtigung der Funktionsfähigkeit darstellt und in der Regel mit Wasseraustritt verbunden ist.

Es sind zu unterscheiden in:

- Schäden an Rohrleitungen (Zubringer-, Haupt- und Versorgungsleitungen) und Rohrverbindungen,
- Armaturen (Absperrschieber, Ventile, Hydranten usw.) und
- Hausanschlussleitungen.

**Schäden an Armaturen** – derzeit noch der größte Anteil der Schäden am Wasserrohrnetz – sind vor allem auf Überalterung und funktionale Mängel zurückzuführen, was sich auch in Schadensberichten erkennen lässt.

Die Armaturenhersteller haben die funktionalen und konstruktiven Mängel der vor Jahrzehnten eingebauten Armaturen erkannt und beseitigt. Deshalb ist in der Regel eine Auswechslung der Armaturen erforderlich.

Hausanschlussleitungen aus heute nicht mehr eingesetzten Rohrmaterialien (Blei, verzinkte Stahlrohre usw.) werden ebenfalls zusammen mit den Hausanschlussgarnituren ausgewechselt (sog. Bleirohrprogramm sollte bis 2013 abgeschlossen sein).

Es ist jedoch zu beachten, dass auch in der Hausinstallation noch vorhandene Bleirohrleitungen gegen andere Rohrmaterialien auszutauschen sind. Bei der Auswahl neuer Rohrmaterialien (Kupfer- oder Kunststoffrohre) ist der pH-Wert des Wassers zu beachten.

Die **Schadensereignisse** sind in Schadensberichten mit Angabe von Schadensort, Zeitpunkt, Werkstoff, Schadensart und Schadensursache, Folgeschäden usw. zu erfassen.

Die EDV-gestützte Bearbeitung der Schadensberichte und die grafische Datenverarbeitung (z.B. Visualisierung in Schadenskarten) ermöglicht, schadensauffällige Rohrleitungsabschnitte bzw. Armaturen zu erkennen.

Gleichzeitig sollten die Möglichkeiten der Bilddokumentation mit Digitalkamera und nachfolgender Spei-

cherung in einer Datenbank genutzt werden. Bei weiteren auftretenden Schäden an der gleichen Leitung erleichtert die Bilddokumentation den Vergleich mit bereits aufgetretenen Schadensfällen, das Erkennen von Schwachstellen und des Zustandes der Leitungen.

Als **Schwachstelle** wird der Zustand eines Anlagenteils bezeichnet, der in absehbarer Zeit zu einem Schaden führen wird (z.B. schadhafter Rohraußenschutz mit Flächen- später Mulden- und Lochkorrosion).

#### 4.4.2 Schadensstatistik des DVGW

Die Einführung der bundesweiten Schadensstatistik nach W 395 (ersetzt durch W 402 vom September 2010) hatte eine am Netzzustand orientierte Rehabilitation der Wasserversorgungsnetze zum Ziel. Sie setzt eine zuverlässige und detaillierte Schadenserfassung und -auswertung voraus.

Mit Hilfe einer gut geführten Schadensstatistik mit zugeordneten Kosten lässt sich schnell und sicher erkennen, wann es im einzelnen Versorgungsunternehmen wirtschaftlicher ist, sich anstelle weiterer Reparaturen an einer schadensanfälligen Leitungen oder für eine Erneuerung oder Sanierung zu entscheiden.

#### 4.4.3 Unternehmensübergreifende Schadensstatistik

Die Einführung einer unternehmensübergreifenden Schadensstatistik trägt dazu bei, auf einer gesicherten repräsentativen Grundlage systematisch Schwachstellen und Fehlentwicklungen von Bauteilen für Wasserversorgungsanlagen zu erfassen und daraus abgeleitet die notwendigen Vorgaben und Anforderungen der Produktnormung (national und europäisch) zu formulieren.

Das Arbeitsblatt W 402 gilt für die Erfassung und Auswertung von Bestands-, Zustands- und Umgebungsdaten von Wasserverteilungsanlagen. Zu den Zustandsda-

ten gehören insbesondere die Schadensdaten. Gegenstand dieses Blattes ist die Schaffung eines konsistenten Datenbestandes sowie die grundlegende Auswertung von Schadensdaten.

Dieser Datenbestand dient überwiegend als Grundlage für die Instandhaltung, insbesondere für die Rehabilitation gemäß DVGW W 400-3 (A) und DVGW W 403 (M). Darüber hinaus können die Daten zu statistischen Auswertungen für verschiedene betriebliche und unternehmerische Bewertungen herangezogen werden.

Für die Anwendung von W 402 sind weitere Dokumente des DVGW-Regelwerkes heranzuziehen:

- DVGW GW 9 (A), Beurteilung von Böden hinsichtlich ihres Korrosionsverhaltens auf erdverlegte Rohrleitungen und Behälter aus unlegierten und niedrig legierten Eisenwerkstoffen
- DVGW GW 120 (A), Planwerke für die Rohrnetze der öffentlichen Gas- und Wasserversorgung
- DVGW W 392 (A), Rohrnetzinspektion und Wasserverluste - Maßnahmen, Verfahren und Bewertungen
- DVGW W 400-3 (A), Technische Regeln Wasserverteilungsanlagen (TRWV) - Teil 3: Betrieb und Instandhaltung
- DVGW W 403 (M), Entscheidungshilfen für die Rehabilitation von Wasserverteilungsanlagen
- DIN 31051, Grundlagen der Instandhaltung.

#### 4.4.4 Instandhaltungsrelevante Daten

Die Instandhaltung erfordert für ihre Strategie, Planung und Umsetzung ausreichende und belastbare Daten zum Netzbestand und Netzzustand. Grundlage hierfür ist eine qualifizierte und qualitätsgesicherte Erfassung, Aufbereitung, Auswertung und Speicherung der netzrelevanten Daten.

Tab. 4.2: Begriffe

Begriffe	Definitionen
Bestandsdaten	Grundsätzlich unveränderliche Informationen (zum Beispiel Lokalität, technische Parameter und Funktion) zum Objekt (Betriebsmittel)
Leitungsabschnitt	Teil der Wasserverteilungsanlagen mit gleichen bestandsbeschreibenden Attributen (Nennweite, Rohrwerkstoff, Rohrverbindung, Rohrumhüllung, Baujahr usw.)
Schaden	Eine lokale, unzulässige Beeinträchtigung der Funktionsfähigkeit einer Wasserverteilungsanlage (Betriebsmittel) (i.d.R. mit Wasseraustritt verbunden)
Schadensart	Festgestellte Veränderung des Sollzustandes an einer Wasserverteilungsanlage (Betriebsmittel)
Schadensdaten	Teilmenge der Zustandsdaten, die die Charakteristik eines zu einem bestimmten Zeitpunkt an einer bestimmten Wasserverteilungsanlage (Betriebsmittel) eingetretenen Schadens beschreibt
Schadensort	geografischer Ort der Schadensstelle
Schadensrate	Jährliche Anzahl der Schäden je km Rohrleitung (aufgetreten oder prognostiziert). Bei Hausanschlüssen und Armaturen wird die Schadensrate auf die Stückzahl 1.000 bezogen
Schadensstelle	Leitungs- oder Anlagenteil (Betriebsmittel), das in seiner Funktionsfähigkeit unzulässig beeinträchtigt ist
Schadensursache	Einwirkung, die zur unzulässigen Beeinträchtigung der Funktionsfähigkeit einer Wasserverteilungsanlage (Betriebsmittel) geführt hat
Umgebungsdaten	Einwirkung, die zur unzulässigen Beeinträchtigung der Funktionsfähigkeit einer Wasserverteilungsanlage (Betriebsmittel) geführt hat sowie Beschreibung des örtlichen Umfeldes von Anlagen (u.a. Gebäude, Stromleitungen, Verkehrslasten, Böden), das Einfluss auf die Wasserverteilungsanlagen haben kann oder auf das die Wasserverteilungsanlagen Einfluss haben können
Zustandsdaten	Kriterien, die zur Beurteilung des Zustandes von Wasserverteilungsanlagen herangezogen werden können (u.a. Schäden, Schadensentwicklung, äußerer und ggf. innerer Leitungszustand, Netzhydraulik, Versorgungsqualität, KKS-Messungen, Wasserverlustdaten)

Die Ziele und Grundsätze der Instandhaltungsstrategie sind in DVGW W 400-3 (A) definiert. Eine qualifizierte Instandhaltung setzt detaillierte Netzkenntnisse voraus und benötigt eine belastbare Schadenstatistik.

Die hierzu erforderlichen Daten betreffen

- den Netzbestand (Zubringer-, Haupt- und Versorgungsleitungen, Hausanschlussleitungen, Armaturen)
- die Schadensentwicklung/-statistik (altersspezifische, werkstofforientierte und abschnittsbezogene Schadensereignisse)
- weitere Kriterien, die den Netzzustand charakterisieren (insbesondere den örtlichen Leitungszustand, z.B. auf Basis von Vorortbefunden, KKS-Messwerten, Rohrnetzanalysen)
- die Umgebungsverhältnisse

Die Daten zum Netzbestand und zur Schadensentwicklung werden für das gesamte Wasserrohrnetz aktuell benötigt. Sie dienen u.a. der Netzbewertung, in die allerdings auch die weiteren Zustandsdaten, soweit sie vorhanden sind, mit einzubeziehen sind. Auch wenn die weiteren Zustandsdaten bisher nicht erfasst wurden, sollte mit ihrer Erfassung begonnen werden.

Neben der Dokumentation und planerischen Nutzung der genannten Datenbestände ist es sinnvoll, auch die Umgebungsdaten von Leitungen und Anlagen zu erfassen, um Wechseleinflüsse zwischen Systemschäden und Umgebungsrisiko abschätzen und beurteilen zu können.

#### Schadensdaten

Schadensdaten beinhalten die technischen Informationen zu aufgetretenen Schäden an Wasserverteilungsanlagen. Hierzu sind mindestens folgende Daten zu erfassen:

- Datum der Dokumentation
- Schadensdatum
- Lokalisation (z.B. Leitungs-ID, Koordinaten, Straße)
- Schadensstelle
- Schadensart
- Schadensursache
- Art der Schadensbeseitigung (Reparatur, Erneuerung)

Neben den Schadensdaten sollten weitere Zustandsinformationen zu den Wasserverteilungsanlagen erfasst werden. Sie liefern bei der Rehabilitationsplanung wertvolle Informationen für die Priorisierung von Maßnahmen. Die weiteren Zustandsdaten zu Wasserverteilungsanlagen liegen in der Regel nur punktuell vor.

Folgende Daten müssen erfasst werden:

- Datum der Zustandserfassung
- Lokalisation (z.B. Leitungs-ID, Koordinaten, Straße)
- Identifikations- und Plausibilitätsinformationen (z.B. Werkstoff, Nennweite, Rohrumhüllung, Verbindungsart)
- Bettung

- Leitungslage/-tiefe
- Überbauung
- Haftung der Rohrumhüllung
- Beschädigung der Rohrumhüllung
- Elastizität der Rohrumhüllung, soweit zutreffend
- Ausmaß der Außenkorrosion
- Form der Außenkorrosion
- Tiefe der Außenkorrosion
- Leitungszustand/Beschädigung (z.B. Riefen, Verformung)
- Innenablagerungen

Bei kathodisch geschützten Netzabschnitten können zusätzliche Zustandsinformationen aus den Messungen des kathodischen Korrosionsschutzes (KKS) gewonnen werden.

#### 4.4.5 Datenerfassung, -zuordnung und -speicherung

Die definierten und zu erfassenden Daten sind im Unternehmen zusammen zu führen, zu verarbeiten und sicher zu speichern. Sie bilden die Grundlage für die Entwicklung von Instandhaltungsstrategien und -planungen.

Der Nutzen, der für die Instandhaltung durch eine sachgerechte Auswertung von Bestands-, Zustands- und Umgebungsdaten erzielt werden kann, wird schon bei der Datenerfassung bestimmt. Er wächst einerseits mit der Quantität und Qualität der gesammelten Daten, andererseits mit den Zuordnungsmöglichkeiten der Einzelinformationen zu den entsprechenden Wasserverteilungsanlagen/Objekten (Betriebsmittel).

Die Datenerfassung hat vollständig, kontinuierlich und ohne Interpretation zu erfolgen. Die Daten sind für ein Versorgungsgebiet bzw. ein Versorgungsunternehmen einheitlich und auf der Grundlage von auszuwählenden, eindeutig definierten Vorgabewerten („Multiple choice“) zu erfassen.

Eine Datenerfassung kann mit Hilfe von mobilen Datenerfassungsgeräten oder handschriftlichen Formularen (hierbei sind Ankreuzformulare zu bevorzugen) erfolgen. Es ist sicherzustellen, dass alle Daten an einer Stelle oder in einem System digital zusammengefasst werden können (siehe DVGW GW 120 (A) [DVGW, 2010c]).

Es ist auf eine richtige Zuordnung der ermittelten Bestands-, Zustands- und Umgebungsdaten zu den zugehörigen Objektgruppen (z.B. PE-100-Rohrleitungen oder Armaturen) bzw. einzelnen Objekten zu achten. So sind beispielsweise Schäden am Baukörper der Armaturen nicht der Leitung zuzuordnen. Ebenso sind die Schadensdaten so zu erfassen, dass nicht instandhaltungsrelevante Ereignisse, wie z.B. Rohrschäden in Folge von Fremdeinwirkung, nachträglich ausgefiltert werden können.

Zur Verwendung der Datenbestände für die mittel- und kurzfristige Rehabilitationsplanung sind eine Georeferenzierung sowie eine eindeutige Zuordnung der Datensätze zu den zugehörigen Objekten erforderlich. Die Verwendung von ausgewählten georeferenzierten Zu-



stands- und Umgebungsdaten kann auch wichtige Informationen für die Festlegung der Rehabilitationsstrategie geben.

Eine Erfassung der Daten in georeferenzierten Systemen (GIS, Netzinformationssysteme, Rechnernetzmodelle) ist die beste Voraussetzung für die Auswertung und Nutzung von instandhaltungsrelevanten Daten. Werden die Daten nicht einzelnen Rohrleitungsabschnitten, sondern lediglich Rohrleitungs- oder Werkstoffgruppen zugeordnet, sind ortsbezogene Informationen, wie Umgebungsbedingungen – auch wenn sie verfügbar sind – nicht für die Rehabilitationsplanung auswertbar. Die Beziehung zu den Objekten (Betriebsmittel) sowie die Georeferenzierung sollten auch dann weiter bestehen, wenn die Objekte nicht mehr zum aktuellen Bestand des Netzes gehören, da auch die historischen Daten weiterhin wichtige Informationen für eine Rehabilitationsstrategie liefern.

#### 4.4.6 Statistik der Bestands- und Zustandsdaten (Statistische Auswertung)

##### Strukturierte Leitungs- und Schadensgruppierung

Zunächst sind Leitungen nach einheitlichen Kriterien zu gruppieren. Für die Leitungsgruppen sind anschließend Ausfallfunktionen zu ermitteln, auf deren Basis die künftige Ausfallwahrscheinlichkeit und Schadensentwicklung (Schadensraten) zu prognostizieren sind.

Eine Leitungsgruppierung erfolgt nach Rohrwerkstoffen (z.B. Stahl); sie ist möglichst zusätzlich nach den Untergruppen „Generation“ (z.B. Stahl nach 1980) und „Dimension“ (z.B. > DN 200) zu unterteilen. Eine Untergruppierung zur Differenzierung des Schadensverhaltens im Rohrnetz ist nur dann sinnvoll, wenn ausreichende statistische Mengen (einschließlich der aufgetretenen Leitungsschäden) und ein ausreichender Betrachtungszeitraum vorhanden sind.

Bei der statistischen Auswertung der Schäden ist zu berücksichtigen:

- Fremdverursachte Schäden sind zu eliminieren.
- Schäden an inzwischen stillgelegten Leitungen (historische Schäden) dürfen nur diesen stillgelegten Leitungen zugeordnet werden.
- Schäden, die der betrachteten Objektgruppe nicht angehören (z.B. Schäden an Armaturen oder Anbohrschellen) dürfen der betrachteten Leitung nicht zugeordnet werden.

##### Leitungen

Die weitergehende statistische Auswertung der Leitungsdaten liefert einen Überblick über die räumliche und zeitliche Struktur des Leitungsbestands im Wasserversorgungsnetz. Darüber hinaus bildet sie die Grundlage für weitere Analysen (Schadens- und Zustandsbewertungen).

Eine räumliche Auswertung der Leitungsdaten kann z.B. erfolgen für:

- das Gesamtnetz
- einen Stadtteil

- eine Druckzone
- einen Meisterbereich.

Eine zeitliche Auswertung der Leitungsdaten kann z.B. erfolgen für:

- einen bestimmten Zeitpunkt
- bestimmte Baujahre
- bestimmtes Alter der Leitungen.

Die Wahl der räumlichen und zeitlichen Auswertungen ergibt sich aus den jeweiligen Anforderungen der Aufgabenstellung, z.B. allgemeine Jahresstatistik, Zustandsbewertung von Leitungsgruppen.

Das Ergebnis der statistischen Auswertung kann entweder als absolute Größe, z.B. in m, km oder relativ in %, z.B. zur Gesamtlänge, oder spezifisch, z.B. pro km, vorliegen.

Die Ergebnisse können wie folgt dargestellt werden als:

- georeferenzierte Darstellung im GIS
- grafische Darstellung als Diagramm
- tabellarische Darstellung.

Die Auswertung zu einem bestimmten Zeitpunkt liefert eine Momentaufnahme der Verteilung von einzelnen Attributen oder Attributkombinationen der Leitungen, z.B. Werkstoff, Nennweite, Verbindungsart. Der gewählte Bezugszeitpunkt muss mit dem Stichtag des Datenbestands identisch sein.

Bei Vorliegen einer Zeitreihe der Leitungsdaten kann die historische Entwicklung des Leitungsbestands dargestellt werden. Hierdurch lässt sich beispielsweise der Umfang von Erneuerungs-, Neubau- und Rückbauaktivitäten in der Vergangenheit ermitteln.

Die statistische Auswertung der Leitungsdaten über die Baujahre liefert Informationen über den Wechsel verschiedener Herstellungs- und Verlegetechnologien. Außerdem lassen sich Perioden mit verstärkter und/oder geringer Bautätigkeit erkennen (siehe *Abb. 4.2*).

Die statistische Auswertung der Leitungsdaten über das Alter liefert die Altersstruktur des Netzes. Aus der Altersstruktur kann das Durchschnittsalter des Netzes berechnet werden.

Die statistische Verteilung der Leitungsdaten über die Baujahre bzw. das Alter kann einen ersten Anhaltspunkt für zukünftig erforderliche Rehabilitationsmaßnahmen liefern. Eine ausführliche weitergehende Analyse und Bewertung des aktuellen Leitungszustands und dessen künftiger Entwicklung ist aber in jedem Fall unerlässlich für die Ermittlung des tatsächlichen zukünftigen Erneuerungsbedarfs (siehe Verfahren in DVGW W 403 (M)).

##### Armaturen

Für eine Netz- und Schadenstatistik sind vor allem die Daten von Absperrarmaturen und Hydranten auszuwerten. Bei Armaturen ist die Funktionstüchtigkeit ein wesentliches Zustandsmerkmal und daher mit zu erfassen.

Ein weiteres Zustandsmerkmal ist die Zugänglichkeit bzw. die Bedienbarkeit der einzelnen Armaturen. Die dazu erforderliche Inspektion und Dokumentation ist in DVGW W 392 (A) geregelt. Die Beurteilung einer Ar-

matur muss immer im Zusammenhang mit der jeweiligen Schutzeinrichtung (z.B. Straßenkappen, Schächte) und der Beschilderungen gesehen werden.

Um innerhalb der großen Anzahl von Absperrarmaturen und Hydranten noch weitere gezielte statistische Aussagen bezüglich ihrer Bauart und Funktionsweise zu erhalten, empfiehlt es sich, bei Absperrarmaturen noch zwischen Schiebern, Klappen und Anbohrarmaturen und bei Hydranten zwischen Überflur- und Unterflur-Hydranten zu unterscheiden und entsprechend auch getrennt zu beurteilen.

Es ist sinnvoll, die statistische Auswertung zu einem einheitlichen Stichtag analog zu der Leitungsstatistik durchzuführen und die Ergebnisse als absolute Größe, aber auch relativ zur Gesamtzahl der überprüften Objekte, darzustellen. Dabei sind Kategorien wie

- Zugänglichkeit/Bedienbarkeit
- Fremdeinwirkung
- Korrosion/Werkstoffalterung
- Undichtheit des Baukörpers
- Defekt am Baukörper
- Funktionsuntüchtigkeit

zu unterscheiden, um dem Betrieb wichtige Hinweise zu geben, worauf beim Kauf, beim Einbau und beim Betrieb zu achten ist.

#### Anschlussleitungen

Für die statistische Auswertung (Netzbestand, Netzzustand) sind neben den Leitungen und Armaturen auch die Anschlussleitungen zu erfassen. Eine räumliche und zeitliche Auswertung sollte entsprechend der Leitungsauswertung erfolgen.

Obwohl Anschlussleitungen unterschiedliche Längen haben und aus unterschiedlichen Bauteilen bestehen können, sollte eine Auswertung gesamtheitlich je Anschlussleitung erfolgen.

Analog zu den Leitungen kann eine statistische Auswertung absolut und relativ zu bestimmten Gruppen (z.B. Werkstoff) und zur Gesamtzahl erfolgen. Die statistische Auswertung sollte zu einem einheitlichen Stichtag analog zu der Leitungsstatistik durchgeführt werden.

#### Schadensraten

Die aus der Schadenstatistik abzuleitende Schadensrate weist aus:

- allgemeine Schadensrate
- für Leitungen die jährliche Anzahl der Schäden je km Rohrleitung
- für Anschlussleitungen und Armaturen die jährliche Anzahl der Schäden je 1.000 Stück
- Alters- und werkstoffspezifische Schadensrate (Leitungen)
- die jährliche Anzahl der Schäden je Rohrwerkstoff (Gruppe) mit Gruppenleitungslänge
- die jährliche Anzahl der Schäden je Rohrwerkstoff und Nennweitenbereich (Gruppe) mit Gruppenleitungslänge.

Die allgemeine Schadensrate dient

- als Vergleichswert zwischen unterschiedlichen Gebieten oder unterschiedlichen Jahren (Betrachtungszeitpunkten)
- als Richtwert für die Gütebeurteilung eines Rohrnetzes.

Die alters- und werkstoffspezifische Schadensrate dient

- als Vergleichswert zwischen unterschiedlichen Gruppen und unterschiedlichen Jahren (Betrachtungszeitpunkte)
- als Richtwert für die Gütebeurteilung einer Gruppe
- als Basiswert für die Schadens- bzw. Ausfallprognose einer Gruppe.

Belastbare Schadenstatistiken bedingen eine statistisch ausreichende Anzahl von Schadensfällen und Schadensjahren (z.B. für belastbare Ausfallprognosen Schadensdaten über 10 Jahre bis 20 Jahre).

Eine Ermittlung der alters- und werkstoffspezifischen Schadensrate entfällt zwangsläufig bei Rohrnetzen mit geringen Schäden oder geringerer Netzlänge oder einheitlichem Werkstoff.

#### 4.4.7 Qualitätssicherung bei der Datenerfassung und -auswertung

Die Datenerfassung und -auswertung erfordert ein Höchstmaß an Zuverlässigkeit, da sich bei fehlerhaften Ergebnissen aus der Netz- und Schadenstatistik folgenschwere Fehlentscheidungen für die Rehabilitation der Wasserverteilungsanlagen ergeben können. Die im Unternehmen abgestimmten Definitionen und Verfahrensweisen bei der Datenerfassung und -auswertung müssen dauerhaft eingehalten werden. Nur so kann ein stetig wachsender, konsistenter Datenbestand geschaffen werden, der als Grundlage für die Instandhaltung, insbesondere für die Rehabilitation gemäß DVGW W 400-3 (A) und DVGW W 403 (M) dienen kann.

Die erfassten Daten sind regelmäßig auf Plausibilität zu prüfen. Die erste Plausibilitätsprüfung muss bereits bei der Datenerfassung erfolgen. So können bei der Verwendung von elektronischen Eingabegeräten bzw. bei der Eingabe der handschriftlich aufgezeichneten Datensätze fehlerhafte Dateneingaben durch softwareinterne Prüfungen von Wertekombinationen (z.B. Mulden- oder Flächenkorrosion an Kunststoffleitungen) gesperrt und so schon vor der endgültigen Übernahme identifiziert und korrigiert werden. Mit zusätzlichen Prüfungen des Gesamtbestandes (z.B. jährlich) müssen in einem zweiten Schritt vor und während der Datenauswertung systematische Inkonsistenzen und fehlerhafte Datenverknüpfungen (z.B. zwischen Rohr Schaden und falschem Leitungsabschnitt) ermittelt und eliminiert werden.

#### 4.4.8 Nutzen der DVGW-Schadensstatistik Wasser für die Rehabilitationspraxis

Die DVGW-Schadensstatistik Wasser basiert auf verdichteten Daten zu Schadensfällen in Wasserverteilungsanlagen. Die Daten sollten jährlich von den Wasserversorgungsunternehmen an den DVGW übermittelt werden.

Die DVGW-Schadensstatistik Wasser dient einer zusammenfassenden, anonymisierten und bundesweiten Darstellung der Schadens- und Netzentwicklung.

Die verdichteten Daten zum Netzbestand und den Wasserverlusten dienen insbesondere Rehabilitationspraxis. Sie sind auch relevant für internationale Vergleiche.

**Beispiele für Erfassungsformulare**

**Zustandsdaten Erfassungsbogen**

Lagebeschreibung des Leitungsbefunds		
Gemeinde :	_____	Werkstoff <input type="text"/>
Ortsteil :	_____	Nennweite <input type="text"/>
Lagebeschreibung:	_____	Baujahr <input type="text"/>
Leitungsart :	<input type="text"/>	RohrUmhül <input type="text"/>
		Verbind.Art <input type="text"/>

Befundsattribute: (Zustand der Leitung)																				
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr style="background-color: #e0e0e0;"> <th>Bettung</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td><input type="checkbox"/> unterbaut punktf.</td></tr> <tr><td><input type="checkbox"/> im Schacht</td></tr> <tr><td><input type="checkbox"/> im Sandbett</td></tr> <tr><td><input type="checkbox"/> steinfreier Boden</td></tr> <tr><td><input type="checkbox"/> steiniger Boden</td></tr> <tr><td><input type="checkbox"/> keine Angaben</td></tr> </tbody> </table>	Bettung	<input type="checkbox"/> unterbaut punktf.	<input type="checkbox"/> im Schacht	<input type="checkbox"/> im Sandbett	<input type="checkbox"/> steinfreier Boden	<input type="checkbox"/> steiniger Boden	<input type="checkbox"/> keine Angaben	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr style="background-color: #e0e0e0;"> <th>Leitungslage Tiefe</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td><input type="checkbox"/> gut</td></tr> <tr><td><input type="checkbox"/> zu flach</td></tr> <tr><td><input type="checkbox"/> zu tief</td></tr> <tr><td><input type="checkbox"/> nicht parallel</td></tr> <tr><td><input type="checkbox"/> keine Angaben</td></tr> </tbody> </table>	Leitungslage Tiefe	<input type="checkbox"/> gut	<input type="checkbox"/> zu flach	<input type="checkbox"/> zu tief	<input type="checkbox"/> nicht parallel	<input type="checkbox"/> keine Angaben	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr style="background-color: #e0e0e0;"> <th>Leitungslage Sonstiges</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td><input type="checkbox"/> nicht überbaut</td></tr> <tr><td><input type="checkbox"/> überbaut durch Bäume</td></tr> <tr><td><input type="checkbox"/> überbaut durch Fremdtg</td></tr> <tr><td><input type="checkbox"/> keine Angaben</td></tr> </tbody> </table>	Leitungslage Sonstiges	<input type="checkbox"/> nicht überbaut	<input type="checkbox"/> überbaut durch Bäume	<input type="checkbox"/> überbaut durch Fremdtg	<input type="checkbox"/> keine Angaben
Bettung																				
<input type="checkbox"/> unterbaut punktf.																				
<input type="checkbox"/> im Schacht																				
<input type="checkbox"/> im Sandbett																				
<input type="checkbox"/> steinfreier Boden																				
<input type="checkbox"/> steiniger Boden																				
<input type="checkbox"/> keine Angaben																				
Leitungslage Tiefe																				
<input type="checkbox"/> gut																				
<input type="checkbox"/> zu flach																				
<input type="checkbox"/> zu tief																				
<input type="checkbox"/> nicht parallel																				
<input type="checkbox"/> keine Angaben																				
Leitungslage Sonstiges																				
<input type="checkbox"/> nicht überbaut																				
<input type="checkbox"/> überbaut durch Bäume																				
<input type="checkbox"/> überbaut durch Fremdtg																				
<input type="checkbox"/> keine Angaben																				
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr style="background-color: #e0e0e0;"> <th>Rohrumhüllung Haftung</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td><input type="checkbox"/> gut haftend</td></tr> <tr><td><input type="checkbox"/> schlecht haftend</td></tr> <tr><td><input type="checkbox"/> keine Angaben</td></tr> </tbody> </table>	Rohrumhüllung Haftung	<input type="checkbox"/> gut haftend	<input type="checkbox"/> schlecht haftend	<input type="checkbox"/> keine Angaben	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr style="background-color: #e0e0e0;"> <th>Rohrumhüllung Beschädigung</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td><input type="checkbox"/> unbeschädigt</td></tr> <tr><td><input type="checkbox"/> beschädigt</td></tr> <tr><td><input type="checkbox"/> keine Angaben</td></tr> </tbody> </table>	Rohrumhüllung Beschädigung	<input type="checkbox"/> unbeschädigt	<input type="checkbox"/> beschädigt	<input type="checkbox"/> keine Angaben	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr style="background-color: #e0e0e0;"> <th>Rohrumhüllung Elastizität</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td><input type="checkbox"/> elastisch</td></tr> <tr><td><input type="checkbox"/> spröde</td></tr> <tr><td><input type="checkbox"/> keine Angaben</td></tr> </tbody> </table>	Rohrumhüllung Elastizität	<input type="checkbox"/> elastisch	<input type="checkbox"/> spröde	<input type="checkbox"/> keine Angaben						
Rohrumhüllung Haftung																				
<input type="checkbox"/> gut haftend																				
<input type="checkbox"/> schlecht haftend																				
<input type="checkbox"/> keine Angaben																				
Rohrumhüllung Beschädigung																				
<input type="checkbox"/> unbeschädigt																				
<input type="checkbox"/> beschädigt																				
<input type="checkbox"/> keine Angaben																				
Rohrumhüllung Elastizität																				
<input type="checkbox"/> elastisch																				
<input type="checkbox"/> spröde																				
<input type="checkbox"/> keine Angaben																				
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr style="background-color: #e0e0e0;"> <th>Außenkorrosion Ausmaß</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td><input type="checkbox"/> keine</td></tr> <tr><td><input type="checkbox"/> wenige/geringe</td></tr> <tr><td><input type="checkbox"/> viele/starke</td></tr> <tr><td><input type="checkbox"/> keine Angaben</td></tr> </tbody> </table>	Außenkorrosion Ausmaß	<input type="checkbox"/> keine	<input type="checkbox"/> wenige/geringe	<input type="checkbox"/> viele/starke	<input type="checkbox"/> keine Angaben	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr style="background-color: #e0e0e0;"> <th>Außenkorrosion Form</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td><input type="checkbox"/> punktförmig</td></tr> <tr><td><input type="checkbox"/> großflächig</td></tr> <tr><td><input type="checkbox"/> keine Angaben</td></tr> </tbody> </table>	Außenkorrosion Form	<input type="checkbox"/> punktförmig	<input type="checkbox"/> großflächig	<input type="checkbox"/> keine Angaben	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr style="background-color: #e0e0e0;"> <th>Außenkorrosion Tiefe</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td><input type="checkbox"/> flache</td></tr> <tr><td><input type="checkbox"/> tiefe</td></tr> <tr><td><input type="checkbox"/> keine Angaben</td></tr> </tbody> </table>	Außenkorrosion Tiefe	<input type="checkbox"/> flache	<input type="checkbox"/> tiefe	<input type="checkbox"/> keine Angaben					
Außenkorrosion Ausmaß																				
<input type="checkbox"/> keine																				
<input type="checkbox"/> wenige/geringe																				
<input type="checkbox"/> viele/starke																				
<input type="checkbox"/> keine Angaben																				
Außenkorrosion Form																				
<input type="checkbox"/> punktförmig																				
<input type="checkbox"/> großflächig																				
<input type="checkbox"/> keine Angaben																				
Außenkorrosion Tiefe																				
<input type="checkbox"/> flache																				
<input type="checkbox"/> tiefe																				
<input type="checkbox"/> keine Angaben																				
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr style="background-color: #e0e0e0;"> <th>Leitungszustand</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td><input type="checkbox"/> unbeschädigt</td></tr> <tr><td><input type="checkbox"/> Längsriefen</td></tr> <tr><td><input type="checkbox"/> Querkerben</td></tr> <tr><td><input type="checkbox"/> Verformung</td></tr> <tr><td><input type="checkbox"/> sonstiges</td></tr> <tr><td><input type="checkbox"/> keine Angaben</td></tr> </tbody> </table>	Leitungszustand	<input type="checkbox"/> unbeschädigt	<input type="checkbox"/> Längsriefen	<input type="checkbox"/> Querkerben	<input type="checkbox"/> Verformung	<input type="checkbox"/> sonstiges	<input type="checkbox"/> keine Angaben	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr style="background-color: #e0e0e0;"> <th>Innenablagerungen</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td><input type="checkbox"/> Keine</td></tr> <tr><td><input type="checkbox"/> wenige/geringe</td></tr> <tr><td><input type="checkbox"/> viele/starke</td></tr> <tr><td><input type="checkbox"/> keine Angaben</td></tr> </tbody> </table>	Innenablagerungen	<input type="checkbox"/> Keine	<input type="checkbox"/> wenige/geringe	<input type="checkbox"/> viele/starke	<input type="checkbox"/> keine Angaben							
Leitungszustand																				
<input type="checkbox"/> unbeschädigt																				
<input type="checkbox"/> Längsriefen																				
<input type="checkbox"/> Querkerben																				
<input type="checkbox"/> Verformung																				
<input type="checkbox"/> sonstiges																				
<input type="checkbox"/> keine Angaben																				
Innenablagerungen																				
<input type="checkbox"/> Keine																				
<input type="checkbox"/> wenige/geringe																				
<input type="checkbox"/> viele/starke																				
<input type="checkbox"/> keine Angaben																				

Erfasser: _____	_____	_____
Abteilung	Name	Datum, Uhrzeit

Abb. 4.8: Muster Zustandsdaten Erfassungsbogen (aus [DVGW, 2010a])



Tab. 4.3: Bestandsdaten (X= erforderlich, O=optional, - nicht erforderlich/verfügbar)

Attribut Bestandsdaten	Objekte		
	Leitungsabschnitt	Armatur	Anschlussleitung
Lokalisation (z.B. Leitungs-ID, Koordination, Straße)	X	X	X
Leitungsart (Zubringerleitung, Hauptleitung, Versorgungsleitung, Anschlussleitung)	X	-	X
Bauteiltyp (z.B. Rohr, Formstück, Scheber, Klappen, Hydranten, Be- und Entlüftungsventile, Anbohrarmatur)	-	X	-
Werkstoff	X	X	X
Hersteller	O	X	O
Länge des Leitungsabschnittes	X	-	X
Nennweite bzw. Außen- oder Innendurchmesser	X	X	X
Einbaujahr	X	X	X
Jahr der Stilllegung (dauerhafte Außerbetriebnahme)	X	-	X
Jahr der erfolgten Rehabilitation	X	O	X
Art der erfolgten Rehabilitation	O	O	O
Betriebsdruck (OP)	O	O	O
Höchster zulässiger Bauteilbetriebsdruck (PMA)	X	X	X
Verbindungen	X	X	-
Weitere Technische Daten (z.B. Wanddicke, SDR, Art der Umhüllung, ...)	O/X <sup>a</sup>	-	O

a. Erforderliche Angabe für Fern- und Zubringerleitungen

#### 4.4.9 Schadenserfassung im Unternehmen und Auswertung mit EDV

##### 4.4.9.1 Schadenserfassung im Unternehmen und Auswertung mit EDV

Die heutige Datenverarbeitungstechnik bietet vielfältige Möglichkeiten der Erfassung, Auswertung und Darstellung von Schadensereignissen. Ausgangspunkt für die Schadensstatistik sind sowohl die Bestandskarten als auch die Schadensberichte der Wasserversorgungsunternehmen. Dabei muss derzeit noch von verfügbaren Kartengrundlagen der Versorgungsunternehmen ausgegangen werden, obwohl bundesweit an den Geografischen Informationssystemen (GIS) gearbeitet wird [DVGW, 1998b], [DVGW, 1998a].

In der Regel werden in allen Versorgungsunternehmen nur Schäden mit Wasserverlusten erfasst, die jedoch nur mittelbar Auskunft über den Zustand der Rohrleitung geben können.

Zukünftig sollte jedoch die *technische Zustandsbewertung* Grundlage der Rehabilitationsstrategie werden, wofür die bei Reparaturarbeiten zu bergenden Rohrstücken hinsichtlich der Sanierungsfähigkeit der jeweiligen Rohrleitung zu beurteilen sind.

Aus den *Bestandskarten* können entnommen werden

- geografische Lage der Rohrleitungsabschnitte, Armaturen und Hausanschlüsse sowie
- Rohrmaterial, DN, Verlegejahr (ggf. Korrosionsschutz).

Schadensberichte liefern in der Regel folgende Angaben:

- Schadensort (Stadtteil, Straße, Hausnummer, Lage),

- Zeitpunkt des Auftretens, der Meldung und Schadensbeseitigung),
- Schadensart (HL, VL, AL, H, S, VE),
- Technologie und Kosten der Schadensbeseitigung

sowie Angaben über die Schadensart:

- Rundriss (bzw. Querriss),
- Längsriss,
- Schalenbruch,
- Korrosionsart (z.B.: Lochschaden /Lochfraß),
- Armaturenschäden,
- Hausanschlüsse.

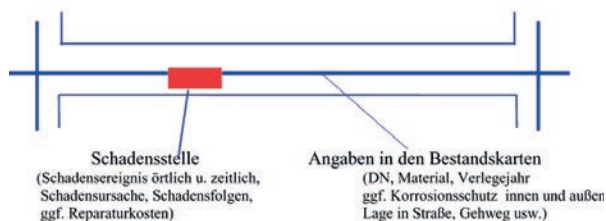


Abb. 4.9: Angaben aus Bestandskarten und den Schadensberichten [Roscher et al., 2000]

##### 4.4.9.2 Schadensstatistik als Planungsgrundlage?

Den Erneuerungsbedarf von Wasserrohrnetzen versuchte man anfangs mit Hilfe der Rohrnetzstatistik, insbesondere der Schadensrate zu ermitteln (siehe [Hofer, 1978], [Weimer, 1979]).

[Kottmann, 1978] befasste sich in seiner Dissertation und in verschiedenen Veröffentlichungen mit der Ermittlung von Schadensursachen und ihrer Vorhersage

und machte insbesondere auf die Notwendigkeit der Lebensdauererweiterung der Rohrnetze aufmerksam.

In der DDR befassten sich 1985 Michalik, Schweiger und Ahrens mit Schäden, Schadensursachen sowie der erforderlichen Erneuerung von Wasserrohrnetzen und veröffentlichten dazu [Michalik, 1985], [Michalik und Schweiger, 1986], [Schweiger et al., 1985].

Bärthel hatte bereits 1975/76 mit seinen Untersuchungen zur „Brauchbarkeitsdauer“ den Nachweis erbracht, dass das Alter einer Rohrleitung kein Kriterium für die Lebenserwartung einer Rohrleitung und damit einer erforderlichen Erneuerung ist [Bärthel, 1975a], [Bärthel, 1976].

In der derzeitigen Praxis vieler Unternehmen erfolgt die Erneuerung von Leitungen dort, wo die größte Schadensanzahl auftritt, d.h., es erfolgt die Auswechslung des schlechtesten Elementes eines Systems (**Feuerwehrstrategie: Löschen, wo es brennt**).

**Der größte Mangel solcher Strategien besteht darin, dass eine Reaktion nur bei Eintritt von Schadensereignissen erfolgt.**

Welche Folgen ein solches Vorgehen (fehlende oder verzögerte Rehabilitation) hat, wurde von Ahrens im Vergleich von West- und Ostberlin aufgezeigt (siehe [Roscher et al., 2000], Seiten 124–136).

Nach W 401 [DVGW, 2005b] ist ein Schaden „*Eine lokale unzulässige Beeinträchtigung der Funktionsfähigkeit – in aller Regel mit Wasseraustritt verbunden*“, nach DIN 31051 [DIN, 2003a] ist ein Schaden „*Im Sinne der Instandhaltung einer Betrachtungseinheit nach Unterschreiten eines bestimmten (festzulegenden) Grenzwertes des Abnutzungsvorrats, der eine im Hinblick auf die Verwendung unzulässige Beeinträchtigung der Funktionsfähigkeit bedingt.*“ [Roscher, o.J.a]

Das heißt, Schäden werden in Wasserrohrnetzen nur erfasst, wenn ein Wasseraustritt erfolgt, die Schadensstatistik kann daher nur eine Aussage über die Ausfallwahrscheinlichkeit geben, wobei die Zunahme über einen bestimmten Zeitraum von Interesse ist. Die Anwendung schadensstatistischer Methoden setzt also einen möglichst langen Erfassungszeitraum voraus.

Schäden bleiben oft über Jahrzehnte unerkannt, z.B. Muffenaustrieb und Rohrwandperforation bei Korrosionsschäden in bindigen Böden oder wenn das Wasser ungehindert versickern kann. Sofort erkennbare Schäden dagegen sind z.B. Schalenbrüche, Oberflächenleckagen an Armaturen (Schiebern, Hydranten, Hausanschlüssen), Kundenreklamationen wegen „Rostwasser“. Wasserverlustmessungen und Leckortungen sind erforderlich, um Schäden in Rohrnetzteilen oder an einzelnen Leitungen nachzuweisen.

Schäden entstehen oftmals über einen langen Zeitraum, da bestimmte Schädigungen (z.B. Korrosion durch Ablättern oder Abtragen der inneren bituminösen Korrosionsschicht) erst nach einer langen Betriebszeit eintreten oder die Lagerungsbedingungen und Belastungen während der Betriebszeit sich ändern (Arbeiten an benachbarten Leitungen oder Verkehrsbelastungen). Fehlende Korrosionsschutzmaßnahmen verursachen Jahr-

zehnte später ein Vielfaches der Kosten eines guten Korrosionsschutzes.

Möglichkeiten und Grenzen der Schadensstatistik wurden von [Roscher, o.J.b] behandelt und dazu festgestellt:

In der Regel werden in allen Wasserversorgungsunternehmen und auch nach W 401 [DVGW, 2005b] nur Schäden mit Wasserverlust erfasst und statistisch ausgewertet (Rundriss, Längsriss, Schalenbruch, Korrosionsart, Schäden an Armaturen und Hausanschlüssen).

Die Schadensberichte können gegenwärtig mit der verfügbaren Datenverarbeitungstechnik in vielfältiger Weise gespeichert und verarbeitet werden, wie :

- Auflistung der Schäden nach Straßen und Ermittlung der Rangfolge der erforderlichen Sanierungs- oder Erneuerungsmaßnahmen,
- statistische Darstellung in Diagrammen nach Schadensarten für das gesamte Versorgungsgebiet oder für Teilgebiete,
- Visualisierung der Schadensereignisse in Bestandskarten,
- Auswertung von Schadensereignissen nach der Zeit (Jahre, Monate, Tage), ggf. verknüpft mit meteorologischen und klimatologischen Daten (z.B. Frostperioden, Niederschlagsereignisse usw.),
- Verknüpfung der Schadensdaten mit Karten über Grundwasserständen, Bodenarten, Lage von Gleichstrombahnen oder Bauten mit großen Stahlbetonfundamenten,
- Trübungsmeldungen im Rohrnetz usw.

**Der Zustand der Rohrleitungen ist durch die Schadensstatistik jedoch nur bedingt einzuschätzen, da in der Regel keine Bewertung des Zustandes der Leitungen mit den statistischen Erhebungen verbunden ist.** Zukünftig muss die **Zustandsbewertung** zur Ermittlung des Rehabilitationsbedarfes und der anzuwendenden Sanierungs- oder Erneuerungsverfahren einbezogen werden.

Der Schadensstatistik sind durch nachfolgende Einflussfaktoren Grenzen gesetzt:

- In der Regel werden nur Schäden mit Wasserverlust erfasst; Schäden ohne nennenswerte Wasserverluste dagegen nicht,
- Fehler bei der Erfassung und Auswertung von Schäden durch unzureichende Sachkenntnis und unvollständige Schadensberichte (etwa 75 bis 80 % durch unvollständige bzw. fehlerhafte Angaben),
- es wird keine Einteilung der Schäden innerhalb der Rohrmaterialien nach Leitungs- oder Materialgruppen vorgenommen,
- wiederauftretende Schäden an instandgesetzten Leitungen werden erneut als Schäden erfasst,
- Schäden durch außergewöhnliche Naturereignisse (Frost mit großer Tiefe, Austrocknen der Böden) werden in der Regel nicht repariert,
- Schäden durch zeitweilige Verkehrsbelastungen (Verkehrsumleitungen über Straßen mit Grauguss-



leitungen kleiner Nennweiten und darauf folgenden Bruchschäden – insbesondere Querrisse aufgrund nicht ausreichender Biegezugspannung) werden nicht separat ausgewiesen,

- Folgeschäden durch zu nahe oder tiefere Verlegung von anderen Leitungssystemen sind aus der Schadensstatistik nicht erkennbar,
- durch den neuzeitlichen Straßenbau – Bau dichter Fahrbahndecken – werden Schäden nicht erkannt oder es tritt Wasser an anderer Stelle als der Schadensstelle aus,
- Schäden und Schwachstellen durch Streu- und Fremdströme werden ebenfalls als Schäden registriert.

In Zukunft zu erwartende Schäden sind insbesondere

- Korrosionsschäden durch Stahlbetonfundamente (Untersuchungen von Skarda Zürich bereits 1990) und
- Schäden an PE-Leitungen durch fehlende oder schlechte Bettung, Eindringen von Steinen,

so dass Verschiebungen in den Schadensstatistiken der Wasserversorgungsunternehmen und des DVGW insgesamt zu erwarten sind.

Zeitl stellte dazu bereits 1989 fest [Zeitl, 1989]:

Die Schadensstatistik kann jedoch nicht die Fachkenntnis und Berufserfahrung des Rohrnetzingersetzen – die Statistik ist lediglich ein aussagefähiges **Hilfsmittel**. Mit der Schadensstatistik werden in der Regel Fehler vergangener Jahrzehnte erfasst.

Damit ergibt sich die Frage: Welche Leitungen sind zu erneuern oder zu sanieren, wobei die

- die Netzerfahrung der Planer,

- das Alter der Leitung,
  - die Anzahl der auftretenden Schäden,
  - hydraulische und hygienische Gesichtspunkte sowie
  - geplante Straßenbaumaßnahmen
- berücksichtigt werden müssen.

### Aussagen der Statistik

Welche Fragen kann die Statistik beantworten?

Ermittelt werden können:

- Anzahl und Art der Schäden,
- Häufigkeit bezogen auf die Leitungsstrecke,
- Aggregierte Werte wie Schadensrate/km · n Jahre,
- Alter und Material.

### Wichtig ist die Zeitdauer der Erhebung.

Welche Fragen können die Statistik und statistische Methoden nicht beantworten? Insbesondere sind das:

- der materialtechnische Zustand der Rohrleitungen (sanierungsfähig oder nicht) und
- das einzusetzende Sanierungs- oder Erneuerungsverfahren.

#### 4.4.9.3 Schadensstatistische Auswertung

Die schadensstatistische Auswertung kann nach unterschiedlichen Kriterien erfolgen, z.B.:

- Materialarten (Guss, Stahl, AZ usw.),
- Alter der Rohrleitungen (Verlegezeitpunkt),
- Schadensarten (Korrosion, Bruch usw.),
- Leitungsabschnitten,
- Teilversorgungsgebieten.

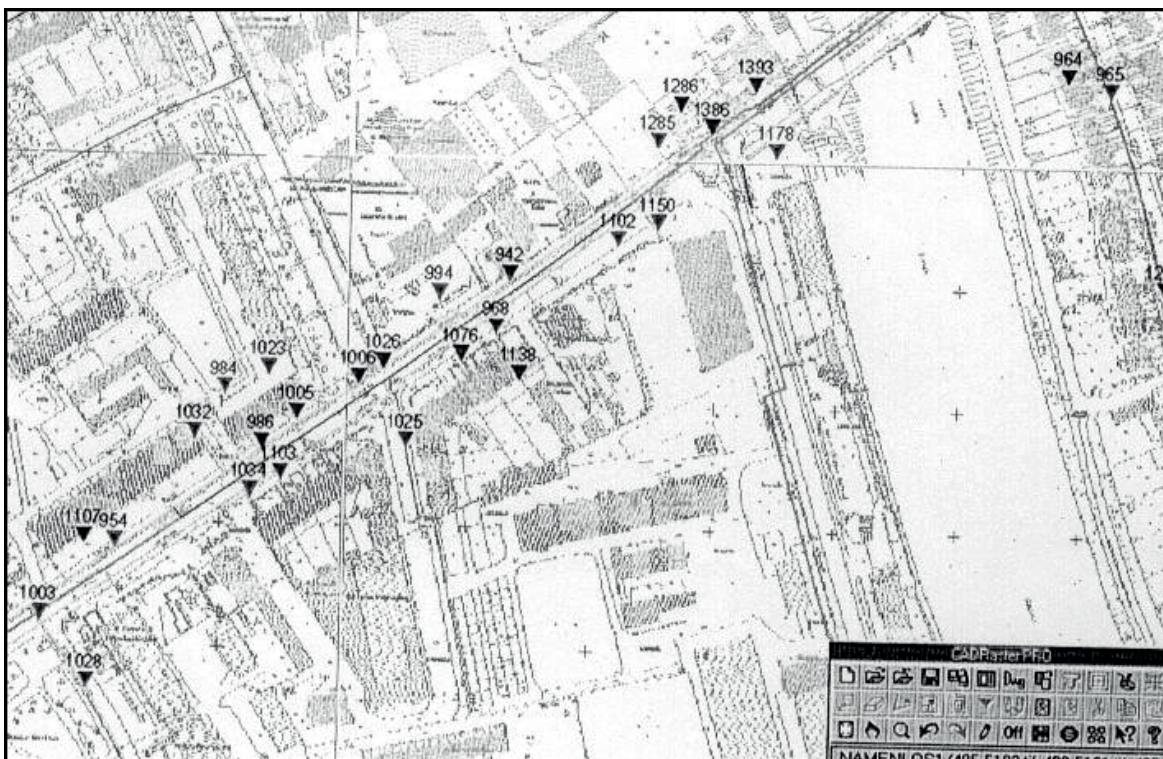


Abb. 4.10: Visualisierung von Schäden (Schadenshäufung in einer Straße)





Abb. 4.11: Einteilung in Teilversorgungsgebiete (Stadtzentrum Erfurt, weitere Unterteilung erfolgte nach Straßenstruktur)

Für die schadensstatistische Auswertung ist die Unterteilung in Versorgungszonen oder von Teilversorgungsgebieten zu empfehlen, wobei möglichst das gleiche Rohrmaterial oder die gleiche Verlegezeit innerhalb der Teilgebiete vorhanden sein sollten.

Schäden können EDV-gestützt gespeichert und eine Visualisierung in Karten (Schadenskarte) vorgenommen werden (ff Forschungsarbeiten des Verfassers).

Dazu wurde z.B. in Erfurt an alle Leitungsstrecken (von Netzknotenpunkt zu Netzknotenpunkt) eine ID-Nummer vergeben. Nennweiten-, Durchmesser und Materialwechsel sind bei der Vergabe der ID-Nummer gleichbedeutend mit einem Netzknotenpunkt. Schäden wurden nach Hausnummern den Leitungsstrecken (bzw. ID-Nummern) zugeordnet.

Auf dieser Grundlage werden alle statistischen Auswertungen von Schadensberichten vorgenommen und visualisierte Schadenskarten erzeugt.

Des Weiteren wurde mit der Bilddokumentation von Schadensereignissen und der technischen Zustandsbewertung sowie mit dem Aufbau einer Datenbank begonnen, in der Karten, Schadensereignisse und Zustandsbewertungen gespeichert werden können.

Durch die Visualisierung von Schäden können auch Einflussfaktoren (Verkehrsbelastung und die daraus resultierende Bruchgefährdung bei GG- und AZ-Rohren sichtbar gemacht werden). Weiterhin Änderungen innerhalb einer Straße, z.B. bisherige Lage im Rad- oder Fußweg und spätere Verbreiterung der Straße und damit Lage in Fahrstreifen mit hoher Verkehrsbelastung.

Die Bodenart hat ein großen Einfluss auf das Korrosionsverhalten von Werkstoffen. Die Schadenskarten können mit Boden- und Grundwasserkarten überlagert werden.

#### 4.4.9.4 Ergebnisse schadensstatistischer Auswertungen

Die Analyse der Alters- und Materialstruktur der Rohrnetze zeigt, von welchem Zeitpunkt an welche Rohrmaterialien eingesetzt wurden, ermöglicht ihre Zuordnung zu Leitungsgruppen und lässt in gewissem Umfang Rückschlüsse auf den Sanierungs- und Erneuerungsbedarf zu.

Die Abb. 4.1 und Abb. 4.2 zur Alters- und Materialstruktur von Stuttgart und Erfurt zeigen signifikant die Unterschiede zwischen west- und ostdeutschen Städten im Zeitraum von 1945 bis 1990.

Erfurt besitzt einen höheren Anteil an Graugussleitungen der 1. und 2. Generation sowie aus der Zeit von 1945 bis 1989 mit unzureichendem Korrosionsschutz und einem geringen Anteil an Duktulgussrohrleitungen. Die Duktulgussrohrleitungen werden in Stuttgart bereits in 1. und 2. Generation (GGG 1 und GGG 2) unterteilt. Der Anteil von Stahlrohrleitungen, besonders der schadensanfälligen aus der Zeit von 1945 bis 1989, ist in Erfurt wesentlich höher als in Stuttgart. Außerdem sind im Rohrnetzbestand von Erfurt Asbestzementrohrleitungen vorhanden. Hinzu kommt der geringe Umfang von Sanierungsmaßnahmen in Erfurt in diesem Zeitraum.

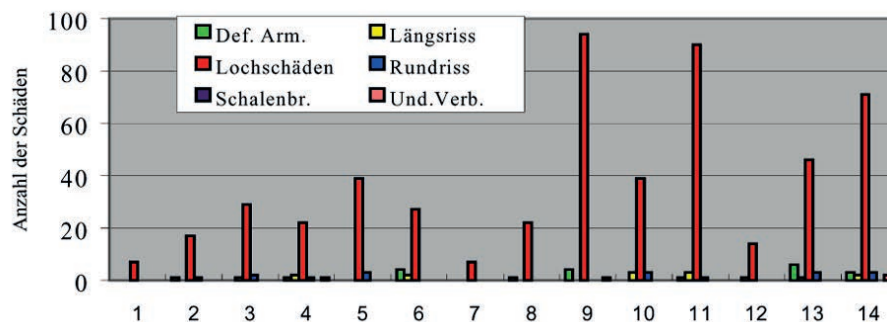


Abb. 4.12: Schadensart/Materialart – Stahlrohrleitungen nach Schadensarten

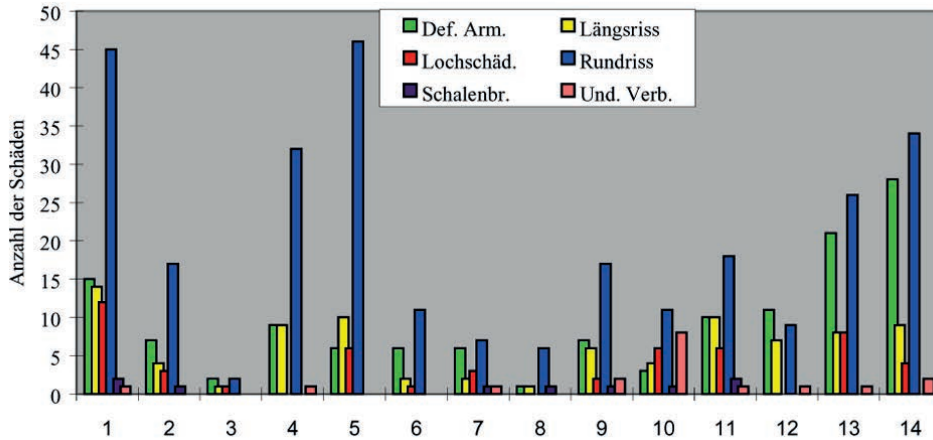


Abb. 4.13: Schadensart/Materialart – Gussrohrleitungen nach Schadensart

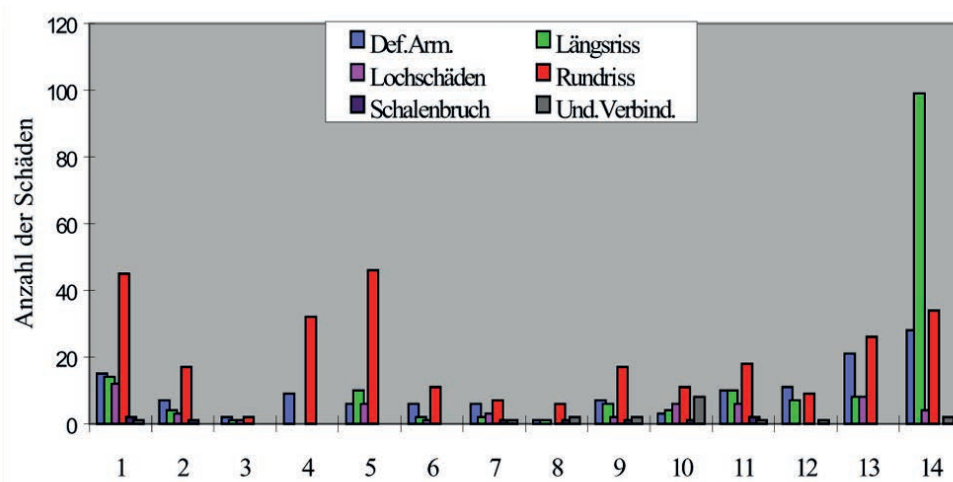


Abb. 4.14: Schadensart/Materialart – Außenkorrosion

Die nachfolgenden Diagramme zeigen Beispiele statistischer Auswertungen (Erfurt) nach verschiedenen Kriterien, wobei eine Unterteilung in Teilgebiete erfolgte z.B.:

- Stahlrohrleitungen nach Schadensarten (Abb. 4.12),
- Gussrohrleitungen nach Schadensarten (Abb. 4.13),
- Außenkorrosion (Abb. 4.14),

#### 4.5 Wasserverlustermittlung (W392 derzeitige Fassung, W392 liegt im Entwurf vor)

##### 4.5.1 Wasserverluste in Trinkwassernetzen – ein Dauerproblem

Unter **Wasserverlust** versteht man die Differenz zwischen verkaufter Menge und der in das Rohrnetz eingespeisten Menge.

Wasserverluste sind eine Folge von **technischen Mängeln** des Rohrnetzes aufgrund von **Rohrnetzschäden** und zugleich **betriebswirtschaftlicher Verluste** der Wasserversorgungsunternehmen. Ein negativer Einfluss von **Leckagen** des Rohrnetzes, **insbesondere bei**

**Schalenbrüchen oder Rissen mit großer Wasserverlustmenge**, auf die Trinkwassergüte ist nicht auszu-schließen. Das an Leckstellen austretende Wasser kann weiterhin die Feinanteile des Bodens austragen und eine Gefahr für den Straßenverkehr und Gebäude darstellen.

Technische, hygienische, betriebswirtschaftliche und haftungsrechtliche Gesichtspunkte zwingen die Wasserversorgungsunternehmen, sich mit Wasserverlust zu befassen.

Zielsetzung der Überwachung von Trinkwasserversorgungsnetzen sind daher

- die Erhaltung der Betriebssicherheit,
- die Einhaltung der Trinkwassergüte,
- die Verringerung bzw. Geringhaltung der Wasserverluste,
- die frühzeitige Erkennung von Störungen,
- die Abwendung von Schäden.

Die Wasserverlustanalyse wird aber auch zur Schadensermittlung im Rohrnetz herangezogen.

Wasserverluste sind ein Dauerproblem seit Bestehen der einheitlichen Wasserversorgung. Bereits 20 Jahre nach der Grahn'schen Veröffentlichung über die Wasserversorgung im Deutschen Reich [Grahn, 1883 sowie

1898/1902] befasste sich Frühling 1904 mit der Frage der Wasserverluste und nannte auch Schadensursachen aus der Anfangszeit der einheitlichen Wasserversorgung:

*„Neben den bereits hervorgehobenen Wasserverlusten im Innern der Häuser traten noch solche außerhalb der Gebäude auf, welche durch undichte Stellen im Leitungsnetz entstehen und bei den Nachweisungen der Wasserwerke häufig unter den Leistungen für öffentliche Zwecke mit eingefügt sind. Ein Rohrbruch verrät sich bald durch verminderten Druck in den Hausleitungen, sowie durch Austreten des Wassers aus den Fugen des Pflasters oder durch Eindringen in die Keller der benachbarten Häuser; schwieriger aber ist das Auffinden kleiner Leckstellen, namentlich in solchen Fällen, in welchen der Untergrund durchlässig ist und das entwichene Wasser dem Grundwasser oder den neben den Entwässerungskanälen liegenden Sickerleitungen zufließen kann.....Die Leckstellen bestanden vielfach in schadhafte Bleileitungen, welche durch Stöße in der Leitung geborsten waren, in undicht gewordenen Verbindungen der Hydranten, in Rohrbrüchen an Stellen, wo die Leitung auf altem Mauerwerk auflag u.s.w. – Der durchschnittliche tägliche Wasserverbrauch in Frankfurt a. M. hatte bis 1885 138 l betragen, wovon bei 53 l Verlust nur 85 l nutzbar gemacht wurden.“* [Frühling, 1904]

Der korrelative Zusammenhang von Wasserverlusten und Schäden an Rohrleitungen und Armaturen des Wasserversorgungsnetzes ist nahe liegend und wurde in der Literatur der letzten 30 Jahre von mehreren Autoren beschrieben und nachgewiesen. [Irle, 1984] versuchte die Zusammenhänge zwischen Wasserverlusten, Bodenaggressivität und Schadenshäufigkeit aufgrund von Beispieluntersuchungen darzustellen und kam zu dem Ergebnis, dass die Schadenshäufigkeit und der Jahreswasserverlust in unmittelbarem Zusammenhang stehen, der Jahreswasserverlust von Niederschlagshöhen, Grundwasserständen, aggressiven Bodenverhältnissen abhängig ist. Rohrnetze mit hohen Wasserverlusten sollten in kürzerem Turnus überprüft werden, und in aggressiven Böden sollten nur Rohrmaterialien mit entsprechendem Außenschutz zum Einsatz kommen.

#### 4.5.2 Wasserverluste durch Lochkorrosion bei Längs- und Querrissen

Einen hohen Einfluss auf die Wasserverlustwerte haben bei der Lochkorrosion die Größe der **Austrittsöffnung** und der **Betriebsdruck**, wie die Untersuchungen von [Irle, 1984] und [Böhm, 1993] zeigen (siehe dazu Tab. 4.4). Aus der Laufzeit kann der Wasserverlust einer Leckstelle ermittelt werden.

Bei Längs- und Querrissen ist in Tab. 4.5 der Zusammenhang von Nennweite und Betriebsdruck gut erkennbar.

Leckstellen sollten also eine möglichst kurze „Laufzeit“ haben. Zu beachten ist, dass die Verluste in den Nachtstunden bei Behälterinspeisung durch den steigenden Betriebsdruck ebenfalls ansteigen (bei Versorgungsgebieten mit druckabhängiger Steuerung nicht).

Tab. 4.4: Wasserverluste bei Lochkorrosion [Böhm, 1993]

Betriebsdruck bar	Öffnung mm	Volumenströme			
		l/s	m <sup>3</sup> /h	m/d	m <sup>3</sup> /a
3,0	2	0,05	0,17	4,1	1497
	3	0,10	0,36	8,6	3139
	4	0,20	0,71	17,0	6205
	5	0,31	1,11	26,6	9707
4,0	2	0,06	0,21	5,0	1825
	3	0,13	0,46	11,0	4015
	4	0,23	0,82	19,7	7191
	5	0,36	1,29	31,0	11315
5,0	2	0,06	0,23	5,5	2008
	3	0,14	0,52	12,5	4563
	4	0,26	0,92	22,1	8067
	5	0,40	1,44	34,6	12629

Tab. 4.5: Wasserverluste bei Längs- und Querrissen [Böhm, 1993]

DN	Volumenströme bei Querrissen m <sup>3</sup> /h		
	Betriebsdruck in bar		
	3,0	4,0	5,0
80	14,1	16,4	18,3
100	17,7	20,5	22,9
125	22,1	25,6	28,7
150	26,5	30,8	34,4
200	35,4	41,0	45,9
250	42,0	51,3	57,4
300	53,1	61,6	68,9
350	62,0	71,9	80,4
400	70,8	82,1	96,9
450	79,7	92,4	108,4
500	88,5	102,7	114,9
80–500	Volumenströme bei Längsrissen 1000 mm lang; 1 mm breit		
	56,4	65,4	79,2

Die **Beurteilung der Wasserverluste** setzt voraus:

- die Kenntnis der wichtigsten Einflussfaktoren,
- die Abschätzung des Anteils der scheinbaren Verluste und
- die Kenntnis der Ungenauigkeiten bei der Aufstellung der Wassermengenbilanz.

Als wichtigster Einflussfaktor wird die Bodenart genannt und dies mit Korrosion, Bewegungsvorgängen im Boden und der Erkennbarkeit von Leckstellen begründet. Die spezifischen Wasserverluste  $q_v$  sollen höchstens im oberen Bereich des Diagramms (siehe Abb. 4.15) liegen. Anzustreben sind Werte im unteren Bereich. Spezifische Verluste oberhalb des Bereiches erfordern besondere Maßnahmen, z.B. Verkürzung des Überwachungszeitraum.

Beim Einflussfaktor Rohrdurchmesser ist zu berücksichtigen, dass alte Graugussleitungen kleiner Rohr-



durchmesser in der Regel eine höhere Schadensrate haben. Rohrleitungen größerer Durchmesser haben in der Regel eine größere Schadensöffnung und demzufolge im Schadensfall höhere Wasserverluste.

Die durch Schadstellen auftretenden Wasserverluste müssen durch die Leckortung in der Regel mit dem Korrelationsmessverfahren bis DN 300 ermittelt werden. Als weitere Verfahren können verwendet werden die Differenzdruckmessung oder die Leckortung mit Hilfe eines Molches für Leitungen mit größeren Nennweiten.

**4.5.3 Ziele der Wasserverlustermittlung**

Das DVGW-Arbeitsblatt W 392 „Wasserverlust in Rohrnetzen – Ermittlung, Überwachung, Bewertung, Wasserbilanz, Kennzahlen“ behandelt die Wasserverlustermittlung, die Überwachung und Bewertung sowie die Erstellung der Wasserbilanz und die Bildung von Kennzahlen.

Berücksichtigt werden neben der Länge der Haupt- und Versorgungsleitungen auch die Länge und Anzahl der Anschlussleitungen. Ebenso wird der Betriebsdruck berücksichtigt, da der Wasserverlust bei Lochkorrosion maßgeblich von Betriebsdruck und der Laufzeit abhängig ist (siehe Tab. 4.4).

**4.5.4 Wassermengenbilanz**

Die Überwachung von Volumenströmen und Leckagen dient der Bewertung des Netzzustandes und der Verkürzung der Reaktions- und Reparaturzeiten, um die Wasserverluste gering zu halten.

Die Wasserbilanz ist jährlich bzw. in kürzeren Zeiträumen zu erstellen, wobei folgende Ermittlungen erforderlich sind:

- Ermittlung der Rohrnetzeinspeisung und -abgabe gemäß Tab. 4.6
- Ermittlung der scheinbaren Wasserverluste sowie der
- Bestimmung der realen Wasserverluste.

Die Bilanzposition Netzeinspeisung beinhaltet alle Eigen- und Fremdeinspeisungen. Die Netzabgabe berücksichtigt keine Mess-, Ablese- und Abgrenzungsfehler sowie Wasserdiebstahl. Scheinbare Wasserverluste setzen sich aus Messfehlern, Ablese- und Abgrenzungsfehler sowie auch ggf. Wasserdiebstahl.

Der reale Wasserverlust  $Q_{VR}$  erfasst die tatsächlichen Leckagen im Rohrnetz und an Behältern. Der reale Hintergrundverlust  $Q_{VRH}$  beruht auf Leckagen im Rohrnetz und an Behältern, welche nicht auf Schäden an ebendiesen beruhen, sondern an Rohrleitungsteilen und Armaturen.

Als technische Kennzahl für die **spezifischen Wasserverluste** wird das Verhältnis von realen Wasserverlusten zur Rohrnetzlänge genutzt. Diese spezifischen realen Wasserverluste errechnen sich nach folgender Gleichung:

Als technische Kennzahl für die **spezifischen Wasserverluste** ( $q_{VR}$ ) wird daher das Verhältnis von realen Wasserverlusten zur Rohrnetzlänge genutzt. Diese spezifischen realen Wasserverluste errechnen sich nach folgender Gleichung:

$$q_{VR} = \frac{Q_{VR}}{8760 \cdot L_N} \quad (m^3/h \cdot km) \quad (4.1)$$

$q_{VR}$  spez. realer Wasserverlust in  $m^3/(h \cdot km)$   
 $Q_{VR}$  realer Wasserverlust in  $m^3/a$   
 $L_N$  Länge Rohrnetz in km, ohne Anschlussleitungen

Tab. 4.6: Wasserbilanz (Jahresmengen; alle Mengenangaben Q in  $m^3/a$ )

Rohrnetzeinspeisung $Q_E$	Rohrnetzabgabe $Q_A$	in Rechnung gestellte Rohrnetzabgabe $Q_{AR}$	gemessen $Q_{ARG}$	Verkaufte Wassermenge	
			ungemessen $Q_{ARU}$		
		nicht in Rechnung gestellte Rohrnetzabgabe $Q_{AN}$	Gemessen $Q_{ANG}$	Nicht verkaufte Wassermenge	
			ungemessen... $Q_{ANUR}$		
	Wasserverluste $Q_V$	scheinbare Wasserverluste $Q_{VS}$	Messfehler		
			Ablesefehler		
			Abgrenzungsfehler		
			Wasserdiebstahl		
		Reale Wasserverluste $Q_{VR}$	Behälter		
			Zubringerleitungen <sup>a</sup>		
Hauptleitungen					
Versorgungsleitungen					
	Anschlussleitungen				
	Realer Hintergrundverlust $Q_{VRH}$				

a. Zubringerleitungen sind nur zu erfassen, wenn sie in den Bilanzgrenzen liegen

Bei Zuflussmessungen in Rohrnetzbezirken zur Ermittlung der dortigen momentanen Wasserverluste  $Q_{VRm}$  sind für  $Q_{VRm}$  die gemessenen Wasserverlustmengen in  $m^3/h$  und für  $L_N$  die Rohrnetzlänge im jeweiligen Rohrnetzbezirk (ohne die Länge der Hausanschlüsse) einzusetzen. Es gilt dann:

$$q_{VR} = \frac{Q_{VRm}}{L_N} \quad (m^3/h \cdot km) \quad (4.2)$$

- $q_{VR}$  momentaner spez. realer Wasserverlust in ( $m^3/h \cdot km$ )
- $Q_{VRm}$  momentan gemessener realer Wasserverluste in  $m^3/h$
- $L_N$  Länge des jeweiligen Rohrnetzbezirks in km, ohne Anschlussleitungen

Mit der Anschlussdichte (Anzahl der Anschlüsse je km Rohrnetz) kann der spezifische reale Wasserverlust  $q_{VR}$  ( $m^3/km \cdot h$ ) auch auf die international oft genutzte Einheit  $m^3/(HA \cdot d)$  bezogen werden.

Die Beurteilung der Rohrnetze kann nach den in Tab. 4.7 angegebenen, Richtwerten erfolgen, wobei es sich um einen Durchschnittswert für ein gesamtes Versorgungsgebiet handelt!

Das Verhältnis der vor Ort ermittelten spezifischen realen Wasserverluste  $q_{VR}$  zu den in Tab. 4.7 für die jeweilige Versorgungsstruktur angegebenen geringen Wasserverlusten ist eine geeignete Kennzahl zur Beurteilung des Rohrnetzzustandes.

Wird der spezifische reale Wasserverlust für Rohrnetzbezirke ermittelt, können sich erhebliche Abweichungen von diesem Durchschnittswert ergeben.

Die Richtwerte für spezifische reale Wasserverluste  $q_{VR}$  nehmen von großstädtischen zu ländlichen Versorgungsstrukturen ab. Die Gründe hierfür sind:

- Hausanschlüsse sind erfahrungsgemäß die Schwachstellen in Rohrnetzen. Anzahl der Anschlüsse und Anschlussdichte nehmen in der Regel von großstädtischen zu ländlichen Versorgungsstrukturen ab.
- Städtische Rohrnetze unterliegen in der Regel vielfältigeren und höheren Beanspruchungen mit ent-

sprechenden Auswirkungen auf die Höhe der Wasserverluste als Rohrnetze in ländlichen Bereichen.

Tab. 4.7: Bewertung von Wasserverlusten nach W 392 (Ausgabe 2003)

Wasserverlustbereich	Richtwerte für spez. reale Wasserverluste $q_{VR}$ in $m^3/h \cdot km$		
	großstädtisch	städtisch	ländlich
Geringe Wasserverluste <sup>a</sup>	< 0,10	< 0,07	< 0,05
Mittlere Wasserverluste <sup>b</sup>	0,10 - 0,20	0,07 - 0,15	0,05 - 0,10
Hohe Wasserverluste <sup>c</sup>	> 0,20	> 0,15	> 0,10

- a. Geringe Wasserverluste: In über längeren Zeiträumen gewachsenen Rohrnetzen können reale Wasserverluste in geringer Höhe auch bei gutem Rohrnetzzustand auftreten
- b. Mittlere Wasserverluste: Der in einem Rohrnetz ermittelte spezifische reale Wasserverlust sollte nicht oberhalb dieses Bereichs liegen, d.h. das Zweifache der geringen realen Wasserverluste nicht überschreiten.
- c. Hohe Wasserverluste: Hohe spezifische reale Wasserverluste erfordern besondere Maßnahmen zur Wasserverlustreduzierung.

#### 4.5.5 Bewertung der Wasserverluste

Die IWA (International Water Association) benutzt als Kennzahl ILI (infrastructure leakage index), welche die Dichtheit von Netzen der öffentlichen Trinkwasserversorgung kennzeichnet. Der ILI berücksichtigt neben der Länge der Haupt- und Versorgungsleitungen zusätzlich die Länge und Anzahl der Anschlussleitungen, den durchschnittliche Betriebsdruck sowie einen „unvermeidbaren“ jährlichen realen Wasserverlust.

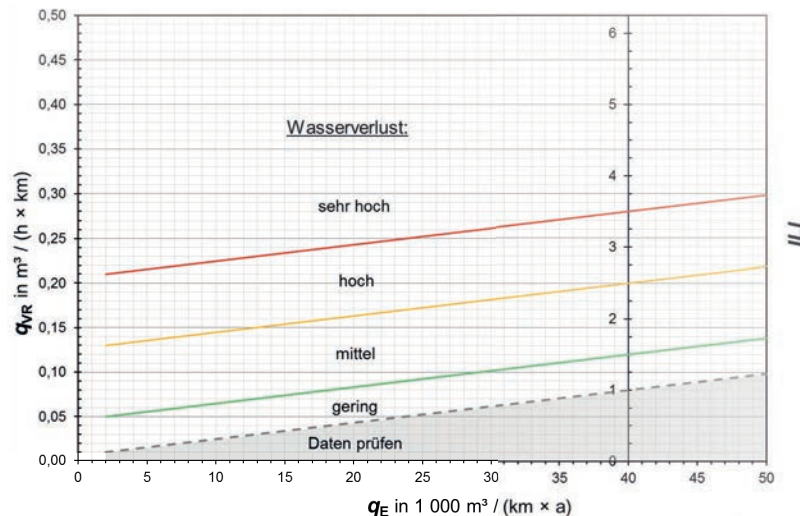


Abb. 4.15: Grafisches Bewertungsschema für  $q_{VR}$  und ILI (DVGW W 392 Entwurf)

Bei neuen oder rehabilitierten Rohrnetzen kann der Minimumwert von ILI = 1 unterschritten werden.

Hohe Rohrnetzeinspeisungen (z.B. städtische Versorgungen mit entsprechend hohen spezifischen Rohrnetzabgaben je km Rohrnetzlänge) führen bei Angabe der Wasserverluste in Prozent der Rohrnetzeinspeisung zu niedrigen prozentualen Wasserverlusten.

Geringe Rohrnetzeinspeisungen (z.B. ländliche Versorgungen mit entsprechend niedrigen spezifischen Rohrnetzabgaben je km Rohrnetzlänge) führen zu hohen prozentualen Wasserverlusten. Bei einem Vergleich von in Prozent angegebenen Wasserverlusten erscheint deshalb eine Wasserversorgung mit höherer spezifischer Rohrnetzabgabe immer günstiger als eine mit niedrigerer spezifischer Rohrnetzabgabe.

Die Angabe von Wasserverlusten in Prozent der Rohrnetzeinspeisung ist als technische Wasserverlustkennzahl ungeeignet, da dabei keiner der aufgeführten Einflussfaktoren berücksichtigt wird.

In der Neufassung von W 392 wurde eine neue Bewertung des Wasserverlusts eingeführt, die Abb. 4.15 enthält.

#### 4.5.6 Inspektion und Wartung von Ortsnetzen

Inspektion und Wartung als Bestandteile der Instandhaltung (siehe Abb. 4.37) sind unerlässlich für einen technisch sicheren und zuverlässigen Betrieb von Rohrnetzen, welcher sowohl die Rohrleitungen als auch die

Zubehörteile (Armaturen, Straßenkappen, Hinweisschilder usw.) umfasst.

Im Arbeitsblatt W 400-3-B1 „Inspektion und Wartung von Ortsnetzen“ werden tabellarisch Inspektionszeiträume angegeben (siehe Tab. 4.8).

Tab. 4.8: Inspektionszeiträume W 400-3-B1

Wasserverlust	Schadensrate	Inspektion	Dichtheitsprüfung
sehr hoch	beliebig	gezielte Verlustreduzierung/Schadensbeseitigung	
hoch/mittel/gering	hoch	alle 3 Jahre	wie oben
hoch	beliebig	alle 3 Jahre	alle 3 Jahre
sonstige Kombinationen		alle 6 Jahre	alle 6 Jahre
gering	gering	alle 12 Jahre	ereignisorientiert

#### 4.5.7 Wasserverlustmessung

##### 4.5.7.1 Verfahren der Wasserverlustmessung

Für die Durchführung der **Dichtheitsmessung** und damit für die Erfassung der Wasserverluste ist das zu überwachende Rohrnetz in definierte **Rohrnetzbezirke** zu unterteilen. Die Größe der Rohrnetzbezirke ist abhängig von der Wahl des angewandten Messverfahrens und von der angestrebten Genauigkeit der Wasserverlusterfassung.

Tab. 4.9: Verfahren der Dichtheitsmessung zur Ermittlung von Wasserverlusten.

Methode	Bewertung	Randbedingungen
Kontinuierliche Zuflussmessung (Nachtmindestverbrauchs-messung)	Auftretende Wasserverluste können relativ gut erkannt werden. Der Anteil des Verbrauchs an der Zuflussmenge muss als Referenzwert vorliegen.	Einbau von Durchflussmessgeräten Rohrnetzbezirk bis 30 km Rohrnetzlänge Messdauer: min. 1-2 h pro Tag tägliche Messwerterfassung zeitnahe Messwerterfassung und -übertragung dichte Absperrschieber eindeutige Zuflussmesswerte Erfassung aller Zuflüsse und Abflüsse des Rohrnetzbezirkes
Momentane Zuflussmessung (Bezirksmessung, Nullverbrauchs-messung)	Vorhandene Wasserverluste können sofort erkannt werden. Der Restverbrauch wird abgeschätzt.	Rohrnetzbezirk 1 bis 10 km Rohrnetzlänge Messdauer: min. 20 Min. Transportables Durchflussmessgerät dichte Absperrschieber Ermittlung von Dauerverbraucher Überwachung des Druckes während der Messdauer



Dieses Verfahren eignet sich sowohl für die Durchführung einer turnusmäßigen als auch für die Einrichtung einer ständigen **Wasserverlustkontrolle**. Allerdings müssen für aussagefähige **Wasserverlustanalysen** die nachfolgenden Voraussetzungen erfüllt sein:

- der Rohrnetzbezirk muss über eine oder mehrere Einspeiseleitungen messbar sein,
- seine Größe sollte zwischen 4 und höchstens 30 km Rohrnetzlänge liegen, in Abhängigkeit von der Anzahl der versorgten Einwohner und der Rohrnetzstruktur,
- eine oder mehrere stationäre oder mobile Durchflussmesseinrichtungen sind zu installieren,
- der Minimalzufluss ist zu ermitteln.

Bei einer kontinuierlichen Zuflussmessung sind an die Messgeräte bestimmte Anforderungen zu stellen, weil diese eine große Messspanne abzudecken haben, oft nachträglich eingebaut werden müssen und eine gesicherte Datenspeicherung oder Fernübertragungsmöglichkeit aufweisen sollen.

Es kann sich als günstig erweisen, Durchflussmessgeräte mit Datensammler zur Erfassung von Zuflussmengen nachträglich in das Rohrnetz einzubauen, um große Verbrauchszonen in kleinere Rohrnetzbezirke aufzuteilen. Die Ermittlung von eventuell auftretenden Wasserverlusten ist damit möglich.

#### 4.5.7.2 Ermittlung der Wasserverluste durch Zuflussmessung

Die gemessene minimale Zuflussmenge  $Q_{\min}$  enthält die Wasserverlustmenge  $Q_{\text{Verl}}$  und eine Restverbrauchsmenge  $Q_{\text{Verbr}}$

Für die Ermittlung der Wasserverlustmenge  $Q_{\text{Verl}}$  gilt:

$$Q_{\text{Verl}} = Q_{\min} - Q_{\text{Verbr}} \quad (4.3)$$

Der Anteil der Restverbrauchsmenge  $Q_{\text{Verbr}}$  lässt sich nach folgendem Richtwert abschätzen:

$$Q_{\text{Verbr}} = 0,4 \text{ m}^3/\text{h} \text{ bis } 0,8 \text{ m}^3/\text{h} \quad (4.4)$$

je 1000 versorgte Einwohner

oder

$$Q_{\text{Verbr}} = 7 \text{ l/min bis } 14 \text{ l/min} \quad (4.5)$$

je 1000 versorgte Einwohner

#### 4.5.7.3 Leckortungsmethoden

##### Leckortungsverfahren

Die üblichen **Leckortungsverfahren** beruhen auf der Erfassung und Auswertung von Leckgeräuschen, die durch das unter Druck stehende Wasser verursacht werden. Die dabei entstehenden Körper- und Wasser-Schallwellen werden für die Ortung genutzt (in der Vergangenheit Abhorchverfahren).

Als weiteres Verfahren kommt die **Schallpegelmessung**, in Sonderfällen die **Differenzdruckmessung** (z.B. Suchmolch) und Farbttest (Einfärben des Wassers) zur Anwendung, bei denen die Leitung allerdings außer Betrieb genommen werden muss.

##### Abhorchverfahren

Für die Leckortung wurden in der Vergangenheit Abhorchverfahren angewendet, heute wird fast ausschließlich das Korrelationsmessverfahren benutzt, in Sonderfällen auch andere Verfahren, bei denen die Leitung allerdings außer Betrieb genommen werden muss.

Das Abhören erfolgte in direktem Kontakt zu zugänglichen Leitungsabschnitten mit Horchdose und Horchrohr, ggf. mit Verstärkern und Frequenzfiltern von der Erdoberfläche aus.

##### Korrelationsmessverfahren

Beim **Korrelationsmessverfahren** wird die Laufzeitdifferenz der Leckgeräusche zu den Anschlusspunkten an die Leitung zur Berechnung der Schadensstelle genutzt. Die Leckgeräusche werden durch zwei hintereinander angeordneten Sensoren in Form von elektrischen Signalen aufgenommen und dem Korrelationsrechner zugeführt. Der Schadensstelle wird aus der Laufzeitdifferenz der Ausbreitungsgeschwindigkeit und aus der Messstreckenlänge errechnet.

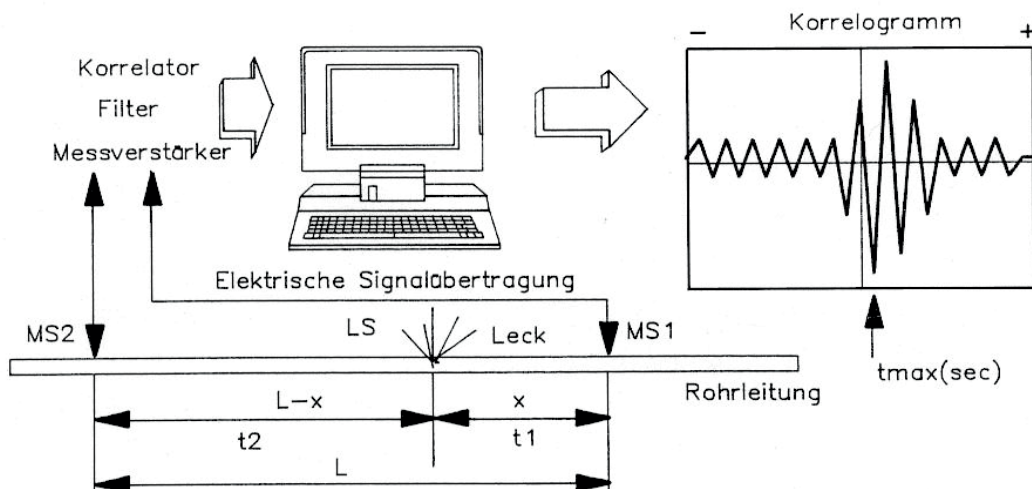


Abb. 4.16: Korrelationsmessverfahren

Abb. 4.16 zeigt das Prinzip des Korrelationsmessverfahrens nach W 393 (alt) und Abb. 4.19 die Ausbreitung der Leckgeräusche bzw. Schallwellen von der Leckstelle.

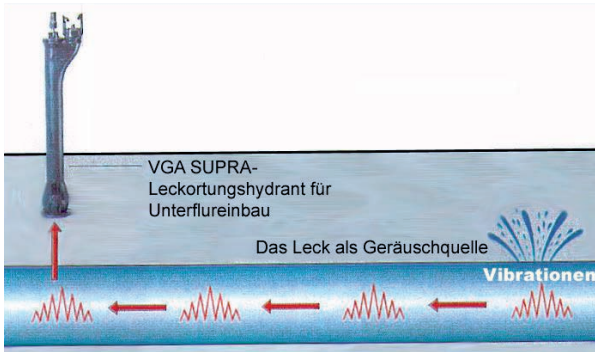


Abb. 4.17: Einsatz der Sensortechnik an einem Hydranten

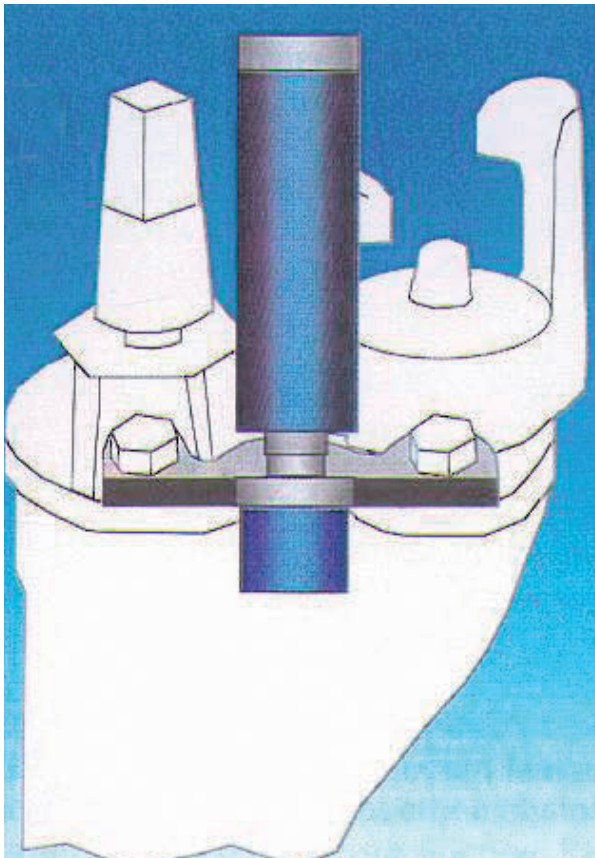


Abb. 4.18: Sensor am Hydranten

Die Grundausrüstung der Korrelationsmessgeräte besteht aus:

- Schallaufnehmer mit Verstärker
- Übertragungseinrichtung (Kabel oder Funk)
- Frequenzfilter
- Rechner (Korrelationsanalysator und -auswerter).

Die Schallaufnahme erfolgt mit Körperschallsensoren oder Hydrophon. Zur Schallanregung für die Messung der Schallgeschwindigkeit können zusätzliche Vibratoren eingesetzt werden. Lautstärke und Frequenz der

Leckgeräusche sind von verschiedenen Einflussfaktoren abhängig.

Das Leckgeräusch ist abhängig von Bodenart, Rohrwerkstoff, Leckgeometrie, Grundwasserstand und Innendruck. Dauergeräusche, die im gleichen Frequenzbereich liegen, beeinträchtigen das Ergebnis der Ortung. Bei Erdüberdeckungen der Rohre über 2 m versagt meist das Abhorchen. Nichtmetallische Rohre und Rohrverbindungen dämpfen die Schallausbreitung, so dass die Unterteilung in kleine Messabschnitte erforderlich ist. Lockere, trockene und kiesige Böden wirken sich ebenfalls ungünstig auf die Messergebnisse aus.

Die Genauigkeit der Leckortung nimmt bei Messstrecken über 250 m auch bei schalleitenden Rohren deutlich ab. Bei nichtmetallischem Rohrmaterial sind die Messstrecken ggf. auf 30 bis 50 m zu verkürzen.

Korrelationsmessungen bei Nennweiten > DN 300 sind nur begrenzt auswertbar; betonierte oder ähnlich befestigte Oberflächen erschweren die Ortung.

Wiss und Krebs [Wiss und Krebs, 2001] beschrieben die Möglichkeiten der Lecksuche mit Hilfe der Sensortechnik. Abb. 4.17 zeigt die Ausbreitung der Leckgeräusche bzw. Schallwellen von einem Hydranten aus, so dass größere Flächen in einem Rohrnetz untersucht werden können. Die Übertragung der Schallwellen erfolgt zu 2/3 im Rohrleitungsmaterial und zu 1/3 im Strömungsmedium Wasser.

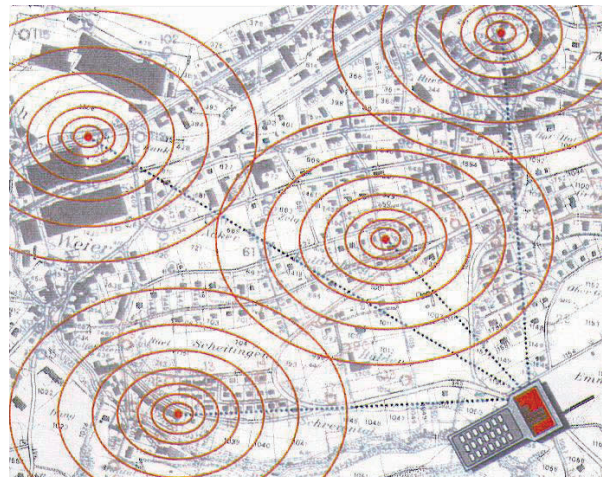


Abb. 4.19: Ausbreitung der Schallwellen

### Moderne Gerätetechnik zur Verlustüberwachung

#### Unterteilung in Druckzonen

Durch die Untergliederung von Druckzonen in unterschiedliche Messzonen können sich betriebliche Nachteile wie eingeschränkte Löschwasserbereitstellung oder zu spülende Endstränge ergeben. Die Messgeräte werden üblicherweise in Schachtanlagen eingebaut, welche kostspielig und wartungsintensiv sind. Der Transfer der erfassten Messdaten in die Leitwarte und ihre Auswertung ist zusätzlich sicherzustellen.

Ein modernes Verlustüberwachungssystem, z.B. das **Verlustmonitoring** verspricht Abhilfe für viele der aufgeworfenen Fragen.



### Funktionsweise des Verlustmonitoring-Systems

Das Verfahren baut auf dezentralen Durchflussmessungen direkt im Leitungsnetz auf. Wichtig sind die Festlegung der Anzahl und Standorte der Messstellen, Kenntnisse des Rohrnetzes, hydraulischer Sachverstand, wobei eine Rohrnetzberechnung die Aufgabe erleichtert.

Die Installation und Inbetriebnahme des Systems ist einfach, da die Messeinheiten komplett geliefert werden. Die Energieversorgung erfolgt in der Regel über einen Netzanschluss. Die Kopplung an das Netz der Straßenbeleuchtung bietet jedoch eine kostengünstige Alternative.

Über Mobilfunkverbindungen werden die Daten zu einem Zentralrechner übertragen, der als Server für die weiteren Schritte eingesetzt wird. Hier werden die Daten zentral gespeichert und für Zugriffe durch Anwender vorgehalten.

Ein Software-Paket übernimmt die Weiterverarbeitung der Daten. Über statistische Auswertungen der Messwerte wird ein relevantes Nachtminimum errechnet. Mit diesen Informationen lassen sich bereits wichtige Erkenntnisse über die Netzcharakteristik und das Zusammenspiel einzelner Bereiche gewinnen. Alle Daten können bequem z.B. an MS Excel oder ein bestehendes Prozessleitsystem exportiert werden.

## 4.6 Beurteilung des Zustandes liegender Rohrleitungen

### 4.6.1 Vorbemerkungen

Die heute liegenden Wasserversorgungsnetze sind von Seiten der in der Vergangenheit eingesetzten Rohrmaterialien sehr inhomogen zusammengesetzt; sie bestehen in jedem Versorgungsunternehmen aus unterschiedlichen Rohrmaterialien und selbst bei einer Materialgruppe ist insbesondere nach den Zeitepochen der Herstellung (Herstellungsverfahren, der Innen- und Außenisolierung, den Rohrverbindungen) zu unterscheiden; selbst bei gleichen Rohrmaterialien – z.B. 70 % GG – in einem Rohrnetz muss berücksichtigt werden, dass die Rohre in unterschiedlichen Zeitepochen nach unterschiedlichen Verfahren hergestellt worden sind (vor 1900 stehende Formen Lehm oder Sand, nach 1926 Schleuderguss usw.). Deshalb muss innerhalb gleicher Rohrmaterialarten nach Verlegeperioden, Außen- und Innenkorrosionsschutz, Verlegung (um die Jahrhundertwende z.B. bei aggressiven Böden in einer Lehm- oder Tonpackung), Belastung durch Erdbewegungen (Setzungen, Erschütterungen usw.), Verkehrslasten (Straßenverbreiterungen, z.B. anfänglich Fußweg oder Grünstreifen, heute Fahrstreifen) und weiteren Faktoren unterschieden werden. Zu berücksichtigen sind ferner die unterschiedlichen verfügbaren Rohrmaterialien in Ost- und Westdeutschland im Zeitraum von 1945–1990.

Zum Thema Korrosionsschutz nennt Möhlen in [Pfeifer, 1937] beachtenswerte Gesichtspunkte:

- Die Werkstoffeigenschaften von Guss und Stahl sind so gut, dass ein durch Einwirken äußerer Kräfte bedingtes Versagen der Rohre selten ist, weshalb zwangsläufig die Korrosion die häufigste Schadensursache ist,
- heute korrodierte Leitung sind vor Jahrzehnten verlegt worden, als die Kenntnis über Korrosionsvorgänge und Schutzmaßnahmen geringer als heute waren und
- fehlende Korrosionsschutzmaßnahmen verursachen Jahrzehnte später ein Vielfaches der Kosten eines guten Korrosionsschutzes.

### 4.6.2 Schadenserkenkung und Schadensentstehung

Quellen für dieses Unterkapitel sind: [Brussig, 1996a], [Brussig, 1996b], [Brussig, 1997a], [Brussig, 1997b], [Brussig, 1997c], [Brussig, 1997d], [Brussig, 1997e], [DVGW, 1983], [DVGW, 1986] und [DVGW, 1991b].

Schäden bleiben oft über Jahrzehnte unerkannt, z.B. Muffenaustrieb und Rohrwandperforation bei Korrosionsschäden in bindigen Böden oder wenn das Wasser ungehindert versickern kann. Sofort erkennbare Schäden dagegen sind z.B. Schalenbrüche, Oberflächenleckagen an Armaturen (Schiebern, Hydranten, Hausanschlüssen), Kundenreklamationen wegen „Rostwasser“. Wasserverlustmessungen und Leckortungen sind erforderlich, um Schäden in Rohrnetzteilen oder an einzelnen Leitungen nachzuweisen.

Schäden entstehen oftmals über einen langen Zeitraum, da bestimmte Schädigungen (z.B. Korrosion durch Abblättern oder Abtragen der inneren bituminösen Korrosionsschicht) erst nach einer langen Betriebszeit eintreten oder die Lagerungsbedingungen und Belastungen während der Betriebszeit sich ändern (Arbeiten an benachbarten Leitungen oder Verkehrsbelastungen). Fehlende Korrosionsschutzmaßnahmen verursachen Jahrzehnte später ein Vielfaches der Kosten eines guten Korrosionsschutzes.

Nach Brussig kann unterschieden werden in:

- Herstellungsbedingte Schädigungen (ungeeignete Werkstoffe und unzureichender Korrosionsschutz, ungeeignete Rohrverbindungen),
- montage- und verlegebedingte Schädigungen (Korrosionsschutzmängel bei der Rohrverbindung, Rohrbettung und Einerdung),
- physikalische, chemische und biologische Alterungsprozesse (Korrosion, Graphitierung, zementgebundene Werkstoffe, Verrottung organischer Materialien),
- Bodenbewegungen (Straßen-, Tiefbau- und Rohrleitungsbaumaßnahmen, Bodenerschütterungen, Verkehrsbelastungen),
- Betriebs- und Rohrnetzfehler

Weiterhin können auch Schädigungen und Schäden bei Sanierungsmaßnahmen eintreten, wenn ungünstige Sanierungsmaßnahmen durchgeführt werden.



Tab. 4.10: Schadensentstehung und Schadensursachen nach [Brussig, 1996a], [Brussig, 1996b], [Brussig, 1997a], [Brussig, 1997b], [Brussig, 1997c], [Brussig, 1997d], [Brussig, 1997e], [Roscher et al., 2000]

Herstellungsbedingte Schädigung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Typische Gussfehler an alten Sandgussrohren wie Materialinhomogenitäten, Wanddickenschwankungen durch Gusskernversatz, Lunker verschiedenster Art und Größe</li> <li>• Verschlechterung der Korrosionsresistenz und der mechanischen Materialkennwerte durch zunehmenden Schrotteinsatz bei der Erschmelzung von Eisen und Stahl, z.B. durch den Anstieg des Kupfergehaltes</li> <li>• Unzureichender Korrosionsschutz, z.B: bei der gesamten Rohrproduktion in der ehemaligen DDR</li> <li>• Ältere Kunststoffrohre mit ihren aus heutiger Sicht unzureichend eingestellten Langzeitparametern</li> <li>• Ungeeignete Rohrverbindungsstrukturen, wie z.B. alle geraden Muffen mit Rollgummidichtungen</li> <li>• Einsatz von kurzfasrigen Asbestfasern für die Rohrherstellung etwa ab 1980 in der DDR (Magdeburg-Rothensee); Herabsetzung des zulässigen Druckes auf PN 6</li> </ul>
Verlege- und Montagefehler	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Schlecht ausgeführte Muffenverstemmungen an Grauguss- und Stahlrohrleitungen</li> <li>• Unzureichender Korrosionsschutz der Rohrverbindung von innen und außen an allen Stahlrohrleitungen der DDR-Zeit</li> <li>• Fehler bei der Rohrbettung und Einerdung, eine der Hauptschadensursachen bei Kunststoffleitungen</li> <li>• Fehler bei allen Prozessen der Lagerung und des Transportes von Rohren</li> </ul>
Technische und biologische Alterungsprozesse	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Korrosion von Metallen und zementgebundenen Werkstoffen durch aggressive Böden und Wässer</li> <li>• Materialermüdungen und -versprödungen bei Kunststoffen</li> <li>• Verrottung organischer Materialien, wie z.B. der Jutearmierung in Bitumenummüllungen und des Dichtstrickes (Hanf) bei Stemm-Muffen</li> <li>• Nachlassen der Rückstellkräfte bei Gummidichtungsmaterialien</li> </ul>
Natürliche Bodenbewegungen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Langzeitsetzungserscheinungen in Bergsenkungsgebieten, in Gefällelagen, in Flussuferbereichen mit starken Grundwasserströmungen und in Lagen mit häufigen Grundwasserpegeländerungen</li> <li>• Langzeitwitterungsbedingtes Quellen und Schrumpfen bindiger Böden, z.B. bei längeren Frost- oder Trockenperioden (wichtige Schadensursache bei biegesteifen Rohrleitungswerkstoffen wie AZ, GGL und ältere PVC)</li> <li>• Bodenerschütterungen in Folge steigender Verkehrsbelastung</li> <li>• Rohrbrüche und fehlerhaft ausgeführte Reparatur- und Sanierungsmaßnahmen an der gleichen und benachbarten Rohrleitungen</li> </ul>
Betriebs- und Rohrnetzfehler	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ungenügende Druckstoßsicherungen, z.B. bei fehlenden Schwungrädern an Pumpen</li> <li>• Gefährdung durch Stromausfall</li> <li>• Ungenügende Entlüftung und/oder zu schnelles Anfüllen, z.B. Wiederinbetriebnahmen</li> <li>• Ungeeignete Wasseraufbereitung für die im Rohrnetz befindlichen Werkstoffe, z.B. kein Kalk-Kohlensäure-Gleichgewicht (verstärkte Metallkorrosion oder Zementstein – aggressive Talsperrenwässern mit wenig Kohlensäure (ZMA-, AZ- und Betonkorrosion)</li> <li>• Zu hohe Strömungsgeschwindigkeiten (Korrosionsschutzablösungen, Kavitationen an Formteilen, Deformation der Oberfläche in Kunststoffrohren)</li> <li>• Einschleppung von Wasseraufbereitungsmitteln wie Filterkies, Aktivkohle usw. in die Wasserleitungsnetze, bei Havarien in Wasserwerken (Gefahr von Belagkorrosion insbesondere in der Rohrsohle)</li> </ul>

#### 4.6.3 Beurteilung des Zustandes liegender Rohrleitungen

##### Informationsbedarf, Probenahme, Entscheidungsalgorithmus

Quellen: [Brussig, 1996a], [Brussig, 1996b], [Brussig, 1997a], [Brussig, 1997b], [Brussig, 1997c], [Brussig, 1997d], [Brussig, 1997e], [Roscher et al., 2000].

Voraussetzung für eine kostenoptimale Rohrnetzbetriebung ist eine planmäßige, qualifizierte, d.h. wissenschaftlich begründete Rohrleitungsrehabilitation auf der Basis von Zustandsuntersuchungen, Schadensaufklärungen und aller anderen verfügbaren Informationen aus dem Rohrnetzbetrieb. Durch eine entsprechende Organisation bei geplanten und ungeplanten Maßnahmen im Rohrnetz kann der Aufwand für die Gewinnung der Rohrleitungszustandsdaten minimiert werden. Die Planung der endgültigen Rehabilitationsentscheidung erfolgt dann unter Berücksichtigung des moralischen

Verschleißes des jeweiligen Rohrleitungsabschnittes. Dazu wird vom Versorgungsbetrieb bzw. einem beauftragten Ingenieurbüro der dokumentierte Istzustand (Gutachten) erfasst und es werden Rehabilitationsvorschläge unterbreitet. Rohrnetzrehabilitationen können dadurch wissenschaftlich gesichert und ökonomisch optimal durchgeführt werden.

Neben den Plankammerdaten (Abmessungen, Lage, Alter usw.) und der Auswertung von Wasserverlustmessungen, Trübungsmeldungen, des allgemeinen Schadensgeschehens, örtlich begrenzter Versorgungsprobleme sowie wesentlicher Veränderungen der örtlichen Versorgungsaufgaben hat sich gezeigt, dass es für die jeweilige Rohrleitung wichtig ist, folgende Istzustandsdaten zu erfassen:

- die tatsächlichen Abmessungen (Normgröße, Unrundheit, Tiefenlage usw.),
- das tatsächliche Betriebsregime (Betriebsdruck, Druckstöße, Wasserchemie, KKS usw.),

- der tatsächliche Schädigungsgrad bzw. Verschleißzustand, quantifiziert als Restverfügbarkeitsdauer in Jahren bzw. einzuordnender Rehabilitationszeitpunkt, falls Eile geboten ist,
- der tatsächliche hydraulische Zustand (hydraulische Leistung und Leistungsentwicklung) der Altleitung und der Vergleich zu den vorzuschlagenden Rehabilitationsmaßnahmen.

Bei den Zustandsuntersuchungen werden deshalb folgende Istzustandsparameter erfasst und wenn möglich fotografisch dokumentiert:

- die Schäden bei den Schadensaufklärungen und Zustandsuntersuchungen,
- der Zustand und die Schädigungen im Rohrverbindungs- und am Rohrschaft,
- der Korrosionsschutz und sein Zustand,
- die Korrosionsschädigung, differenziert nach innen und außen,
- die maximalen und die mittleren Korrosionstiefen,
- der Flächenanteil der korrodierten Oberfläche,
- die Korrosionsform und -verteilung,
- die Festigkeit der Korrosionsprodukte beim laminaren Grauguss,
- der Verkrustungs- (Inkrustations-) zustand,
- die maximalen und die mittleren Verkrustungsdicken,
- der Flächenanteil der verkrusteten Oberfläche,
- die Verkrustungsfestigkeit, -form und -verteilung,
- Besonderheiten beim Rohrleitungsmaterial, der Rohrbettung und den Betriebsbedingungen.

Die Begutachtungen werden auf speziellen **Arbeitsblättern** sehr komprimiert, mit integrierter Berechnungs- und Auswertungssoftware durchgeführt. Die Gutachten selbst beinhalten mindestens die Arbeitsblätter „Ergebnisdiskussion“, „Untersuchungsergebnisse“, „Istzustandserfassung“, „Entscheidungsalgorithmus“ und eine Bilddokumentation. Da jede Zustandsuntersuchung ein Unikat darstellt, müssen die Arbeitsblätter den jeweiligen Untersuchungsobjekten angepasst werden.

Um kostengünstig zu Zustandsdaten zu kommen, ist die Probennahme einzuschränken, die gewonnenen Proben sind systematisch dem Netz zuzuordnen und mit anderen Daten (Verlegezeitpunkt usw.) in Zusammenhang zu bringen. Brussig nennt folgende Vorgehensweise:

- bei Baumaßnahmen im Rohrnetz sind Probestücke zu sammeln und zu kennzeichnen,
- bei vorgesehenen Sanierungsmaßnahmen werden für den Planungsvorlauf Rohrnetzabschnitte ausgewählt und systematische Beprobungen vorgenommen, z.B. in Verbindung mit Hydranten- oder Schieberwechsel,
- bei Leitungen, bei denen bereits bekannt ist, dass sie saniert oder erneuert werden sollen, erfolgen im Zusammenhang mit den Vorbereitungsarbeitern Probeentnahmen.

Ebenfalls kommt die Kamerabefahrung in Betracht. Auf diese Weise kann nach und nach flächendeckend eine Zustandseinschätzung erfolgen.

### Warum sind rohrwerkstoffspezifische Untersuchungen erforderlich?

Rohrwerkstoffspezifische Untersuchungen erfordern materialtechnische Kenntnisse.

Zustandsuntersuchungen für zu sanierende Rohrleitungen verursachen zwar Kosten, sind aber erforderlich, um ein Sanierungsverfahren (Zementmörtelauskleidung bei Wasserrohrleitungen oder Gewebeschauch-Relining bei Gasrohrleitungen) bei statisch noch ausreichend dimensionierten Leitungen einzusetzen und Kosten zu sparen oder bei statisch nicht mehr ausreichendem Zustand (vor allem große Korrosionsschäden an Guss- oder Stahlleitungen) eine Erneuerung der Rohrleitung in Betracht zu ziehen (Relining-, Berstlining oder Press-/Ziehverfahren).

### Typische Schäden an „Alt“-rohrleitungen

Quellen: [Brussig, 1996a], [Brussig, 1996b], [Brussig, 1997a], [Brussig, 1997b], [Brussig, 1997c], [Brussig, 1997d], [Brussig, 1997e]

#### Graugussleitungen

Bei bis zum 1. Weltkrieg produzierten *Sandgussrohren* bildete sich, bedingt durch die Herstellung, durch die Berührung mit dem Formsand ( $\text{SiO}_2$ ) beim Gießen eine ferrosiliziumhaltige Gushaut, die hervorragende Korrosionsresistenz aufweist und nach 100 Betriebsjahren oftmals kaum korrosionsgeschädigt ist (weitere Korrosionsverzögerung durch Innenschutz mit Steinkohlenteer).

Dagegen sind als Herstellungsfehler zu nennen:

- Sandkernformversatz, Gaslunker und Ausscheidungen, Materialinhomogenitäten sowie
- Sand- und Schlackeeinspülungen, Oberflächenschrumpfrisse.

Statisch sind diese Rohre meist für eine Sanierung mit Zementmörtelausschleuderung geeignet.

In *Schleudergussrohren aus laminarem Grauguss* fehlt dagegen herstellungsbedingt die Gushaut (Mindestfestigkeit ist mit  $130 \text{ N/mm}^2$  um fast 50 % höher als bei Sandgussrohren), so dass die Innenspongiose fast immer vollständig ausgebildet ist.

Voraussetzung für eine ZMA-Anwendung sind ausreichende Wandsdickenreserven, die Eignung für das ZMA-Verfahren liegt meist niedriger.

Bei Rohrverbindungen ist mit Dichtungsproblemen zu rechnen (durch Setzungserscheinungen, Druckstöße und natürliche Verrottung des Dichtungsstrickes). Als Schäden sind zu nennen:

- Muffenauswinklungen,
- Muffenquetschungen,
- Muffenaustreiben und
- Muffenleckagen.

Rohrleitungen ohne Zementmörtelausschleuderung ohne dicke Bitumenausschleuderung zeigen verstärkte Korrosionsschädigungen im Sohlbereich, etwa in 5 bis 7-Uhr-Position; erkennbar ist diese Erscheinung an starken, häufig auch vollflächigen Inkrustationen in

diesem Bereich. Untersuchungsbrüche zeigen auch verstärkte Spongiosschädigung in der Rohrsohle – durch verminderte Ringzugfestigkeit treten häufig typische Längsrisse an den biegesteifen laminaren Graugussrohren auf.

Duktile Gussrohre der 1. Generation (Herstellung in den 60er-Jahren in der BRD, in den 80er-Jahren in der DDR) ohne ausreichenden Korrosionsschutz, zeigen ein dem unlegierten Stahl ähnliches Korrosionsverhalten. Für diese Rohrmaterialien besteht in den nächsten Jahren Sanierungsbedarf.

#### Stahlrohrleitungen

Vor 1940 verlegte Stahlrohrleitungen zeigen häufig Sickerleckagen und Austriebe im Stemmuffenbereich. Die bituminierten Juteummüllungen sind in bindigen Böden größtenteils verrottet. Dadurch sind in Abhängigkeit von der Bodenaggressivität Außenkorrosionserscheinungen in der 5 bis 7-Uhr-Position festzustellen. Die für den Innenschutz verwendeten dünnen Bitumenbeschichtungen boten keinen ausreichenden Korrosionsschutz. Die Sanierungswürdigkeit vor 1940 verlegter Stahlrohrleitungen ist deshalb gering (auch für Inliner nicht geeignet, da durch Hereinbiegen scharfkantiger Lochränder der Inliner beschädigt werden kann).

Das Schadensbild von Stahlrohrleitungen aus der Zeit von 1940 bis 1960 entspricht dem vor 1940 verlegten Rohrleitungen, allerdings ist der Schädigungsgrad aufgrund der Liegezeit noch nicht so hoch.

Von 1960 bis 1990 verlegte Stahlrohrleitungen in Ostdeutschland hatten keinen ausreichenden Korrosionsschutz und haben demzufolge bereits nach kurzer Liegezeit eine hohe Schadensrate. Nur ein geringer Teil der Rohre wurde werkseitig mit Zementmörtel ausgekleidet. Die Sanierung dieser Leitungen mit ZMA oder Gewebeslauch-Relining ist problematisch. In Westdeutschland wurden sie in den 80er-Jahren mit einem besseren Korrosionsschutz versehen.

#### PVC-Leitungen

Schäden an PVC-Leitungen sind durch Materialverprödung und Verlegefehler (Rohrbettung – Einkerbung durch Steine, Deformation, Bodensetzung) zu verzeichnen. Außerdem ist das Langzeitverhalten der nach 1990 verlegten Leitungen besser und wird durch entsprechende Prüfverfahren nachgewiesen.

#### Polyethylenleitungen

Polyethylen wurde von 1970 an in größerem Umfang eingesetzt. Schäden treten dann auf, wenn die Verlegerichtlinien nicht beachtet wurden. Häufig treten im Gebiet der ehemaligen DDR Fehler an Schweißverbindungen und Verschraubungen auf.

#### Asbestzementleitungen

Typische Schäden an Asbestzementleitungen sind Bruchschäden, in Ostdeutschland materialbedingt durch den Einsatz kurzfasriger Asbestzementfasern (nur bis PN 6 belastbar) sowie Schäden nach Trocken- und Frostperioden.

Durch betonaggressives Wasser kommt es zu Festigkeitsabbau und Gefügezerstörung.

#### Stahl- und Spannbetonleitungen

Die Stahlbeton und Spannbetonproduktion wurde in Ostdeutschland bereits in den 70er-Jahren eingestellt. Schäden gab es bei diesem Rohrmaterialien durch Versagen der Rollgummidichtungen; bei Setzungserscheinungen reichten nach einigen Jahren die Rückstellkräfte des Gummis nicht mehr aus.

#### 4.6.4 Durchführung materialtechnischer Untersuchungen im Labor für metallische Rohrleitungen

Die entsprechende Verfahrensdurchführung erfolgte in Erfurt.

Welche Untersuchungen sind erforderlich?

- Korrosionsschäden – Art und Umfang
- Statisch geeignet oder nicht geeignet?
- Unrundheit bei Stahl und Graugussleitungen

Um dem Aufwand für die materialtechnische Zustandsuntersuchung in Grenzen zu halten, sollte in der o.g. Reihenfolge vorgegangen werden, um zunächst die Eignung für ein Sanierungsverfahren und danach ggf. für ein Reliningverfahren (Rohreinzug von PE, PE-Xa, Duktillus- oder Stahlrohrmaterial) festzustellen.

Grundsätzlich ist in

- Flächenkorrosion,
- Muldenkorrosion und
- Lochkorrosion

(äußerer Korrosionsschutz, innerer Korrosionsschutz, Bestimmung des Korrosionsgrades (Flächen-, Mulden-, Lochkorrosion)

und bei Graugussleitungen als Sonderform der Korrosion

- Graphitierung (vgl. Abb. 4.20)
- zu unterscheiden.



Abb. 4.20: Zustandsbewertung hinsichtlich der Graphitierung an einer Gussrohrprobe



Wie in *Abb. 4.20* zu sehen ist, zeigen die Scherben einer Gussrohrleitung Graphitierungserscheinungen. Die Scherben der Rohrproben wurden zuerst mittels Wattetupfer mit der Chemikalie Phenolphthalein bestrichen, um die Graphitierung sichtbar zu machen. Anschließend erfolgte die bildgrafische Dokumentation.

Für den nächsten Arbeitsschritt ist die intakte Restwandstärke von Interesse (siehe dazu *Abb. 4.29* Wand-

stärke von Gussrohrleitungen und *Abb. 4.30* Wandstärke von Stahlrohrleitungen).

In der *Tab. 4.11* wurden die wichtigsten Schritte für Rohruntersuchungen zusammengestellt. Dabei handelt es sich um ein vereinfachtes Verfahren, mit dem man sich einen Überblick über den Zustand des Rohrnetzes verschaffen kann. Die Ergebnisse werden anschließend in eine Karte eingetragen.

Tab. 4.11: Verfahrensschritte für Rohruntersuchungen

1. Schritt	Bergung von Rohrproben mit Rohrnetzinformationen: <ul style="list-style-type: none"> <li>Rohrleitungsbaujahr, Länge der Gesamtleitung und der Rohrprobenlänge, die Rohrprobenlänge sollte dabei nach Möglichkeit etwa 3 bis 5 % der Gesamtlänge betragen.</li> </ul>
2. Schritt	Korrosionsschäden – Art und Umfang: <ul style="list-style-type: none"> <li>mittlere Korrosionsschutzdicke und der davon festhaftende Anteil der durchgehenden Voll-Inkrustations-Schichtdicke,</li> <li>maximale und mittlere Verkrustung sowie deren Oberflächenanteil im seitlichen und oberen Rohrleitungsbereich in der 8 bis 4 Uhr Position (Rauhigkeit) und</li> <li>maximale und mittlere Verkrustung sowie deren Oberflächenanteil im Bereich der Rohrsohle in der 5- bis 7-Uhr Position (Rauhigkeit der Rohrsohle).</li> </ul>
3. Schritt	Korrosion und dem Korrosionsschutz, differenziert: <ul style="list-style-type: none"> <li>nach innen und außen,</li> <li>Verkrustungsart, -festigkeit und -verteilung und</li> <li>Wasserchemie (z.B. Kalkkohlenäuregleichgewicht, Kalkrostbildung usw.).</li> </ul>
4. Schritt	werkstoffspezifischer Zustand: <ul style="list-style-type: none"> <li>Spongiosefestigkeit und Gefüge sowie</li> <li>Beurteilung der Materialart wie z.B. GGL, Sandguss, Festigkeit &gt; 130 N/mm<sup>2</sup>, feinkristallines Gefüge.</li> </ul>
5. Schritt	Geometrische Daten: <ul style="list-style-type: none"> <li>Innendurchmesser und der Unrundheit,</li> <li>Restwandstärke.</li> </ul>
6. Schritt	Bilddokumentation umfasst: <ul style="list-style-type: none"> <li>die Schäden (bei der Schadensaufklärung),</li> <li>den Zustand der Schädigungen im Rohrschaft und Rohrverbindungsbereich,</li> <li>den Korrosionsschutz und dessen Zustand,</li> <li>den Verkrustungs- (Inkrustations-) zustand,</li> <li>die Korrosionsschädigung, differenziert nach innen und außen.</li> </ul>

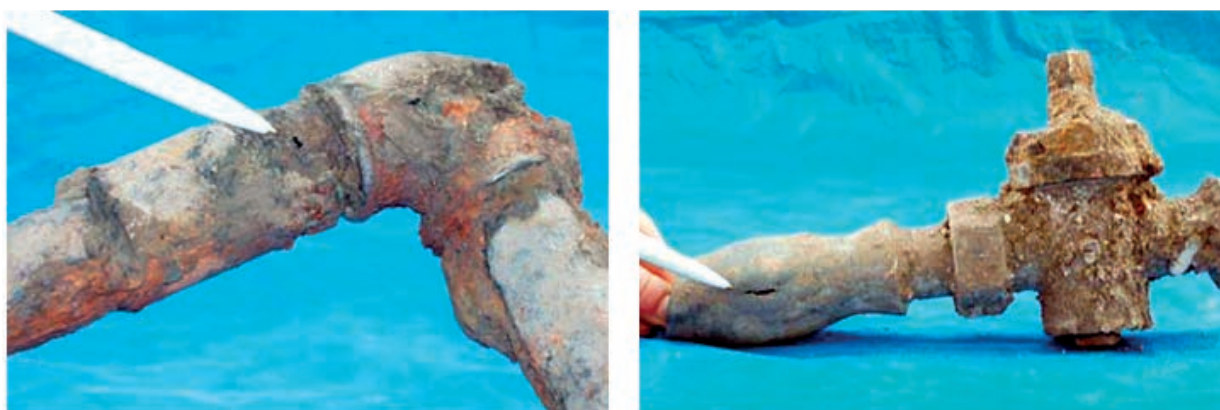


Abb. 4.21: Schaden an einer Hausanschlussleitung; links: Durchrostung; rechts: Längsriss in einer Bleirohrleitung

4. Sanierung und Erneuerung von Wasserversorgungsnetzen

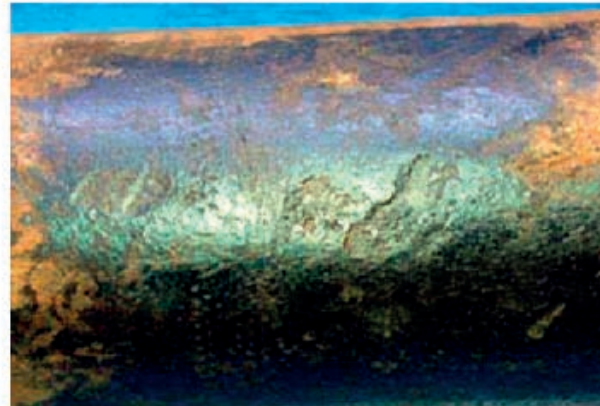


Abb. 4.22: Querriss; Flächenkorrosion

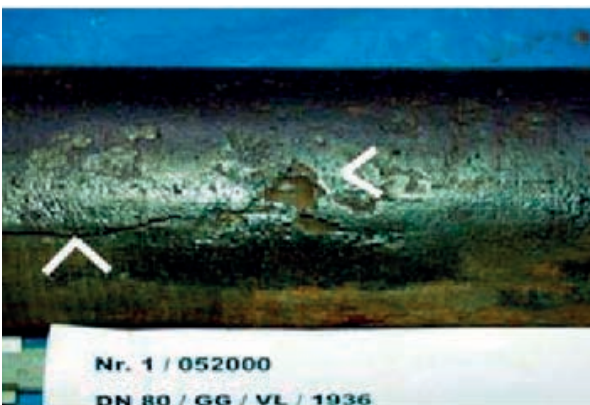


Abb. 4.23: Muldenkorrosion mit Übergang zur Lochkorrosion; Lochkorrosion

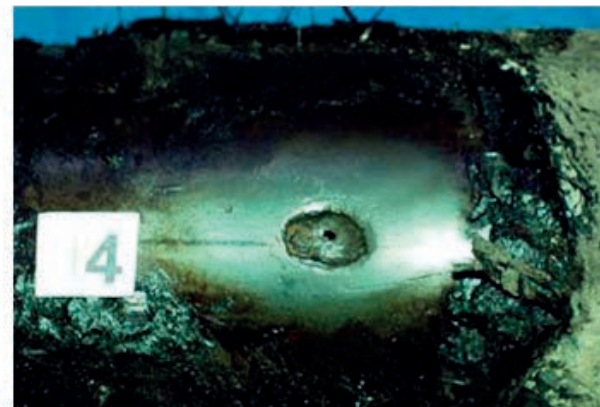
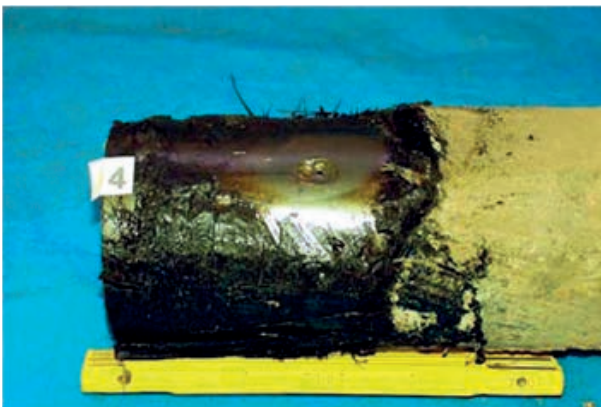


Abb. 4.24: Unterrostung einer jutearmierten Leitung; Lochkorrosion



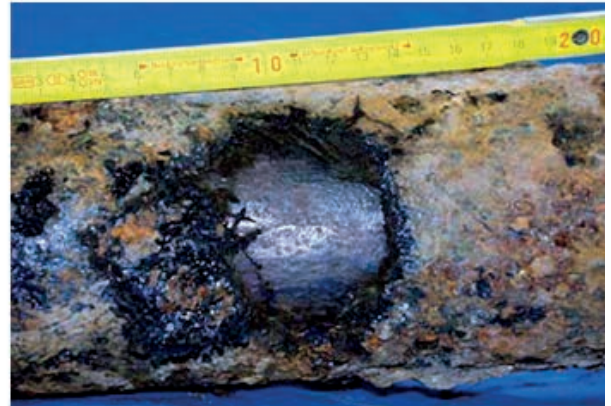


Abb. 4.25: Rohrprobe



Abb. 4.26: Graphitierung; Bruchstücke mit Graphitierung



4. Sanierung und Erneuerung von Wasserversorgungsnetzen



Abb. 4.27: Freilegen der Schadstelle/Rohrtrennung



Abb. 4.28: Schadensstelle und Schadensbeseitigung mit Rohrkupplungen

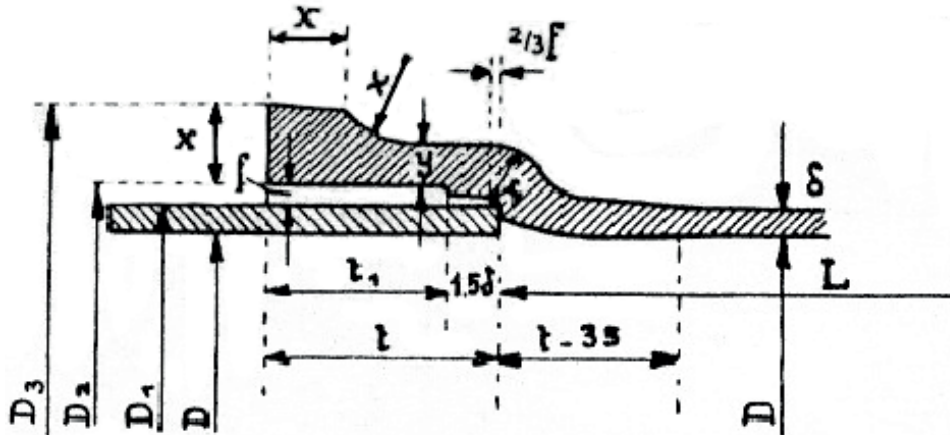


Abb. 4.29: Muffenprofile von Gussrohrleitungen

Tab. 4.12: Wandstärke von Gussrohrleitungen

Lichte Weite des Rohres	Normale Wandstärke	Äußerer Durchmesser des Rohres	Innerer Durchmesser der Muffe	Äußerer Durchmesser der Muffe	Muffentiefe	Dichtungstiefe	Normale Rohrlänge	x	y
D	δ	D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>	D <sub>3</sub>	t	t <sub>1</sub>	L		
40	8	56	70	116	74	62	3	23	11
50	8	66	81	127	77	65	3	23	11
60	8,5	77	92	140	80	67	3	24	12
70	8,5	87	102	150	82	69	3,5	24	12
80	9	98	113	163	84	70	3,5	25	12,5
90	9	108	123	173	86	72	3,5	25	12,5
100	9	118	133	183	88	74	4	25	13
125	9,5	144	159	211	91	77	4	26	13,5
150	10	170	185	239	94	79	4	27	14
175	10,5	196	211	267	97	81	4	28	14,5
200	11	222	238	296	100	83	4	29	15
225	11,5	264	264	324	100	83	4	30	16
250	12	274	291	353	103	84	4	31	17
275	12,5	300	317	381	103	84	4	32	17,5
300	13	326	343	409	105	85	4	33	18
325	13,5	352	369	437	105	85	4	34	19
350	14	378	395	465	107	86	4	35	19,5
375	14	403	421	491	107	86	4	35	20
400	14,5	429	448	520	110	88	4	36	20,5
425	14,5	454	473	545	110	88	4	36	20,5
450	15	480	499	573	112	89	4	37	21
475	15,5	506	525	601	112	89	4	38	21,5
500	16	532	552	630	115	91	4	39	22,5
550	16,5	583	603	683	117	92	4	40	23
600	17	634	655	737	120	94	4	41	24
650	18	686	707	793	122	95	4	43	25
700	19	738	760	850	125	96	4	45	26,5
750	20	790	812	906	127	97	4	47	28
800	21	842	866	964	130	98	4	49	29,5
900	22,5	945	970	1074	135	101	4	52	31,5
1000	24	1048	1074	1184	140	104	4	55	33,5
1100	26	1152	1178	1296	145	106	4	59	36,5
1200	28	1256	1282	1408	150	108	4	63	39

4. Sanierung und Erneuerung von Wasserversorgungsnetzen

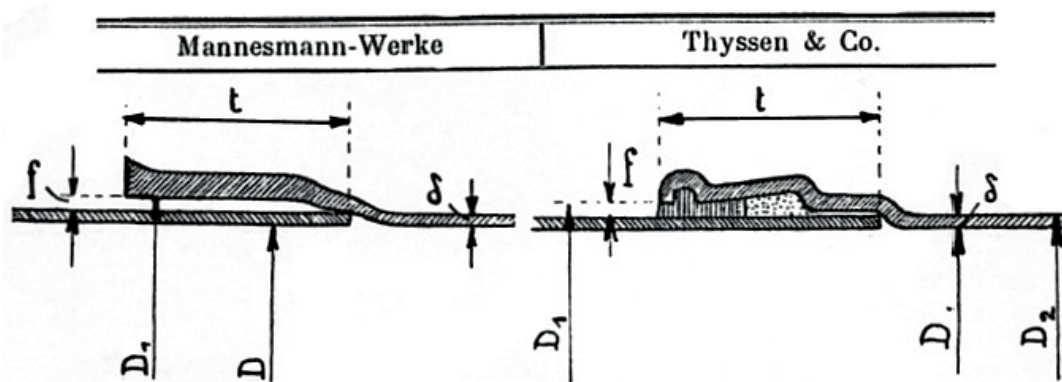


Abb. 4.30: Muffenprofile von Stahlrohrleitungen

Tab. 4.13: Wandstärke von Stahlrohrleitungen

Mannesmann - Werke						Thyssen & Co.					
Lichte Weite des Rohres	Lichte Weite der Muffe	Normale Wandstärke	Stärke der Dichtungsfuge	Muffentiefe	Gewicht pro lfd. m Rohr	Lichte Weite des Rohres	Lichte Weite der Muffe	Normale Wandstärke	Stärke der Dichtungsfuge	Muffentiefe	Gewicht pro lfd. m Rohr
D	D <sub>1</sub>	δ	f	t	kg	D	D <sub>1</sub>	δ	f	t	kg
40	60	3,0	7,0	81	3,9						
50	71	3,0	7,5	85	4,9	50	71	3	7,5	102	4,9
60	81	3,0	7,5	88	5,5	60	81	3	7,5	104	5,5
70	91,5	3,25	7,5	90	6,5	70	91	3	7,5	106	6,5
75	97	3,5	7,5	91	7,8	75	96,5	3,25	7,5	109	7,8
80	102	3,5	7,5	111	8,6	82,5	104	3,25	7,5	112	8,5
90	112,5	3,75	7,5	113	10,5	88,5	110	3,25	7,5	115	9,0
100	123	4,0	7,5	115	11,6	100,5	123	3,25	7,5	122	11,5
125	148	4,0	7,5	118	14,0	125	148	4,0	7,5	126	14,5
150	174	4,5	7,5	122	19,0	150	174	4,5	7,5	135	19,0
175	200	5,0	7,5	127	25,0	175	200	5,0	7,5	137	25,5
200	227	5,5	8,0	135	30,0	200	227	5,5	8,0	139	30,0
225	254	6,5	8,0	135	40,0	228	257	6,5	8,0	146	40,0
250	282	7,0	8,0	139	47,0	253	284	7,0	8,5	150	48,0
						277	309	7,5	8,5	150	56,5
						303	335	7,5	8,5	156	61,0
						324	360	8,0	8,5	158	70,5
						352	385	8,0	8,5	162	76,0
						377	412	8,5	9,0	163	86,5
						402	439	9,0	9,5	166	96,8



Tab. 4.14: Prüfverfahrenstechnologie für Rohrprobestücke

- 1. Probebegleitschein und Dokumentation der Rohrprobe**
  - Ausgefüllt durch Mitarbeiter der Stadtwerke Wasser GmbH
  - Festlegung der Rohrproben-Nr. im Untersuchungslabor der FH Erfurt
  - Eingabe der Primärdaten im Untersuchungslabor der FH Erfurt
  - Bilddokumentation der unbearbeiteten Rohrprobe im Untersuchungslabor der FH Erfurt (3-5-Bilder mit Rohrprobennummer und Maßstab – gesamtes Rohrstück, innen mit Inkrustation, außen mit erkennbaren Besonderheiten)
- 2. Bearbeitung der Rohrproben und Dokumentation**
  - Markierung der Rohrlage durch Einschliff (12-Uhr entspricht oben)
  - Rohrschnitte des Proberohres in 8 bis 10 cm lange Teilstücke bzw. an markanten Stellen
  - Kennzeichnen der Einzelstücke mit Rohrproben-Nr. (Schlagzahlen), um Verwechslungen auszuschließen
  - Entfernung des noch vorhandenen äußeren Korrosionsschutzes (dadurch werden Korrosions- bzw. Graphitierungserscheinungen erkennbar)
  - Bilddokumentation bei sichtbar gewordenen Besonderheiten
  - Entfernung der Inkrustationen bis auf noch vorhandenen inneren Korrosionsschutz (in der Regel Restbitumen – dadurch werden Korrosions- bzw. Graphitierungserscheinungen erkennbar)
  - evtl. Schnittflächen rauhtief bearbeiten (Drehen, Schleifen oder Feilen), um Restwandstärke sichtbar zu machen
  - Dokumentation der Restwandstärke, Unrundheit, Graphitierung usw. im Untersuchungsprotokoll
  - Bilddokumentation der bearbeiteten Rohrstücke (Schnittstellen, Rohr außen bzw. innen)
  - Brechen von Graugussrohrstücken, um Graphitierungserscheinungen sichtbar zu machen – weitere Bearbeitung und Bilddokumentation
- 3. Gesamtschätzung des Istzustandes und der Sanierungsfähigkeit gemeinsam mit Mitarbeitern der Stadtwerke Wasser GmbH**


Entscheidungen:

  - Zementmörtelauskleidung möglich
  - Berstlining bzw. Duktulguss bzw. Stahlrohrleitungen ZM-ausgekleidet und zusätzlichem Außenschutz
  - Einzug von PEX-Rohren
- 4. Datenbank materialtechnische Untersuchung**

Die Ergebnisse der Untersuchungen werden EDV-gerecht aufbereitet und der Stadtwerke Wasser GmbH als Datei übergeben.



Abb. 4.31: Materialtechnische Zustandsuntersuchungen im Rohrlabor von Professor Roscher

 <b>Werkstoffprüflabor für metallische Rohrleitungen Weimar</b>		<b>Probenbegleitschein</b> für materialtechnische Zustandsuntersuchungen		Auftragsnummer <input type="text"/>	
				Rohrstrang-ID <input type="text"/>	
				Probennummer <input type="text"/>	

<b>Ortsangaben</b>		Versorgungsunternehmen <input type="text"/>			
<b>Schadensort</b>		Ort / Gemeinde <input type="text"/>		Datum <input type="text"/>	
Straße <input type="text"/>		Haus-Nr. von <input type="text"/>		Haus-Nr. bis <input type="text"/>	

Lage	Fahrbahnbereich	Oberflächenbefestigung	Asphaltdecke
	Gehwegbereich (auch Plätze)		Asphaltdecke u. Pflastersteine
	Vorgärten / Grünstreifen		Betondecke
	Gleisbereich		Betonpflastersteine o. Platten
	freies Gelände		Naturpflastersteine
	Düker		unbefestigt (z.B. Schotter, Mutterboden)
	Sammelkanal	Überdeckung	cm <input type="text"/>

Bodenart Bettung	bindig (z.B. Lehm / Ton)	Grundwasserstand	nicht erkennbar
	nicht bindig (z.B. Sand)		oberhalb Rohrsohle
	gemischtkörnig		unterhalb Rohrsohle
	steiniger Boden (Fels)		schwankend (ober-/unterhalb)
	Abfälle, Schutt		

Verbindungsart	Flanschverbindung	Betriebsdruck	<input type="text"/>	bar		
	Schweißverbindung		Verlegejahr		<input type="text"/>	
	Steckmuffensysteme				Schadensursache	<input type="text"/>
	Stemmuffensysteme					<input type="text"/>
	Schraub- o. Gewindeverbindungen					<input type="text"/>
	Kupplungssysteme					<input type="text"/>
	zugfeste Steckverbindungen					<input type="text"/>
Klemmverbindungen (bei Kunststoff)	<input type="text"/>					

Vom Versorgungsunternehmen auszufüllen ←

<b>Rohrangaben</b>		Probennummer <input type="text"/>			
Nennweite bei metall. Rohren	DN	Bereich	Probenlänge <input type="text"/> cm		
	40	36 - 45 mm	Leitungsart <input type="text"/> HAL <input type="text"/> VL <input type="text"/> ZL <input type="text"/>		
	50	46 - 59 mm	Werkstoff		
	65	60 - 75 mm			
	80	76 - 90 mm			
	100	91 - 115 mm			
	125	116 - 140 mm			
	150	141 - 165 mm			
	175	166 - 195 mm			
	200	196 - 219 mm			
225	220 - 239 mm				
250	240 - 265 mm				
275	266 - 285 mm	Bemerkung			
300	286 - 320 mm				
> 300	321 - ... mm				

Korrosionsschutz	Bitumen- o. Teerbeschichtung	Außen	<input type="checkbox"/>	Innen	<input type="checkbox"/>
	Kunststoffbeschichtung	Außen	<input type="checkbox"/>	Innen	<input type="checkbox"/>
	Zinküberzug	Außen	<input type="checkbox"/>	Innen	<input type="checkbox"/>
	Zementmörtelschicht (ZMU / ZMA)	Außen	<input type="checkbox"/>	Innen	<input type="checkbox"/>

Fotos v. Rohrprobe	Probestück f. Metallographie	Bodenprobe	Brinellhärte	Statische Versuche
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

Abb. 4.32: Probenbegleitschein



4. Sanierung und Erneuerung von Wasserversorgungsnetzen

Zustandsuntersuchung / Metallographie				Probennummer						
Material lt. Metallographie										
GGL		GGG		Stahl						
Generation										
		GGL-I								
		GGL-II								
		GGL-III								
		GGL-IIIa								
		GGG-I								
		GGG-II								
		GGG-IIa								
		Stahl-I								
		Stahl-II								
		Stahl-III								
		Stahl-IV								
		Stahl-IVa								
Flächenanteil Korrosionsschutz				Außen		Innen		nicht vorhanden	0 %	
								Reste erkennbar	1 - 10 %	
										11 - 40 %
								zur Hälfte vorhanden	41 - 60 %	
										61 - 90 %
Haftung Korrosionsschutz				Außen		Innen		lose		
								lockerer Verbund		
								mäßiger Verbund		
								fester Verbund		
Flächenanteil Inkrustierung				keine Inkrustierung						
				wenig Inkrustierung						
				mittelmäßig zugesetzt						
				starke Inkrustierung						
				vollständig zugesetzt						
Wandstärke an den jeweils gegenüberliegenden Scheitelpunkten										
s1	mm	s2	mm	s3	mm	s4	mm			
Korrosionsart										
	Muldenkorrosion	Narbenkorrosion	Flächenkorrosion	Lochkorrosion	Tiefe [mm]	Dm. [mm]	Flächenanteil [%]			
Korrosionsart 1 außen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>						
Korrosionsart 2 außen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>						
Korrosionsart 1 innen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>						
Korrosionsart 2 innen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>						
Graphitierung außen	ja	nein								
Graphitierung innen	ja	nein								
Festigkeit	weich									
Graphitierung	hart									
Bemerkung			Schadensart							
Zustandsuntersuchung										
			Radialriss (inkl. Rohrabriss)							
			Längsriss							
			Querbruch							
			Schalenbruch							
			Perforierung (haupts. Lochkorrosion)							
			Undichte Verbindung							
			keine (z. B. Straßenbaumaßnahme)							
Struktur laut Metallographie		Lamellengraphit grob			Beschreibung Inkrustierung					
		Lamellengraphit fein								
		Lamellengraphit Nester								
		Kugelgraphit								
		sekund. Zeilengefüge								
		knollenartig, vereinzelt								
		Knollenartig, vollflächig								
		flächig								
		dünn-schichtig								

Abb. 4.33: Istzustandserfassung für Rohrprobestücke

#### 4.6.5 Ziele der materialtechnischen Zustandsbewertung

Schäden treten an Rohrleitungen in Abhängigkeit von den Rohrwerkstoffen Guss bzw. Duktillguss oder Stahl als Quer- und Längsrisse, Schalenbrüche, Korrosion bzw. Graphitierung auf und werden alle gleichermaßen statistisch als Schadensereignisse erfasst.

Rehabilitationsplanungen erfolgen derzeit unabhängig von der Art der Schadensereignisse auf der Grundlage der Schadensstatistik und der ermittelten Häufigkeit von Schäden auf bestimmten Leitungsstrecken bzw. in Teilversorgungsgebieten des Wasserrohrnetzes. Verwendet werden dafür auch EDV-gestützte Prognoseverfahren (siehe *Kap. 6 Rehabilitationsstrategien*).

In der Regel werden dadurch nur die schlechtesten Teile eines Systems ausgetauscht, d.h. erneuert bzw. saniert

Die Zustandsverschlechterung von Leitungen und Armaturen verursacht steigende Schadensraten und reduziert ihre technische und betriebswirtschaftliche Nutzungsdauer. Der Zustand der Rohrleitungen wird durch eine Vielzahl von Faktoren beeinflusst, die mit den materialtechnischen Zustandsuntersuchungen erfasst werden können.



Abb. 4.34: Einflussfaktoren auf den technischen Zustand einer Rohrleitung [Böhm, 1993]

Eine wichtige Kenngröße zur Beurteilung des Rohrzustandes von metallischen Leitungen, welche nicht aus der Schadensstatistik ableitbar ist, ist die statische Resttragfähigkeit. Sie gibt darüber Auskunft bis zu welcher Belastung (bzw. Spannungen) der jeweilige Rohrquerschnitt noch tragfähig ist – zugleich die entscheidende Größe für die Sanierungsfähigkeit einer Leitung und die Nutzung noch vorhandener Tragfähigkeitsreserven der Rohrleitungen.

Die materialtechnische Zustandsbewertung lässt im Vergleich zur Zustandsbewertung nach Schadensraten bzw. nach Schadensstatistiken (vgl. W 400-3, W 402 und G 402) eine Zustandsbewertung des jeweiligen Rohrnetzes ohne sichtbare Schäden zu (Rohrproben aus Schadensfällen bzw. von Reparaturen oder Armaturenauswechslungen) und kann auch in EDV-gestützte Verfahren zur Ermittlung des Rehabilitationsbedarfes einbezogen werden.

#### 4.6.5.1 Zustandsbeurteilung nach Brussig

Durch stichprobenartige Untersuchungen wird eine ausreichende Menge an Informationen über den Rohrleitungszustand ermittelt. Insbesondere an Stahlleitungen bzw. älteren Graugussleitungen sollten nach Brussig die Rohrverbindungen mit untersucht werden, da sie die Schwachstellen der Rohrleitung sind.

Als wichtigstes Kriterium wurde von Brussig die Wanddickenreserve herangezogen und daraus ein Abnutzungsvorrat abgeleitet, indem die vorhandene Wanddicke einer erforderlichen statischen Mindestwanddicke (materialabhängig) gegenübergestellt wird.

Für eine materialtechnische Zustandsbewertung sind nachstehende Faktoren entscheidend:

- Wanddickenreserve als Entscheidungsgrundlage über Sanierung oder Erneuerung,
- ausreichende Tragfähigkeit trotz Perforierung, z.B. bei Lochkorrosion an Stahlleitungen.

Bezüglich der Lochkorrosion ist eine differenzierte Untersuchung notwendig; die statische Restwanddicke ist nur eine Randbedingung

Bei Außenkorrosion wird eine Wanddickenreserve für 50 Jahre weiterer Nutzungsdauer veranschlagt (rechnerischer Abrostzuschlag, bestimmt anhand von Messungen der Korrosionsgeschwindigkeit) oder ein kathodischer Korrosionsschutz (KKS), wenn dieser möglich ist.

Nach Brussig ist eine um 40 % bis 60 % geschwächte Sollwanddicke im Allgemeinen für eine Sanierung nach DVGW-Arbeitsblatt W 343 mittels Zementmörtelauskleidung ausreichend.

Die Erfassung der vorhandenen Wanddickenreserve erfolgt über Messung der vorhandenen restlichen Wanddicke und des Umfangs der Innen- und Außenkorrosion über Tiefe, Länge, Breite und Flächenanteil an begrenzter Rohroberfläche.

#### 4.6.5.2 Zustandsbeurteilung nach Böhm

Böhm [Böhm, 1993] nannte keine Methoden zur messtechnischen Datenerfassung am Rohr, gab aber je nach Schädigungsgrad Zustandsnoten an und schlug entsprechende Maßnahmen vor. Zusätzlich bezog er Einflüsse aus Bodenparametern ähnlich DVGW-Arbeitsblatt GW 9 als Maß der Korrosionsgefährdung und Korrosionsgeschwindigkeit ein.

Weiterhin nennt Böhm als Kriterium zur Anwendung der Sanierungsmethode Zementmörtelauskleidung:

- Korrosionstiefe bei Flächenkorrosion  $\leq 0,5 \cdot \text{Rohrwalldicke}$
- Korrosionstiefe bei Lochkorrosion  $\leq 0,1 \cdot \text{Nennweite bei DN 80} - 300$
- $\leq 0,01 \cdot \text{Nennweite bei DN} > 300$

Tab. 4.15: Korrosionsgeschwindigkeiten an erdverlegten metallischen Wasserleitungen (Abtrag in mm pro Jahr) [Böhm, 1993]

Korrosion		Aggressivitätsgrad							
Ort	Art	1	2	3	4	5	6	7	8
Innen	Flächenkorrosion	0,01			0,02	0,03	0,06	0,11	0,15
	Lochkorrosion	0,06			0,07	0,08	0,10	0,20	0,35
Außen	Flächenkorrosion	0,01			0,02	0,04	0,08	0,1	
	Lochkorrosion	0,05			0,15				

#### 4.6.5.3 Materialtechnische Zustandsbewertung nach Sorge

Ausgehend von Leitungsgruppen (DVGW W 401 bzw. [Roscher et al., 2000] und [Roscher, 2009]) wurde für metallische Rohrleitungen ein Verfahren zur Bestimmung des technischen Rohrleitungszustandes bzw. des Nutzungsvorrates bestehender Leitungen entwickelt, welches ermöglicht:

- den Schädigungsgrad von Leitungen messtechnisch zu erfassen und untereinander zu vergleichen
- eine Prognose der technischen Nutzungsdauer aufgrund von Einflussfaktoren vorzunehmen
- die statische Resttragfähigkeit, die technische Abnutzungsreserve und die technische Restnutzungsdauer zu bestimmen
- die Sanierungsfähigkeit einer Leitung anzugeben.

Folgende Kriterien wurden von Sorge [Sorge, 2006] messtechnisch erfasst und bewertet:

- Korrosions- bzw. Schadensarten und deren Ausmaß
- Herstellungsverfahren
- Verlegeperiode (entspricht Rohrgenerationen)
- Qualität des Korrosionsschutzes
- geometrische Abmessungen
- Verlegebedingungen, Bodenaggressivität, Korrosionspotenzial
- rechnerische Restwandstärke und Schädigungsgrad der Rohrschubstanz
- statische Parameter wie Zugfestigkeit E-Modul, Bruchdehnung
- technischer Abnutzungsvorrat, Resttragfähigkeit, Sanierungsfähigkeit
- technische Nutzungsdauer bzw. Restnutzungsdauer (materialbezogen)
- metallographische Betrachtungen zur Materialbestimmung und Erkennung vor Korrosionskeimen.

In Abhängigkeit der Netzgröße im Versorgungsunternehmen kann der Untersuchungsaufwand durch Ergänzung und Verfeinerung der Untersuchungsmethoden angepasst werden

Die einzelnen Untersuchungsschritte gliedern sich in:

- Bergung von Rohrstücken bei Havarien, Aufgrabungen und Reparaturen des Rohrnetzes
- grobe Säuberung der Rohrstücke (Rohrproben) im Labor und erste Begutachtung

- Beurteilung des Inkrustierungsgrades bzw. von Ablagerungen
- Zersägen der Rohrstücke für die Bearbeitung in der Sandstrahlkammer
- Freilegung der blanken Rohroberfläche in der Sandstrahlkammer zur Erkennung des Korrosionsfortschritts
- Metallographie plus Zugprobe
- Ermittlung des Herstellungsverfahrens (soweit möglich)
- Metallographie, Brinellhärte und Zugversuche am Probekörper (Rohrwerkstoff und Materialeigenschaften)
- Archivierung/Auswertung der Ergebnisse mit Hilfe der EDV und Speicherung von Daten in einer Datenbank.

Mit Hilfe von Einzelproben können die Ergebnisse der Untersuchungen auf Leitungsstrecken mit annähernd gleichen Einflussfaktoren übertragen werden.

#### Prognose der technischen Nutzungsdauer metallischer Rohrleitungen

Der Grundgedanke zur Ermittlung der technischen Nutzungsdauer metallischer erdverlegter Trinkwasserleitungen ist der Vergleich des technischen Istzustands mit einem definierten Mindest- oder Ausfallzustand über die sog. empirische Restwanddicke.

Folgende Annahmen wurden von Sorge getroffen:

- Zum Zeitpunkt der Verlegung des untersuchten Rohrleitungsstrangs betrug dessen technischer Zustand bzw. Ausgangszustand 100 %, das heißt, dass der Rohrquerschnitt ungeschwächt war (keine Herstellungsfehler, Transportschäden usw.).
- Zum Ende seiner technischen Nutzungszeit hat die untersuchte Rohrleitungsstrecke ihren Ausfall- oder Mindestzustand erreicht; d.h. die sog. tragfähige Mindestwanddicke wird unterschritten.
- Der Zeitraum zwischen der Rohrerstellung bzw. der Rohrverlegung und dem Erreichen des Mindestzustands (Ausfallzeitpunkt) entspricht zunächst einer mittleren statistischen Nutzungsdauer.
- Der Zeitraum zwischen dem Feststellen des Istzustands über materialtechnische Zustandsuntersuchungen und dem Erreichen des Mindestzustands entspricht der technischen Restnutzungsdauer.

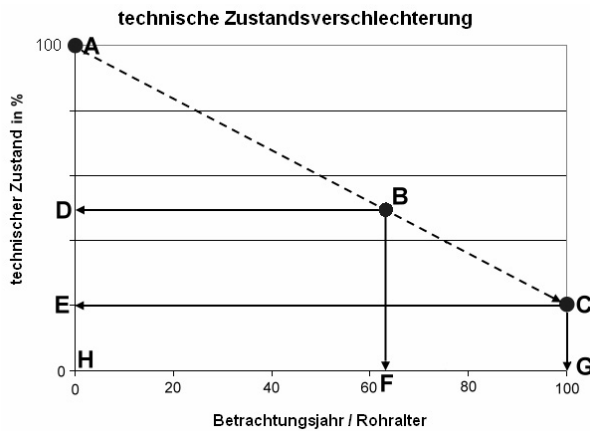


- Mittels Vergleich von Istzustand und Mindestzustand wird ein ggf. neuer Ausfallzeitpunkt bestimmt und die Restnutzungsdauer korrigiert (Ausfall bzw. Erreichen des Mindestzustands früher oder später).

Die technische Zustandsverschlechterung von metallischen Rohrleitungen wird zum größten Teil von Korrosionsangriffen beeinflusst, d.h. die Korrosion bewirkt einen Materialabtrag und damit die Querschnittsschwächung bzw. Tragfähigkeitsminderung.

Die Abtragungsraten bzw. Korrosionsgeschwindigkeiten verlaufen über einen bestimmten Betrachtungszeitraum annähernd konstant und linear (Abb. 4.35). Bei Annahme einer gewissen Resistenzzeit wird statt einer linearen eine progressive Zustandsverschlechterung angenommen (ungünstiger Fall).

Eine degressive Zustandsverschlechterung, z.B. bei Bildung von korrosionshemmenden Schutzschichten an der Rohrwand) würde sich günstig auf die technische Restnutzungsdauer auswirken und somit nicht auf der sicheren Seite liegen (Abb. 4.36).

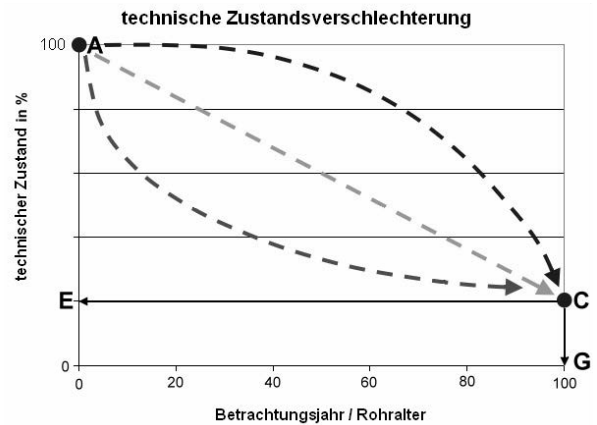


- Punkt A: Ausgangszustand = 100 % im Jahr der Rohrverlegung (Rohralter = 0)
- Punkt B: technischer Istzustand der Leitung in % (Punkt D) zum Zeitpunkt der Untersuchung (Punkt F)
- Punkt C: erreichter Mindestzustand der Leitung in % (Punkt E) zum Ende der vorerst statistischen Nutzungsdauer (Punkt G), Tragfähigkeit im weiteren Verlauf unterschritten

- Strecke  $\overline{HG}$  statistische Nutzungsdauer
- Strecke  $\overline{FG}$  statistische Restnutzungsdauer bzw. statistische Lebensdauer
- Strecke  $\overline{DE}$  technische Abnutzungsreserve bzw. statistische Restlebensdauer
- Strecke  $\overline{AC}$  ideal linearer Verlauf der Zustandsverschlechterung

Abb. 4.35: Beurteilungskriterien zur technischen Zustandsverschlechterung [Sorge, 2006]

Weitere Möglichkeiten des Verlaufs der technischen Zustandsverschlechterung gibt Abb. 4.36 an.



- Strecke  $\overline{AC}$  (grün) ideal linearer Verlauf der Zustandsverschlechterung
- Strecke  $\overline{AC}$  (rot) degressiver Verlauf der Zustandsverschlechterung; Annahme ungünstig, da der Punkt des Erreichens des Mindestzustands unrealistisch zu einem späteren Zeitpunkt verschoben wird
- Strecke  $\overline{AC}$  (blau) progressiver Verlauf der Zustandsverschlechterung unter Annahme einer gewissen, unbestimmten Resistenzzeit; Verlauf der Zustandsverschlechterung ähnlich einer sog. Wurfparabel

Abb. 4.36: Verlaufskurven einer möglichen Zustandsverschlechterung [Sorge, 2006]

### Durchführung der vereinfachten materialtechnischen Zustandsuntersuchung

#### Rohrprobenbeschaffung

Die Sammlung der rohrspezifischen Daten erfolgt mit Probenbegleitscheinen. Angaben zu betriebsbezogenen Daten wie Versorgungsdruck, Wasserparameter, Durchflussmenge oder Fließrichtung sind den zugehörigen Bestandsdaten zu entnehmen. Hierbei sind ein Abgleich der Bestandsdaten mit den vorgefundenen Daten und eine Plausibilitätskontrolle sinnvoll. Wichtig ist z.B. das Verlegedatum, falls in den anschließenden Untersuchungen das Rohrherstellungsverfahren nur grob abgeschätzt werden kann.

Die Daten aus Bestandsplänen und Schadensstatistiken sollten außerdem immer mit den Daten der Zustandsuntersuchung abgeglichen und aktualisiert werden.

Tab. 4.16: Erfassungskriterien bei Datensammlung zum Rohrleitungszustand vor Ort [Sorge, 2006]

Hauptangabe	Bemerkung bzw. Unterteilung
Schadensdatum bzw. Bergedatum	
Straßenname	zur Lokalisierung
Hausnummer	zur Lokalisierung (wenn möglich)
Lage der Leitung	zur Einschätzung der Verkehrsbelastung und Gefährdung bei Rohrschäden
Oberflächenbefestigung	zur Einschätzung des Arbeitsaufwands bei Freilegung
Bodenart/Bettung (falls abweichend)	zur Einschätzung der Bodenaggressivität und Lastübertragung
Grundwasserstand (wenn erkennbar)	zur Einschätzung von Korrosionsgefährdung und Lasteinwirkung
Überdeckung	zur Abschätzung der Verlegetiefe, Frostsicherheit und Lastübertragung
Leitungsart	zur Einordnung der Funktion im Netz
Verbindungsart	falls bei Aufgrabungen an Entnahmestellen die zugehörigen Rohrverbindungsarten erkennbar sind und keine Probeentnahme inkl. Rohrverbindungssystem möglich ist, sollte dies bereits vermerkt werden
Schadensursache	soweit möglich bei offensichtlichen Schäden wie Fremdarbeiten oder Bodenbewegung

#### Begutachtung der Probe im Labor

Vor weiteren Untersuchungen ist die Rohrprobe äußerlich mittels Drahtbürste und Spachtel zu säubern.

Tab. 4.17: Erfassungskriterien bei Datensammlung zum Rohrleitungszustand bei Begutachtung der Rohrprobe im Untersuchungslabor [Sorge, 2006]

Hauptangabe	Bemerkung bzw. Unterteilung
Nennweite	zur Klassifizierung
Verbindungsart	zur Abschätzung der Herstellungszeitspanne und des Gefährdungspotenzials durch undichte Verbindungen
Rohrwerkstoff	soweit zweifelsfrei möglich zur Klassifizierung und Bestimmung der Rohrgeneration

Die **Beurteilung des äußeren und inneren Korrosionsschutzes** dient hauptsächlich der Einschätzung, in welchem Ausmaß ein weiterer Angriff durch Korrosionsmedien den metallischen Rohrwerkstoff schädigen kann. Zusätzlich lässt die Ausführung des Korrosionsschutzes Rückschlüsse auf das Herstellungsverfahren zu.

Der Grad und die Erscheinungsform der Inkrustierung soll den Abgleich rohrhydraulischer Parameter wie etwa Druck- und Reibungsverluste ermöglichen und als Entscheidungsgrundlage bei geplanten Reinigungs- bzw. Rohrpülplänen zugezogen werden.

Die Rohrproben sind für weitere Untersuchungen in entsprechend kleinere Teilstücke zu trennen und werden in einer Sandstrahlkammer von Korrosionsprodukten, Inkrustierungen und Schmutzpartikeln gereinigt, bis die metallische Rohroberfläche freiliegt.

Die Erfassung von Schadensart, Korrosionsart und Rohrherstellungsverfahren wird in Anlehnung an (Abschnitt über Schäden und Schadensursachen) durchgeführt. Das Ausmaß der Korrosion wird messtechnisch erfasst. Um das Ausmaß der Schädigung (Substanzverlust) und somit den Schädigungsgrad zu bestimmen, ist ergänzend die Restwanddicke am blank gestrahlten Teilstück zu messen. Die Messpunkte sollten sich an den jeweils gegenüberliegenden Rohrenden und Rohrscheitelpunkten befinden bzw. sollte die augenscheinlich maximale und minimale Wanddicke erfasst werden.

Die augenscheinliche Abschätzung des Flächenanteils bezieht sich auf die zu untersuchende Rohrprobenoberfläche am Teilstück. Eine genauere messtechnische Erfassung ist z.B. mit photometrischen Methoden möglich.

Tab. 4.18: Untersuchungsdaten zur Beurteilung von Korrosionsschutz und Inkrustierung [Sorge, 2006]

Hauptangabe	Bemerkung bzw. Unterteilung
Art des Korrosionsschutzes	zur Klassifizierung und Rückschlüsse auf das Herstellungsverfahren
Flächenanteil des Korrosionsschutzes	zur Beurteilung der Vollflächigkeit bzw. Bedeckungsgrad innen und außen
Haftungsgrad des Korrosionsschutzes	Annahme einer verminderten Schutzwirkung bei loser Haftung
Flächenanteil Inkrustierung	augenscheinliche Abschätzung
Struktur der Inkrustierung	zur rohrhydraulischen Einschätzung

Tab. 4.19: Erfassungsdaten zur weiteren Beurteilung von Schadensart und Korrosionsart [Sorge, 2006]

Hauptangabe	Bemerkung bzw. Unterteilung
Wanddicke	zur Beurteilung der tatsächlichen Restwanddicke wie oben beschrieben, Messung auf 1/10 Millimeter genau
Schadensart	zur Beurteilung des Schädigungsgrades
Korrosionsart	zur Beurteilung des Schädigungsgrades innen und außen, bei mehr als einer Korrosionsart pro Rohrseite erfolgt die Erfassung von max. zwei dominierenden Korrosionsarten
Korrosionsgrad	zur geometrischen Erfassung der Korrosionsarten innen und außen und weiteren Beurteilung, Messung auf 1/10 Millimeter genau
Rohrherstellungsverfahren	zur Einteilung in Rohrgenerationen

**Durchführung der präzisen materialtechnischen Zustandsuntersuchung**

Mittels der präzisierten materialtechnischen Zustandsuntersuchung werden die Untersuchungsergebnisse verfeinert und deren Aussagekraft erhöht. Sie empfehlen sich bei größerem Netzbestand gleichartiger Rohrgenerationen. Entstehende Mehrkosten durch erhöhten Untersuchungsaufwand werden durch die vorhandene Anzahl gleichartiger Rohrgenerationen ausgeglichen. Die Untersuchungskosten pro Rohrstrang verringern sich, wenn die Untersuchungsergebnisse bei ähnlichen Verlegebedingungen auf andere gleichartige Rohrstränge übertragen werden können. Metallographische Untersuchungen

Tab. 4.20: Erfassungsmerkmale bei metallographischen Untersuchungen an Teilstücken von Rohrproben [Sorge, 2006]

Hauptangabe	Bemerkung bzw. Unterteilung
Mikroskopische Kornstruktur	zur eindeutigen Werkstoffbestimmung oder Erkennung etwaiger Korrosionskeime  Unterteilung in: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Lammellengraphit, grob</li> <li>• Lammellengraphit, fein</li> <li>• Lamellengraphit, knotenförmig</li> <li>• Kugelgraphit</li> <li>• sekundäres Zeilengefüge</li> </ul>

Die metallographischen Untersuchungen zur Erkennung des mikroskopischen Metallgefüges werden an präparierten Probestücken durchgeführt. Dazu wird das Probestück für den sog. Metallschliff vorbereitet, indem es in entsprechenden Formen mit Bettungsmitteln eingebettet wird. Durch geeignetes Schleifpapier mit Schleifkörnern aus Siliziumkarbonat, Aluminiumoxid oder Diamant (je nach Härte) wird die Probe mit stufen-

weise feinerer Körnung plan geschliffen und anschließend poliert, um Schleifmittelreste und feinste Unebenheiten zu entfernen. Die mikroskopische Betrachtung der präparierten Probe erfolgt unter einem Auflichtmikroskop. Stahlproben müssen zur Erkennung der Kornstruktur geätzt werden.

**Ermittlung der Zugfestigkeit an Rohrproben**

Die Zugfestigkeit wurde durch statische Versuche an passenden Probekörpern ermittelt. Zusätzlich wurde der E-Modul ermittelt. Beide Werte sind für rohrstatische Berechnungen nach ATV A 127 [ATV, 2008] notwendig.

Aufgrund des annähernd isotropen Verhaltens der Rohrwerkstoffe Grauguss, Duktulguss und Stahl können die Zugproben längs zur Rohrachse herausgearbeitet und geprüft werden (Flachproben).

**Ermittlung der Zugfestigkeit**

Da in Deutschland keine Wasserrohrleitungen aus Grauguss mehr hergestellt werden, existieren auch keine aktuell gültigen Prüfvorschriften zur Ermittlung und Kontrolle von Materialeigenschaften und Festigkeitswerten (z.B. Zugfestigkeit). Um dennoch passende Anhaltspunkte bzw. Vorgehensweisen für statische Versuche zu nutzen, wurden die Angaben aus DIN EN 877 herangezogen. Die Probenform nach DIN EN 877 gilt für Versuche an Graugussrohren mit Lamellengraphit. Da die Rohrherstellungsverfahren und Belastungsvarianten (möglicher Innendruck) dem von Wasserrohrleitungen entsprechen, können die Werte übertragen werden.

Die Grenzabmessungen der Zugproben richten sich nach den Vorgaben in DIN 50125 bzw. DIN EN 10002, nach der Höchstzugkraft an der Prüfmaschine und einem ausreichend großen Verhältnis der Querschnittsflächen in Zugrichtung von Probenkopf und Probensteg.

Die Versuche zur Ermittlung der Zugfestigkeit an Duktulguss- und Stahlrohrproben wurden nach DIN EN 10002 durchgeführt. Die Druckfestigkeit von Grauguss ist im Allgemeinen viermal so hoch wie der Wert der Zugfestigkeit. Ebenfalls werden Zugfestigkeit, E-Modul und Bruchdehnung ermittelt.

In [Roscher, 2009] wurden Materialeigenschaften metallischer Rohrleitungen (Rohrgeneration, Zugfestigkeit, Druckfestigkeit, E-Modul, Bruchdehnung) tabellarisch angegeben.

**Nutzung der Untersuchungsergebnisse**

Der technische Zustand eines Rohrleitungsabschnitts wird durch Korrosionsangriffe vermindert. Korrosionsangriffe treten örtlich begrenzt und/oder großflächig auf. Der Verlauf der Korrosionsgeschwindigkeit und die Menge des Substanzverlusts am Rohr (Abtragungsrate) hängen bei Annahme gleicher Verlegebedingungen (Rohrwerkstoff, Korrosionsschutz, Bodenaggressivität) von der Korrosionsart und somit wiederum von einem örtlichen oder flächigen Angriff ab.

Um die Untersuchungsergebnisse einzelner Beprobungen auf einen ganzen Rohrleitungsabschnitt oder ähnli-



che Rohrleitungsabschnitte übertragen zu können, müssen neben den grundlegenden Kenndaten wie Rohrwerkstoff bzw. Rohrgeneration, Nennweite und Verlegejahr (möglichst aus Bestandsplänen) weitere Kenndaten wie Bodenart und Verlegetiefe (aus Bodenkarten oder Aufgrabungen durch Baumaßnahmen in Rohrleitungsnahe) vorliegen.

Es empfiehlt sich, zunächst ungünstige Untersuchungsergebnisse auf ähnliche Rohrleitungsabschnitte zu übertragen. Eine Korrektur erfolgt, sobald separate Untersuchungsergebnisse des jeweiligen Rohrleitungsabschnitts vorliegen.

Die Ermittlung des technischen Zustands durch die materialtechnische Zustandsuntersuchung und die damit verbundene Ermittlung der statischen Resttragfähigkeit lässt die Auswahl von Sanierungsmaßnahmen zu.

Durch die Verwendung der technischen Nutzungsdauer in Kombination mit der Bestimmung der sog. optimalen Nutzungsdauer (Kostenoptimum Reparaturkosten und Investitionskosten) kann der optimale Zeitpunkt einer Rohrerneuerung angegeben werden.

**Schlussfolgerungen**

Das von Sorge entwickelte Verfahren zur Prognose der technischen Nutzungsdauer erdverlegter metallischer Rohrleitungen dient der Rohrnetzbewertung und als Grundlage für künftige Rehabilitationsplanungen bzw. Investitionsplanungen am Netz. In Kombination mit Daten der Schadensstatistik (Entwicklung von Schadensraten) und Reparaturkosten bzw. Investitionsaufwand (optimale Nutzungsdauer) lässt sich die Rohrnetzbewertung durch dieses Verfahren insgesamt präzisieren.

Mit Hilfe der materialtechnischen Zustandsuntersuchung ist es möglich, den technischen Zustand der Rohrschubstanz einer Wasserversorgungsleitung auch ohne zuvor eingetretenes Schadensereignis zu bewerten. Anhand des technischen Zustands lässt sich über das Prognosekonzept der Ausfallzeitpunkt und die Sanierungsfähigkeit eines Rohrleitungsstrangs bestimmen. Mit der passenden Rehabilitationsmaßnahme wird kostenintensiven Schäden vorgebeugt.

**4.7 Planung der Rehabilitation**

**4.7.1 Ziele der Instandhaltung von Trinkwasserrohrnetzen**

Wasserrohrnetze müssen durch rechtzeitige und kontinuierliche Instandhaltung in ihrem Bestand gesichert werden, um eine qualitätsgerechte Versorgung hinsichtlich ausreichender Menge, ausreichendem Druck und hoher Wassergüte zu garantieren.

Ihr Zustand beeinflusst die Versorgungssicherheit und die Wirtschaftlichkeit sowie das Image des Wasserversorgungsunternehmens.

Die Folgen unzureichender Rehabilitation sind:

- steigendes Rohrnetzalter (wobei das Alter kein Kriterium für den Zustand des Rohrnetzes ist)
- steigende Schadenshäufigkeit
- steigende Wasserverluste

- steigende Reparaturkosten.

Die Rehabilitation ist Teil der Instandhaltung wie Abb. 4.37 zeigt.

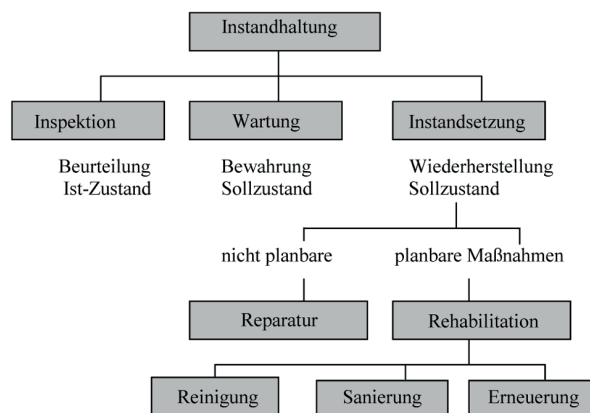


Abb. 4.37: Instandhaltung

Ziele der Instandhaltung sind nach W 400-3:

- Bereitstellung von Trinkwasser in hygienisch einwandfreier Qualität, in erforderlicher Menge und mit ausreichendem Druck
- störungsfreie Belieferung der Abnehmer
- lange Nutzungsdauer der Wasserverteilungsanlagen aus wirtschaftlichen Gründen
- Optimierung der Instandhaltungskosten bei Einhaltung der Versorgungsstandards.

Die Rehabilitation erfordert:

- detaillierte Netzkenntnisse nach Bestand und Zustand der Rohrleitungen und Armaturen
- Vorgabe von technisch/wirtschaftlichen Zielen (Wasserverlustkennwerte, Erneuerungsrate usw.)
- Abstimmung der Ausbauplanung mit anderen Versorgungssparten (Gas, Abwasser) und dem Straßenbau

**4.7.2 Rehabilitationsstrategie**

Sie umfasst die:

- langfristige Strategie (Reha-Strategie)
- mittelfristige Strategie (Reha-Planung) und die
- einzelnen Baumaßnahmen.

Die genannten Komponenten bestimmen maßgeblich die Wirtschaftlichkeit der Versorgung und die Substanzerhaltung.

Die strategische Langzeitplanung soll für einen Zeitraum von 10 bis 20 Jahren erfolgen und hat zum Ziel, den Rehabilitationsbedarf für diesen Zeitraum vorherzusagen. Als Ergebnis der strategischen Langzeitplanung erhält man die erforderliche Erneuerungsrate der Leitungsstrecke, der Leitungsgruppe oder des gesamten Rohrnetzes

Kriterien der Rehabilitation sind

- technische Kriterien
- wirtschaftliche und unternehmensspezifische Kriterien
- externe Einflüsse.

Quantifizierbare technische Kriterien sind:

- Wasserqualität
- Mindestversorgungsdruck
- Wasserverluste
- Rohrwerkstoffe
- Netzzustand.

Wirtschaftliche und unternehmensspezifische Kriterien sind:

- hohe und steigende Reparaturkosten
  - hohe Aufwendungen für Spülungen, Lecksuche Armaturenwartung
  - Vorhaltekosten für Ersatzteile bei nicht mehr gebräuchlichen Rohrwerkstoffen und Nennweiten
  - Kosten für Wasserverluste
- aber auch
- Versorgungsimage
  - Kundenreklamationen
  - Versorgungsunterbrechungen
  - häufige Aufgrabungen in Fußgängerzonen, Fernverkehrsstraßen usw.
  - externe Einflüsse.

Als Folgemaßnahme von Tiefbauarbeiten (z.B. Straße, Kanal) sind oft Leitungsumlegungen notwendig. Außerdem können Fremdbaumaßnahmen Anlass für vorgezogene Rehabilitation sein.

#### 4.7.3 Ziele der Instandhaltung von Trinkwasserrohrnetzen

##### 4.7.3.1 Planung und Durchführung der Rehabilitation

Die langfristige Rehabilitation erfordert:

- detaillierte Netzkenntnisse nach Bestand und Zustand der Rohrleitungen und Armaturen
- Vorgabe von technisch/wirtschaftlichen Zielen (Wasserverlustkennwerte, Erneuerungsrate usw.)
- Abstimmung der Ausbauplanung mit anderen Versorgungssparten (Gas, Abwasser) und dem Straßenbau.

##### 4.7.3.2 Unterlagen für die Netzanalyse

Der Detaillierungsgrad der Rohrnetzanalyse kann unterschiedlich sein. Erforderlich sind Bestandskarten und Dateien über:

- Versorgungsleitungen
- Anschlussleitungen
- Armaturen und Hydranten
- Anzahl und Art der Schäden (Schadensstatistik)
- Befunde über den Leitungszustand
- Kundenreklamationen
- Wasserqualitätsanalysen
- Ergebnisse von hydraulischen Berechnungen und Messung von Drücken.

##### 4.7.3.3 Bildung von Leitungsgruppen

Für die Erstellung eines Rehabilitationsprogrammes ist die Bildung von Leitungsgruppen – Rohrleitungen glei-

chen oder ähnlichen Rohrwerkstoffes und Zustandes mit gleichartigem Nutzungsverhalten – erforderlich.

Folgende Leitungsgruppen können für Versorgungsleitungen gebildet werden:

- Graugussleitungen 1. und 2. Generation
- Duktulgussleitungen 1. und 2. Generation
- Stahlrohrleitungen 1., 2. und 3. Generation
- Kunststoffrohrleitungen 1., 2. und 3. Generation sowie
- Kunststoffrohre mit zusätzlichen Schutzeigenschaften
- PVC-Rohrleitungen
- Asbestzementrohrleitungen.

Sanierte Leitungen

- mit Zementmörtelauskleidung
- mit Schlauchrelining
- mit Duktulguss-, Stahlrohr- oder Kunststoffrohrreinzug.

#### 4.7.4 Zustandsorientierte Instandhaltungsstrategie

Nach der in der Vergangenheit angewandten ereignisorientierten Instandhaltung und der früher diskutierten vorbeugenden und intervallorientierten Instandhaltung bzw. Präventivstrategie hat sich heute die zustandsorientierte Instandhaltungsstrategie angewendet, für die auch entsprechende EDV-Programme zur Verfügung stehen.

Wesentliche Vorgaben für die wirtschaftliche Instandhaltung sind die:

- sorgfältige und systematische Dokumentation und Auswertung aller Ereignisse und Maßnahmen
- Zuordnung der Kosten und die detaillierte Auftragsabrechnung
- Rohrnerzdokumentation
- Schadensstatistik.

Die sind gleichzeitig eine wesentliche Grundlage für die EDV-gestützte Optimierung der Instandhaltungsplanung bzw. -maßnahmen

#### 4.7.5 Optimale Rehabilitationsstrategie

Die Bewertung der Druckrohrnetze und die Bestimmung der zu erneuernden Netzabschnitte sind Entscheidungsprozesse, die permanent bei den Versorgungsbetrieben ablaufen. Vielfach verlässt man sich bei den Entscheidungen auf das Wissen und auf die Erfahrung langjähriger Mitarbeiter. Sie treffen eine Auswahl der Maßnahmen und begründen diese mit dem schlechten Zustand, dem hohen Alter, den Kundenreklamationen hinsichtlich Druck und Qualität, mit Baumaßnahmen Dritter etc. Wenn mehrere Bereiche eines Betriebes bei der Durchsetzung der Investitionen im Wettbewerb stehen, ist der Ausgang der Entscheidungen ungewiss und unter dem Zwang der Kostenminimierung wird manche notwendige Maßnahme nicht durchgeführt. Vielfach leiden die Vorbereitung und Durchsetzung der notwendigen Investitionsmaßnahmen an der Tatsache, dass eine betriebswirtschaftliche Untersuchung und Begründung der Maßnahme nicht erfolgt bzw. nicht erfolgen kann. Oft wird deshalb der richtige Zeitpunkt für eine

Maßnahme verpasst und betriebswirtschaftliche Nachteile werden unbewusst in Kauf genommen.

Die übliche Vorbereitungspraxis leidet auch unter der Tatsache, dass konkrete langjährige Aufzeichnungen über das Netz und jeden Netzabschnitt zwar in der Regel vorliegen, aber nicht in der geeigneten Form für die notwendigen Analysen zur Verfügung stehen. Mit dem Ausscheiden der Erfahrungsträger verlieren die Versorgungsbetriebe dann wertvolles Spezialwissen unwiderlich.

Mit der beschriebenen Methodik zur Ermittlung einer optimalen Rehabilitationsstrategie wird ein Weg aufgezeigt, wie mit einer angemessenen Rechentechnik und entsprechender Software die oben beschriebenen Entscheidungsvorbereitungen deutlich verbessert, beschleunigt und letztlich die betrieblichen Aufwendungen für die Reparaturen und Investitionen minimiert werden können (siehe *Kap. 4.7.6 Flächenhafte Rehabilitation*).

Die Methode wird praxisbezogen dargestellt und auf die betriebliche Problemstellung übertragen, die notwendigen Ausgangsinformationen werden genannt und die Bewertungsergebnisse überwiegend in Form von Diagrammen dargestellt. Alle Straßen- und Ortszeichnungen sind anonymisiert.

Die für die Bewertung verwendete Software OPTNET (siehe dazu *Kap. 6 Rehabilitationsstrategien*) wird herangezogen, wenn die Lösungen der angesprochenen Aufgaben gezeigt werden soll. Darüber hinaus wird im Bereich der hydraulischen Rohrnetzrechnungen und der geografischen Darstellung der Ergebnisse das Rohrnetzrechnungsprogramm STANET verwendet.

Die Bewertungen des Zustandes, des Investitionswertes, der wirtschaftlichen Nutzungsdauer, der Bestimmung der Rehabilitationsraten, der Auswahl der Maßnahmen und auf die Vor- und Nachteile einer kontinuierlichen Rehabilitation. Es erfolgt eine Bewertung des Zustandes, des Investitionswertes, der wirtschaftlichen Nutzungsdauer, die Bestimmung der Rehabilitationsraten, die Auswahl der Maßnahmen und auf die Vor- und Nachteile einer kontinuierlichen Rehabilitation.

Die Versorgungsunternehmen erkennen den sich verändernden Zustand ihres Netzes häufig nur an der steigenden Anzahl der Schäden und gegebenenfalls an den eingehenden Reklamationen zur Qualität des Wassers. Durch diese Informationen werden die Mängel zwar deutlich, jedoch kann daraus keine belastbare Rehabilitationsstrategie abgeleitet werden. Ohne gezielte Zustandsbewertungen und Kostenanalysen ist die Beantwortung der Frage nach dem Umfang der notwendigen Erneuerungen bzw. Sanierungen nicht zu beantworten.

Verantwortungsbewusste Versorgungsunternehmen müssen deshalb langfristige Strategien entwickeln, um ihr Rohrnetz zu erhalten oder dessen Zustand zu verbessern. Sie sind verpflichtet, ihre Rohrnetze der nächsten Generation in einem gleichwertigen oder besseren Zustand zu übergeben.

Die unterlassene Bestimmung der wirtschaftlichen Nutzungsdauer der einzelnen Netzabschnitte und das Fehlen einer ausreichenden Rehabilitationsrate führen:

- zu einem deutlichen Anstieg der jährlichen Schadensanzahl
- zu unnötige Reparaturkosten bei zu später Rehabilitation
- zum Verlust an Abnutzungsvorrat bei zu früher Rehabilitation
- zu Verringerung der Versorgungssicherheit, verbunden mit Qualitätsverlusten und gesundheitlichen Gefahren für den Verbraucher
- zu einem deutlich erhöhten Mittelbedarf für den Abbau des jährlich wachsenden Investitionsrückstaus.

Neben diesen messbaren langfristig wirkenden Nachteilen fallen erhebliche zusätzliche soziale Kosten an. Unter den sozialen Kosten – deren Ermittlung in der Regel große Probleme bereitet – versteht man die durch die Störung verursachten zusätzlichen Belastungen der Bevölkerung (z.B. im Straßenverkehr durch Umleitungen, Zufahrtsbeschränkungen usw. bei Versorgungsausfällen). Gleichzeitig tritt ein deutlicher Imageverlust des Versorgungsunternehmens ein.

Um ein nachhaltiges – den Zustand und die betriebswirtschaftlichen Aufwendungen berücksichtigendes – Rehabilitationskonzept zu entwickeln, sind wesentliche Fragen der „Daseinsvorsorge“, die Bewertungen des Zustandes, des Investitionswertes, der wirtschaftlichen Nutzungsdauer, die Bestimmung der Rehabilitationsraten, die Auswahl der Maßnahmen und die Vor- und Nachteile einer kontinuierlichen Rehabilitation zu klären. Folgende Fragen sind zu beantworten:

- Welche Schadensentwicklung ist zu erwarten, wenn ohne Erneuerungsstrategien nur repariert und nicht rehabilitiert wird?
- Wo wird sich die Qualität und Versorgungssicherheit bei fehlender Rehabilitation nachhaltig verschlechtern?
- Wie viel muss jährlich erneuert werden, um den Zustand und den Wert der Netze zu erhalten oder zu verbessern?
- Wie kann die optimale Rang- und Reihenfolge der Einzelmaßnahmen bestimmt werden?
- Welche finanzielle Ausstattung wird für die jeweiligen Instandhaltungsstrategien benötigt?
- Wie kann man die Gesamtkosten für Investitionen und Reparaturen durch die Wahl des optimalen Rehabilitationszeitpunktes minimieren?
- Welche alternativen Rehabilitationsverfahren können unter der Zielstellung der Gesamtkostenminimierung eingesetzt werden?
- Wie können verschiedene Fachbereiche (Druckrohrnetz, Straße, Abwasserableitung, Gas, Fernwärme...) so koordiniert werden, dass neben der Kostenoptimierung in einem Fachbereich durch Koordinierung von Baumaßnahmen das Gesamtsystem zu einem Kostenminimum geführt wird?
- Wie kann das Instandhaltungsmanagement mit konkret aufbereiteten Fachdaten unterstützt werden?



- Wie kann durch den Einsatz der geografischen Informationssysteme (GIS) die Vorbereitung und Abstimmung solcher Maßnahmen unterstützt werden?
- Wie sind die Datenbereitstellungen zu organisieren und welche Daten sollen/müssen erfasst werden?

Jede falsche oder ungenaue Antwort auf diese Fragen ist mit erheblichen finanziellen Mehraufwendungen verbunden. Die Rehabilitationsstrategie muss sowohl den technischen Zustand als auch die hydraulische Leistungsfähigkeit des Netzes berücksichtigen und ist damit ein wesentlicher Bestandteil eines modernen Netzinformationssystems.

#### 4.7.6 Flächenhafte Rehabilitation

##### 4.7.6.1 Beispiele flächenhafter Rehabilitation

###### Nürnberg

Bereits in den 80er Jahren wurden von verschiedenen Versorgungsunternehmen flächendeckende Rehabilitationsmaßnahmen durchgeführt, z.B. in Nürnberg. Anlass waren Wassertrübungen, da die Trübungsmeldungen der Kunden sich in dem Zeitraum von 1968 bis 1979 verdoppelt hatten. [Hirner et al., 1984]

Als Maßnahmen zur Beseitigung derselben wurden durchgeführt:

- Spülung: regelmäßige Bezirksspülungen
- Sanierung: planmäßige Sanierung der Rohrleitungen
- Erneuerungen: im Zuge des Straßenbaus wurden alle Graugussleitungen ausgetauscht.

Erwartungsgemäß waren Netzspülungen die billigste Variante, wodurch aber keine Rohrschäden beseitigt wurden und der Zustand der Rohrleitungen nicht verbessert wurde; durch die Sanierung mit Zementmörtelauskleidung konnten zusätzlich Korrosionsschäden der Rohrrinnenwand „überdeckt“ und gestoppt werden (siehe dazu *Kap. 4.9.1 Zementmörtelauskleidung*).

Die Auswechslung bruchgefährdeter Graugussleitungen war die teuerste Methode, durch welche aber der Rohrnetzzustand verbessert wird.

###### Dortmund

Hügging [Hügging, 2000a] beschrieb sowohl die Rehabilitationsmaßnahmen der Wasser- als auch der Gasversorgung in Dortmund. Bereits ab Beginn der 70er Jahre wurde die Zementmörtelauskleidung der Transportleitungen durchgeführt, wobei die Maßnahmen in Fließrichtung zu den Verbrauchsschwerpunkten erfolgten. Dadurch werden Ablagerungen in den Rohrleitungen nicht weitergetragen werden.

Analog erfolgt auch die Sanierung des Gasversorgungsnetzes in einem Ertüchtigungsprogramm bis 2017. Dafür wurde das gesamte Stadtgebiet in Versorgungszonen eingeteilt und entsprechend dem Gefährdungspotenzial wird die Reihenfolge festgelegt [Hügging, 2000a], [Hügging, 2000b].

Für Graugussleitungen sind grundsätzlich nachfolgend genannten Sanierungs- und Erneuerungsverfahren anwendbar: Inlinerverfahren, U-Liner-, Roll-down-, Swagelining-, Berstlining-, Gewebeslauchverfahren.

Die Baufirmen werden in Dortmund für die Gesamtmaßnahme beauftragt.

###### Salzgitter

In Salzgitter wurde für die flächenhafte Rehabilitation des Wasserrohrnetzes die Zementmörtelauskleidung angewandt. Für die großflächigen Baulose wurden pauschale Meterpreise einschließlich aller Vor- und Nebenarbeiten mit dem Ausführungsbetrieb vereinbart [Manske, 2002].

Die stark inkrustierten Rohre wurden mechanisch gereinigt und nachfolgend mit Zementmörtel ausgekleidet.

Die flächenhafte Sanierung wurde angewandt, weil nach Untersuchung festgestellt wurde, dass die komplette Sanierung kompletter Netzteile Vorteile gegenüber der punktuellen Schadensbehebung hat.

Die Ausführungsfirmen sind gehalten, einen pauschalen Meterpreis bezogen auf das gesamte Projekt zu kalkulieren einschließlich der Erstellung einer Notversorgung und der Tiefbauarbeiten.

###### Kiel

Im Stadtgebiet von Kiel besteht das Gasversorgungsnetz aus bis zu 60 Jahre alten Graugussleitungen. In den siebziger Jahren wurden diese Graugussleitungen durch eine Einzelmuffenverklebung, dem Le-Joint-Intern-Verfahren, von innen nach vorheriger Rohrreinigung abgedichtet. Auf Empfehlung des DVGW-Hauptausschusses „Gasverteilung-Rundschreiben G 6/90“ wollen die Stadtwerke Kiel AG ihr Graugussnetz sanieren. Das Niederdruck-Gasversorgungsnetz wurde untersucht und in 5 Sanierungsgebiete aufgeteilt. Ein Gebiet hiervon liegt im Innenstadtbereich um den Schrevenpark. Dieses Sanierungsgebiet wurde mit der kostengünstigen Gewebeslauchsanierung rehabilitiert [Görlitz und Kock, 2001].

Grundlage für die Ausführung und Qualitätskontrolle der Gasrohrsanierung nach dem Gewebeslauchrelining bildet das DVGW-Arbeitsblatt G 478 „Sanierung von Gasrohrleitungen durch Gewebeslauchrelining-Anforderungen, Gütesicherung und Prüfung neben der DVGW-Registrierung gemäß DIN 30658, Teil 1, für das jeweilige Verfahren.

Die Gesamtmaßnahme musste durch das Sanierungsunternehmen und ihr Nachunternehmen für die Tiefbauleistungen erbracht werden. Sie bestand aus den nachfolgend genannten Teilleistungen

##### 4.7.6.2 Vorteile der flächenhaften Rehabilitation - Untersuchungsergebnisse Erfurt

In [Roscher, o.J.b] erfolgte durch Roscher in tabellarischer Form eine Gegenüberstellung der Vor- und Nachteile der Rehabilitation von Einzelstrecken und flächendeckende Rehabilitation.

4. Sanierung und Erneuerung von Wasserversorgungsnetzen

Für Untersuchungen zur flächenhaften Rehabilitation [Roscher, o.J.b] wurden Teilgebiete mit Gründerzeitbebauung also mit rasterförmiger Straßenstruktur ausgewählt. Ausgangspunkt war die Untersuchung der Material- und Altersstruktur. Parallel dazu wurden auch Rohrproben aus Schadensfällen bzw. aus den Erneuerungsmaßnahmen in der Schehrstraße (Stahlrohr 1930 mit Juteummantelung) bzw. Friedrich-List-Str. (Grauguss Verlegejahr 1900) materialtechnisch untersucht.

Die Ergebnisse der materialtechnischen Untersuchungen zeigten, dass diese Leitungen statisch positiv zu beurteilen waren und eine Sanierung mit Zementmörtelauskleidung möglich gewesen wäre – die Leitungen wurden jedoch auf schadensstatistischer Grundlage in konventioneller Bauweise bzw. im Berstliningverfahren erneuert.

Als Sanierungs- bzw. Erneuerungsverfahren wurden für die Untersuchungen zur flächendeckenden Rehabilitation ausgewählt:

- offener Rohrgraben zur Leitungserneuerung (konventionelle Leitungserneuerung)
- Zementmörtelauskleidung
- Berstlining mit PE-Xa bzw. Duktulgussrohren
- Press-/Ziehverfahren (HYDROS)

mit welchen der Nennweitenbereich DN 80 bis DN 300 (also der in Versorgungsnetzen vorzugsweise anzutreffende) gut abgedeckt ist.

Untersucht wurden sowohl

- Naturalkennwerte (Mengen, Flächen usw. für Baugruben und Straßen)
- Kosten der Verfahren.

Die Untersuchungsergebnisse zeigten hinsichtlich der Kosten, dass die konventionelle Rohrverlegung (Erneuerung) erwartungsgemäß die höchsten Kosten verursacht, die Zementmörtelauskleidung das preisgünstigste Verfahren wäre, das Berstliningverfahren zwischen beiden liegt, wobei die Rohrmaterialkosten eine untergeordnete Rolle spielen.

Der geringsten Erd- und Straßenbauarbeiten erfordert das Zementmörtelauskleidungsverfahren.

Weiterhin zeigte sich der große Einfluss der Erneuerung der Hausanschlüsse. Neben dem Einflussfaktor Hausanschlusssichte (Anzahl der Hausanschlüsse/100 m) zeigte sich, dass die Kosten je 100 m näher zusammenrücken. Die Kostenbetrachtung ergibt die gleiche Reihenfolge

- Zementmörtelauskleidung
- Berstliningverfahren
- Konventionelle Bauweise
- Press-/Ziehverfahren(hydros)

Ergebnisse des Vergleichs zeigen die folgenden Bilder

Tab. 4.21: Gegenüberstellung der Rehabilitation von Einzelstrecken und flächendeckender Rehabilitation nach den Kriterien Netzzustand, Wasserverluste, Reparaturkosten [Roscher, o.J.b]

	Rehabilitation von Einzelstrecken	Flächendeckende Rehabilitation
Netz-Zustand	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Verbessert sich lediglich auf Einzelstrecken</li> <li>• daraus resultiert inhomogene Rohrmaterialzusammensetzung und damit</li> <li>• Rohrwerkstoffe mit sehr unterschiedlichen Eigenschaften</li> <li>• Leitungsstrecken mit schlechtem Zustand fallen aus und werden ersetzt (keine Nutzung des Kostensenkungspotenzials durch Zementmörtelauskleidung)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rohrnetzzonen mit schlechtem Zustand werden zuerst rehabilitiert, wodurch eine</li> <li>• systematische flächenhafte Verbesserung des Netzzustandes erreicht wird (nach Möglichkeit in Fließrichtung des Wassers)</li> <li>• schrittweiser Erneuerung (Umbau) des Rohrnetzes entsprechend den Anforderungen des 21. Jahrhunderts (Rohrmaterial, Hydranten, Absperrschieber, Hausanschlüsse)</li> </ul>
Wasserverluste	<ul style="list-style-type: none"> <li>• werden gesenkt durch Austausch der schlechtesten Rohrstrecken</li> <li>• die Ursachen relativ kleiner nicht messbarer Wasserverluste (z.B. undichte Stemm-Muffen, kleine Leckagen bei beginnender Lochkorrosion) werden nicht beseitigt</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zonen mit den höchsten Wasserverlusten können bestimmt und als Grundlage für die Festlegung der Reihenfolge der Rehabilitationsmaßnahmen verwendet werden</li> <li>• durch neue verbesserte Rohrmaterialien tritt eine dauerhafte Senkung der Wasserverluste ein</li> <li>• Verwendung korrosionssicherer (herstellungsseitig geschützter) metallischer Werkstoffe bzw. von Kunststoffrohren mit hoher Zeitstandsfestigkeit, wodurch</li> <li>• in den rehabilitierten Netzzonen die Wasserverluste gegen Null tendieren</li> </ul>
Reparaturkosten	<ul style="list-style-type: none"> <li>• treten sporadisch auf</li> <li>• derzeitige Vorzugstechnologie: Anlegen von Rohrschellen<sup>a</sup></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reparaturen in rehabilitierten Gebieten nur im Ausnahmefall (z.B. Fremdeinwirkung bei Arbeiten an benachbarten Leitungen, Tiefbauwerken usw.)</li> </ul>

a. Anm.: erschweren später Erneuerung mit HYDROS- oder Berstlining-Verfahren

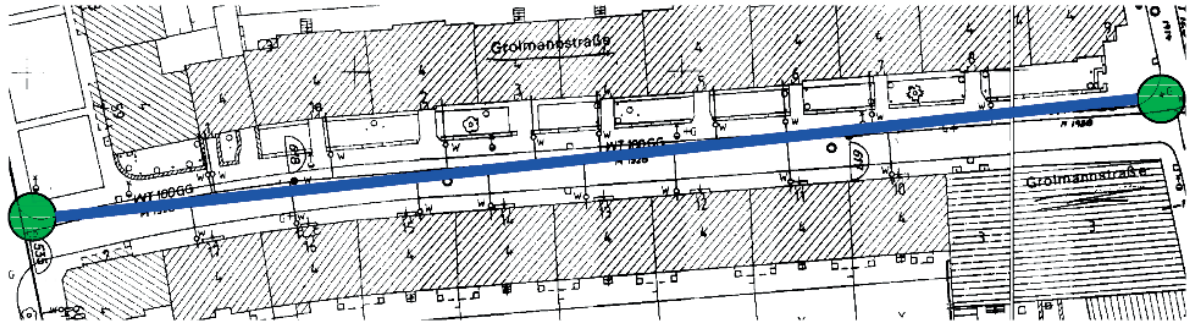


Abb. 4.38: Einzelstrecke (181 m) [Roscher, o.J.b]



Abb. 4.39: Referenzgebiet (3506 m) [Roscher, o.J.b]

Weiterhin sind die Betrachtungsebenen Wasserversorgungsunternehmen, ausführender Betrieb und Abnehmer/Kunden einzubeziehen.

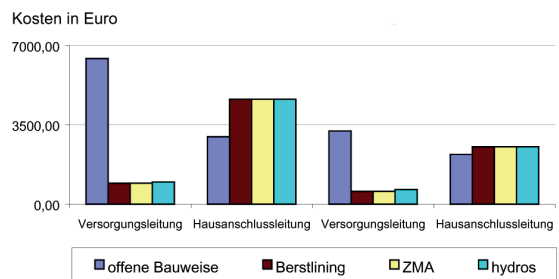


Abb. 4.40: Kostengegenüberstellung Tiefbauarbeiten und Oberflächenwiederherstellung [Roscher, o.J.b]

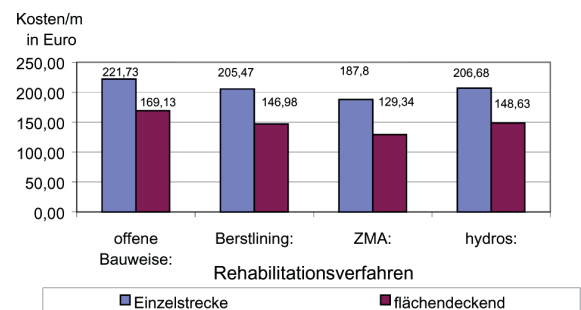


Abb. 4.41: Kostengegenüberstellung Einzelstrecke – Referenzgebiet [Roscher, o.J.b]

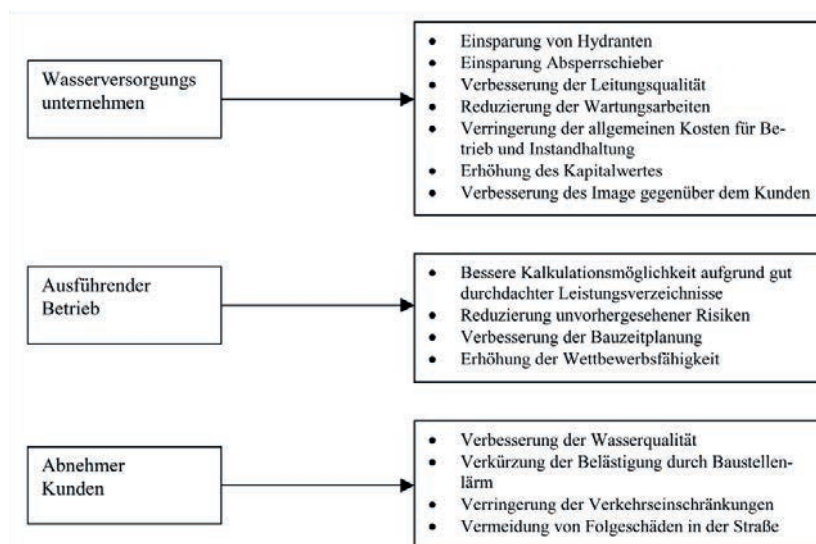


Abb. 4.42: Vorteile flächenhafter Rehabilitation von Wasserversorgungsunternehmen – ausführendem Betrieb – Kunden [Roscher, o.J.b]



### 4.7.6.3 Synergieeffekte Flächenhafte Rehabilitation

Weitere Synergieeffekte sind bei der Rehabilitation durch die gezielte Auswahl von Sanierungsgebieten zu erzielen. Insbesondere der Einsatz des ZMA-Verfahrens im Bereich alter GG-Rohre verspricht immer besondere Kostenvorteile. Vorteile durch direkte Kosteneinsparungen können entstehen u.a. durch die Vergrößerung der zu vergebenden Lose.

Weit größer sind aber die Vorteile einzuschätzen, der sich aus den verbesserten hydraulischen Eigenschaften, der Erhöhung der Trinkwasserqualität und der deutlichen Nutzungsverlängerung des GG-Rohres ergeben werden. Gerade der zuletzt genannte Vorteil wird bei der Bestimmung der zukünftigen Rehabilitationsrate einen wesentlichen Einfluss haben.

Auch wenn der sanierten Leitung nicht die Langlebigkeit einer Neuleitung zuerkannt werden kann, spricht der Kosten/Nutzen-Faktor deutlich für die ZM-Auskleidung. Kann eine Verlängerung der Nutzungszeit von 50 Jahren für den Netzabschnitt erreicht werden, dann ist der Ersatz des Verfahrens zu bedenken.

Die Entscheidung, prophylaktisch ältere Netzabschnitte zu sanieren, ist dann immer richtig und führt ebenfalls zu der erwünschten Erhöhung des Abnutzungsvorrates. Wenn 30 % der zur Verfügung stehenden Mittel für die Sanierung eingesetzt werden, dann erhöht sich die gesamte Rehabilitationsleistung (in km) um ca. 35-40 %.

Die Abb. 4.43 zeigt ein Schwerpunktgebiet für die flächige Rehabilitation. Die einzelnen Rehabilitationsabschnitte sind farblich nach dem optimalen Rehabilitationsjahr eingefärbt. Die Abschnitte eines Gebietes können mit einem „Lasso“ ausgeschnitten und über mehrere Filter geführt werden. So wird es in wenigen

Schritten möglich, für ein bestimmtes Gebiet die Längen, die Aufwendungen, die Rehabilitationsverfahren, die Einsparungen u.a. zu bestimmen.

Und ebenso einfach lassen sich diverse Listen erzeugen. In der Liste der nächsten Abbildung sind die Netzabschnitte nach dem Bewertungsverfahren des DVGW sortiert. Es ist aber auch möglich diese nach dem optimalen Rehabilitationszeitpunkt, nach der Amortisationsdauer, nach Orten usw. zu erzeugen.

Schließlich lassen sich alle geforderten Statistiken des DVGW bequem abrufen.

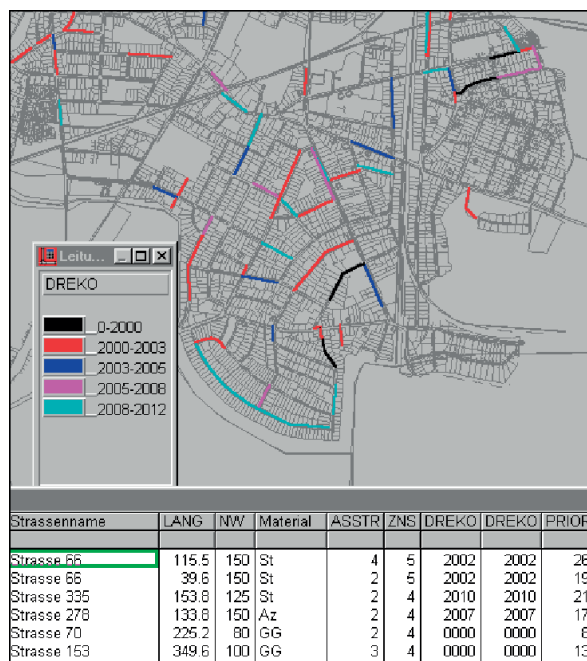


Abb. 4.43: Darstellung eines Sanierungsgebiets mit OPT-NET/STANET

Tab. 4.22: Liste der empfohlenen Rehabilitationsmaßnahmen (Auszug) im Ort Bad Delingen, (Globus Wasser AG)

Straße	Nr.	Nennweite	Material	Länge [m]	Baujahr	Schäden	Reha-Jahr	Rep.-Kosten im Jahr [€]	Rep.-Kosten, Summe [€]	Inv.-Aufwand [€]	Barwert [€]	Kapitaldienst [€]
Ort: Bad Delingen												
119	0400000774064	80	Stahl	45,1	1930	2	2002	390	0	8.073	8.073	466
161	0400006144081	100	Stahl	297,3	1935	4	2007	1.526	6.834	53.811	41.173	2.376
243	0400006164011	80	Stahl	86	1935	5	2002	1.386	0	14.104	14.104	814
206	0400001704070	80	Stahl	37,5	1930	2	2002	504	0	6.263	6.263	361
204	0400001774071	100	Grauguss	215,3	1935	5	2003	1.576	1.576	36.170	34.285	1.978
335	0400006194010	125	Stahl	153,8	1935	2	2007	549	2.457	19.686	15.063	869
335	0400006194178	125	Stahl	127,7	1935	9	2002	3.604	0	27.072	27.072	1.562
335	0400006194177	125	Stahl	135,5	1935	8	2002	3.605	0	28.862	28.862	1.665
335	0400006194016	125	Stahl	242	1935	7	2002	3.350	0	35.090	35.090	2.025
309	0400002514096	100	Grauguss	243,2	1930	3	2008	1.125	5.890	50.099	36.334	2.096
477	0400003054005	100	AZ/FZ	333,6	1905	8	2002	2.939	0	38.364	38.364	2.214
00	0400006124043	150	Stahl	39,6	1930	2	2002	495	0	8.316	8.316	480
00	0400006124045	150	Stahl	115,5	1930	4	2002	1.360	0	24.602	24.602	1.420
09	0400000114092	150	Grauguss	238	1930	2	2012	776	6.149	49.028	28.702	1.656
Σ:	Ort: Bad Delingen			2310,1		63		23.185	22.906	399.540	346.303	19.982

### 4.7.7 Effektivität von Instandhaltungsmaßnahmen

Die Wasserverteilung hat die Aufgabe, eine zuverlässige Versorgung der Kunden mit Wasser nach Menge, Druck und Qualität zu gewährleisten. Um diese Betriebsbedingungen zu erhalten, müssen Instandhaltungsmaßnahmen mit Inspektion, Wartung, Instandsetzung und Erneuerungsmaßnahmen kontinuierlich durchgeführt werden (siehe Abb. 4.44).

Die Instandhaltung ist darauf ausgerichtet, Anlagen in einem definierten Sollzustand zu erhalten oder ggf. zu verbessern. Ziel der Instandhaltung ist es nach Hirner [Hirner, 1997]

- eine hohe Versorgungsqualität und Kundenzufriedenheit zu gewährleisten
- eine hohe Nutzungsdauer und Substanzerhaltung der Anlagen zu sichern
- die Betriebs- und Instandhaltungsaufgaben mit hoher Effizienz hinsichtlich Aufwand und Kosten auszuführen.

Dafür ist ein vollständiges Berichts- und Informationssystem erforderlich, über das Hirner Angaben machte und welches von der IWA (International Water Association) in [Allerge et al., 2000] ausführlich dargestellt wurde.

Der Erfolg des Unternehmens ist davon abhängig, wie effektiv und effizient die Maßnahmen durchgeführt werden (nach Hirner ist Effektivität ein Maß der Zielerfüllung, Effizienz ein Maß für die Nutzung meist knapper, im Prozess eingesetzter Ressourcen wie Umwelt, Energie, Wasser, Personal- und Kapitalaufwand).

Die Instandhaltung ist darauf gerichtet den ursprünglichen Gebrauchswert von Anlagen während einer langen Nutzungsdauer zu erhalten, wiederherzustellen oder zu verbessern - also den definierten Sollzustand zu erhalten oder zu verbessern.

Auf den Betriebs- und Instandhaltungsaufwand wirken externe und interne Einflussgrößen, welche beeinflussbar bzw. wenig beeinflussbar sind.

Die Instandhaltung ist darauf ausgerichtete, Anlagen in einem definierten Sollzustand zu erhalten oder ggf. zu verbessern. Instandhaltung umfasst alle Tätigkeiten die darauf ausgerichtet sind, den ursprünglichen Gebrauchswert von Anlagen während ihrer langen Nutzungsdauer zu erhalten. Abb. 4.46 zeigt die Aufgaben der Instandhaltung mit Unterteilung nach Haupt- und Teilaufgaben.

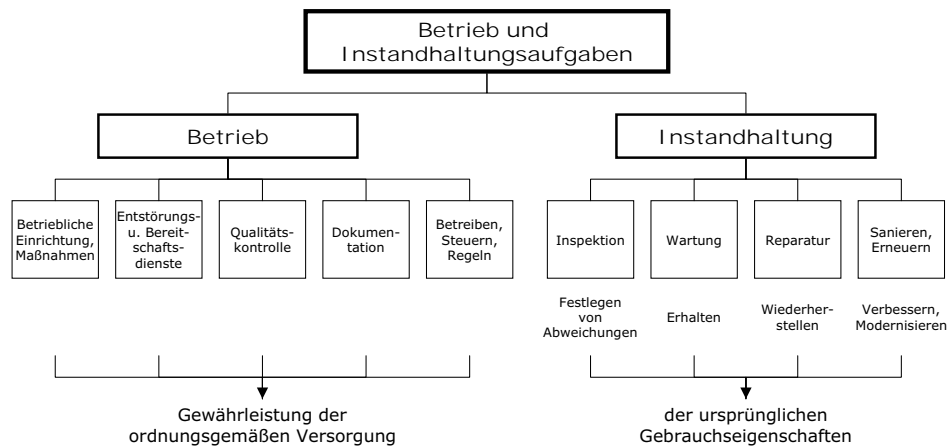


Abb. 4.44: Betriebs- und Instandhaltungsaufgaben in der Wasserverteilung mit zugeordneten Teilaufgaben [Hirner, 1997]

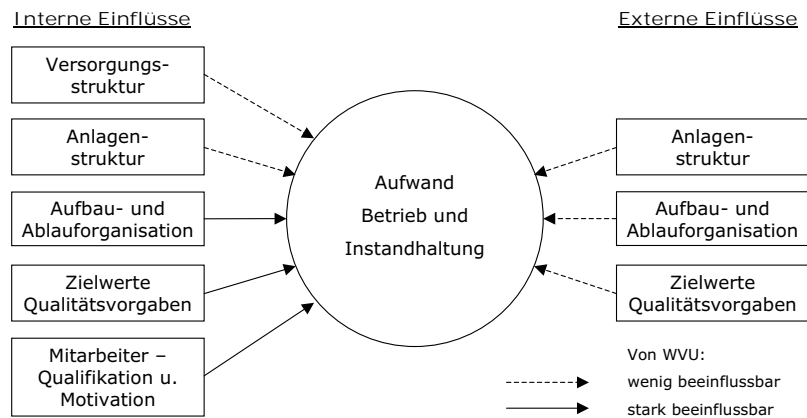


Abb. 4.45: Externe und interne Einflussfaktoren auf Betriebs- und Instandhaltungsaufgaben in der Wasserverteilung [Hirner, 1997]

Tab. 4.23: Kennzahlen Anlagenbetrieb und Versorgungsqualität der Wasserverteilung [Hirner, 1997]

Nr.	Kennzahl Anlagenbetrieb	Ausgangsgrößen
1.1	Schadensrate Leitungen in Sch/100 km mit Aufteilung nach Leitungsmaterial und Leitungsdurchmesser	$\frac{\text{Anzahl Schäden Leitungen}}{\text{Länge Versorgungsleitungen}} \cdot 100$
1.2	Schadensrate Armaturen in Sch/1000 Arm.	$\frac{\text{Anzahl Schäden Armaturen}}{\text{Anzahl Armaturen}} \cdot 1000$
1.3	Schadensrate Hydranten in Sch/1000 Hydr.	$\frac{\text{Anzahl Schäden Hydranten}}{\text{Anzahl Hydranten}} \cdot 1000$
1.4	Bruttoverluste in % der Netzeinspeisung	$\frac{\text{abgerechnete Wassermenge}}{\text{Netzeinspeisung}} \cdot 100$
1.5	Netzverluste in m <sup>3</sup> /km und h	$\frac{\text{Netzverluste}}{\text{Länge Versorgungsleitungen}} \cdot 8760$
1.6	Reklamationsrate Kunden in Rekl./100 km (begründete Reklamationen)	$\frac{\text{Anzahl Reklamationen}}{\text{Länge Versorgungsleitungen}} \cdot 100$
1.7	Inspektionsrate Leitungen in % je Jahr	$\frac{\text{Inspizierte Leitungen}}{\text{Länge Versorgungsleitungen}} \cdot 100$
1.8	Inspektionsrate Hydranten in % je Jahr	$\frac{\text{Inspizierte Hydranten}}{\text{Anzahl Hydranten}} \cdot 100$
1.9	Versorgungsunterbrechungen (> 8h, > 5% versorgte Einwohner) in % je Jahr	$\frac{\text{Anzahl Unterbrechungen}}{\text{Jahresstunden}} \cdot 100$
1.10	Trinkwasserqualität	Parameter nach TWVO
1.11	Qualitätsrate in % je Jahr	$\frac{\text{Anzahl Analysen positiv}}{\text{Anzahl Analysen}} \cdot 100$
1.12	spez. Energieverbrauch Netz	$\frac{\text{Energieverbrauch}}{\text{Netzeinspeisung}}$

Die Effektivität ist messbar durch Kennzahlen. Neben der Schadensrate von Leitungen, Armaturen, Hydranten und Wasserverlusten können Versorgungsunterbrechungen in Jahresstunden und betroffener Einwohnerzahlen ermittelt werden. Außerdem spielt die Trinkwasserqualität nach Trinkwasserverordnung eine Rolle.

Das qualitäts- und ergebnisorientierte Instandhaltungsmanagement kann die Versorgungsqualität verbessern und Kosten senken. Mit ihnen können Ziele festgelegt und technisch- wirtschaftliche Ergebnisse bewertet werden.

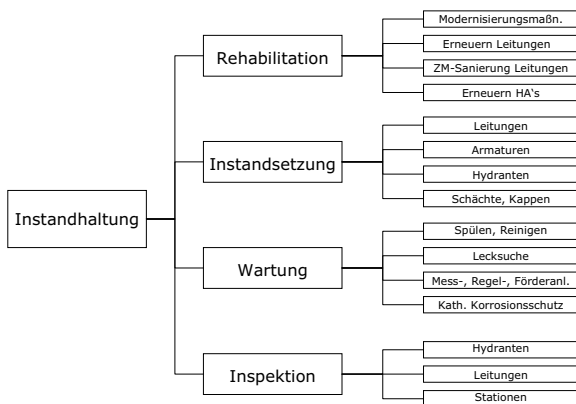


Abb. 4.46: Aufgaben der Instandhaltung mit Unterteilung nach Haupt- und Teilaufgaben [Hirner, 1997]

Weitere Kennzahlen können nach Hirner [Hirner, 1997] zu Personal und Produktivität sowie zur Wirtschaftlichkeit angegeben werden.

#### 4.8 Vorbereitungsarbeiten zur Durchführung von Rehabilitationsmaßnahmen

##### 4.8.1 Zur Entwicklung der Rehabilitationsverfahren

Die heute angewendeten Sanierungs- und Erneuerungsverfahren für Wasserrohrleitungen wurden in den letzten 60 Jahren entwickelt; das Zementmörtelauskleidungsverfahren wurde 1958 erstmalig in Hamburg für die Sanierung einer Gussleitung von 1892 eingesetzt. Das anfänglich verwendete Verdrängungsverfahren (welches bereits früher als in Deutschland auch in anderen Ländern eingesetzt wurde) wurde nach 1970 durch das Ausschleuderverfahren für die Nennweiten 80 bis 200 abgelöst. Daneben wurden in der DDR auch Reliningverfahren mit PE-Rohrleitungen angewandt.

In der DDR wurden ca. 2.000 km Rohrleitungen mit dem Zementmörtelauspressverfahren saniert. Dabei wurde nach Rohrreinigung in die zu sanierende Leitungsstrecke ein Schalungsschlauch mit einem Abstandhalternetz eingezo-gen, um eine zentrische Lage des Schalungsschlauches zu gewährleisten. Danach wurde der Schalungsschlauch aufgepumpt und in den Ringspalt der Zementmörtel gepresst.



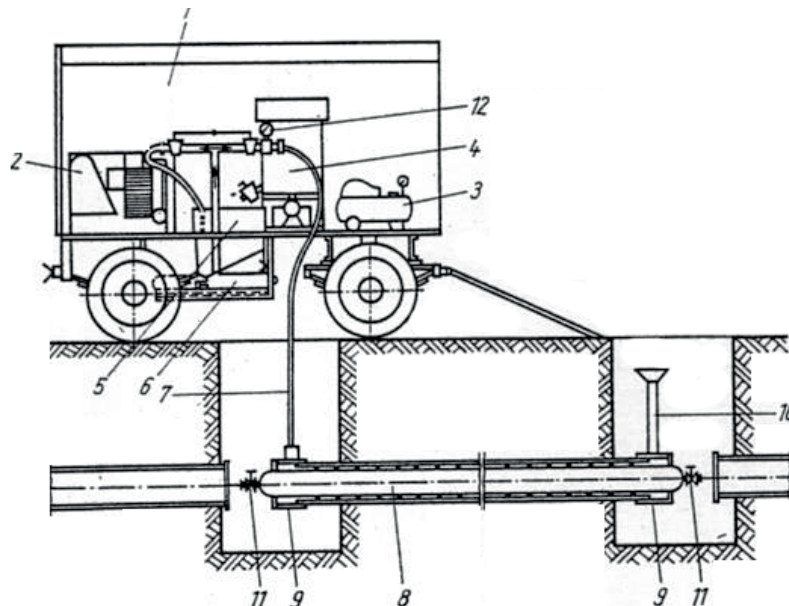


Abb. 4.47: Zementmörtelauspressverfahren – Technologieschema mit Anpressanhänger (1), den Schalungsschlauch (8)

Nach einer Aushärtungszeit von ca. 15 bis 25 Stunden (Sommer/Winter) wurde der Schalungsschlauch gezogen und für den nächsten Einsatz vorbereitet. Trotz der Abstandhalter wurde nicht immer eine gleichmäßige Schichtdicke erreicht, so dass an Stellen mit zu geringer Zementmörtelstärke Schäden auftreten können. Saniert wurden Rohrleitungen im Nennweitenbereich von DN 80 bis DN 300. Abb. 4.47 zeigt das Technologieschema mit Anpressanhänger (1), den Schalungsschlauch (8) und weitere Einzelheiten [Böhm, 1989].

Zu diesen zunächst angewendeten Verfahren, kamen in den letzten Jahren Relining-Verfahren mit Kunststoff-, Guss- und Stahlrohrleitungen (in den 80er Jahren das Einziehen von Kunststoffrohrleitungen in Altröhre und in den 90er Jahren Guss- und Stahlrohre in Altröhre) sowie grabenlose Bauweisen zur Erneuerung von stark geschädigten Altröhreleitungen hinzu (Mitte der 80er Jahre Berstlining, nach 1990 Press-/Ziehverfahren).

Für die Zementmörtelauskleidung und das Gewebeschlauch-Relining ist eine ausreichende statische Sicherheit erforderlich, Korrosionsschäden können in begrenztem Umfang vorhanden sein (Kap. 4.6 Beurteilung des Zustandes liegender Rohrleitungen).

Die Reinigung der Altröhre muss beim Gewebeschlauchrelining mit einem hohen Reinheitsgrad erfolgen, beim Zementmörtelausschleuderverfahren genügt die Reinigung mit Kratzern und Gummischeiben zum Abtransport der Inkrustationsprodukte.

Bei den weiteren genannten Verfahren wird die Trasse der Altröhreleitung genutzt, der Verschleiß der Rohrleitungen (Restwandstärke, Korrosionsschäden) kann sehr hoch sein. Die Reinigung der Altröhreleitungen ist in unterschiedlichem Maße erforderlich bzw. entfällt (Berstlining und Press-/Ziehverfahren).

	1950	1960	1970	1980	1990	2000	2010
Zementmörtelauskleidungsverfahren	1958	Dormund					
PE-Reliningverfahren							
Rolldown			England	1987			
Swagelining			England	1987			
U-Liner-Relining							
Strangrohr-Relining							
Berstlining			Deutschland				
Pipe cracking				1985			
Press-/Ziehverfahren hydros							
Duktilguss und Stahlrohr-Reling							
Hilfsrohrverfahren							
Hausanschlussverfahren					*		

\* unterschiedliche Verfahren; z.B. Bodenraketen bereits in 80er Jahren

Abb. 4.48: Entwicklung der Rehabilitationsverfahren

### 4.8.2 Auswahl des geeigneten Verfahrens

Entscheidend für die Auswahl der Verfahren sind insbesondere folgende Aspekte:

- Rohrleitungen
  - statisch geeignet
  - bedingt statisch geeignet
  - nicht geeignet.
- Rohrverbindungen und Armaturen
  - nicht mehr angewandte Muffen (z.B. Stemm-muffen)
  - veraltete Hausanschlusstechnik (seitliche An-bohrung in der Wasserversorgung)
  - Armaturenanordnung (z.B. Hydranten an Netz-knotenpunkten).
- Umweltgesichtspunkte
  - Vergleich offene Bauweise – grabenlos
  - Lärm, Abgas, Bauzeit usw.

Die Rohrindustrie hat auf die Entwicklung der Sanierungs- und Erneuerungsverfahren reagiert und entsprechende Rohrmaterialien entwickelt bzw. ihre Eigenschaften verbessert.

Zu nennen sind insbesondere folgende Entwicklungen:

- Duktulguss- und Stahlrohrleitungen mit korrosi-onssicherem und widerstandsfähigem Außen-schutz
- zugfeste Rohrverbindungen von Duktil- und Stahl-rohrleitungen für den Einsatz beim Berstlining und anderen Verfahren
- Kunststoffrohre mit erhöhter Zeitstandsfestigkeit, aus vernetztem Polyethylen und Mehrschichtrohre
- Entwicklung der Schweißtechnik bei Kunststoff-rohren
- Entwicklung von Gewebeschläuchen für Gas- und Wasserleitungen.

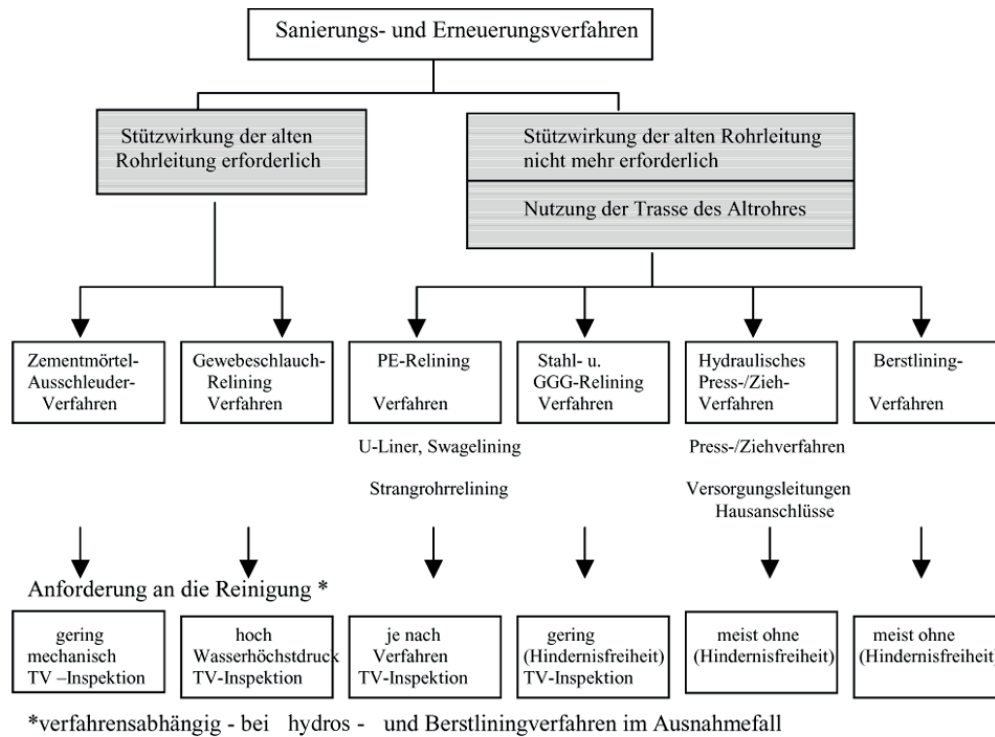


Abb. 4.49: Einteilung der Sanierungs- und Erneuerungsverfahren

### 4.8.3 Reparatur – sofortige Beseitigung von Rohrschäden

Die sofortige Beseitigung von Schäden (mit Wasseraustritt) gehört nicht zur Rehabilitation von Wasserrohrnetzen sondern ist Teil der Instandsetzung und dient als nicht planbare Maßnahme der Wiederherstellung des Betriebszustandes.

Da die Vorbereitung der Sanierung und Erneuerung von Leitungsstrecken einer entsprechenden Vorplanung und Koordinierung bedarf und Zeit erfordert, kommt nach wie vor der Schadensbeseitigung eine entsprechende Bedeutung zu, um Folgeschäden in Grenzen zu halten.

Bei Schäden an Rohrleitungen, welche aufgrund von Versorgungsstörungen und Folgeschäden an Verkehrsflächen (Unterspülungen, Setzungen) sofort behoben

werden müssen, können folgende Verfahren eingesetzt werden:

- Abdichten von örtlich begrenzten Schäden mit Rohrbruchschellen
- Teilerneuerung eines Rohrleitungsabschnittes mit einem Teilstück oder
- Tausch eines ganzen Rohres.

Häufig erfolgt der Wasseraustritt unter dichten Straßendecken (Asphalt oder Beton) an Armaturen und nicht unmittelbar an der Schadensstelle, weil das Wasser dort am leichtesten die Straßendecke durchdringen kann.

Die genannten Verfahren erfordern nach Absperrung der Leitungsstrecke an Netzknotenpunkten und Verkehrssicherung:

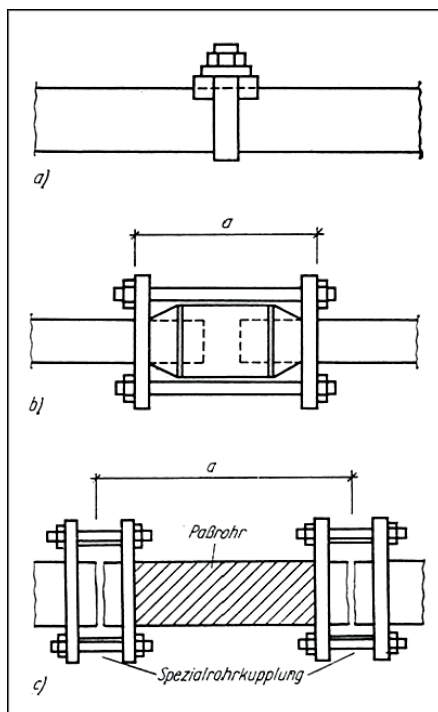
- den Straßenaufbruch,

- den Erdstoffaushub,
- die Wasserhaltung,
- die Ausführung der Reparaturmaßnahme,
- den Erdstoffeinbau und -verdichtung,
- den Straßendeckenschluss,
- Wiederinbetriebnahme.

Schadensstellen mit Korrosionsschäden (Lochschäden an Stahl- bzw. Graugussleitungen) können zwischenzeitlich mit Rohrbruchschellen, d.h. bis zur Sanierung oder Erneuerung der Leitungsstrecke, abgedichtet werden. Die Leckageverluste sind abhängig vom Versorgungsdruck und der Größe des Loches (Öffnung).

Schadensstellen mit Bruchschäden (Querriss, Längsris, Schalenbruch) verursachen wesentlich größere Wasserverluste, sodass die Behebung der Schäden aufgrund von Folgeschäden möglichst schnell erfolgen muss.

Während bei Querrissen vielfach noch eine Reparatur mit Rohrschellen erfolgen kann, sind bei Längsrissen in der Regel Rohrstücke herauszuschneiden und Teilstücke bei kleinen Nennweiten mit Hilfe von Rohrschellen oder sog. Überschiebern, bei größeren Nennweiten Teilstücke mit Hilfe von Kupplungen einzusetzen.



- a) Blindschelle
- b) Rohrbruchkupplung
- c) Teilauswechslung

Abb. 4.50: Rohrschadensbeseitigung nach [Böhm, 1989] bei Leitungen DN 80 bis DN 300

Bei größeren Schäden – große Längsrisse – empfiehlt sich der Austausch eines ganzen Rohres. Der Austausch eines Rohres oder Rohrstückes ist bei AZ-, PE- oder PVC auch bei Quer- oder Längsrissen anzuwenden. Undichte oder nicht mehr gangbare Absperrschieber

und Hydranten sowie Hausanschlussgarnituren sind auszutauschen.

Im Gegensatz zu den Baugruben bei planmäßigen Sanierungs- oder Erneuerungsmaßnahmen ist der Bereich der Baugruben durch den Wasseraustritt durchnässt und eine Bodenabfuhr des nassen Bodens erforderlich. Verdichtungsfähiger Boden ist anzufahren und lagenweise bei gleichzeitiger Verdichtung einzubauen.



Abb. 4.51: Schadensstelle (Vernässung durch Schaden im Winter gut erkennbar)

Die Straßenwiederherstellung ist mit entsprechender Sorgfalt durchzuführen, insbesondere können später Probleme bei alten Straßen mit nur einer Tragschicht (Packlage, Schotter) auftreten. Risse an den Rändern der Baugruben sind durch den unterschiedlichen Aufbau der Straßendecken im Bereich der Schadensstelle und im ungestörten Bereich der Straße zu erwarten. Die Bauweise im Bereich der Baugrube ist daher möglichst der Bauweise der ungestörten Straßendecke anzupassen.

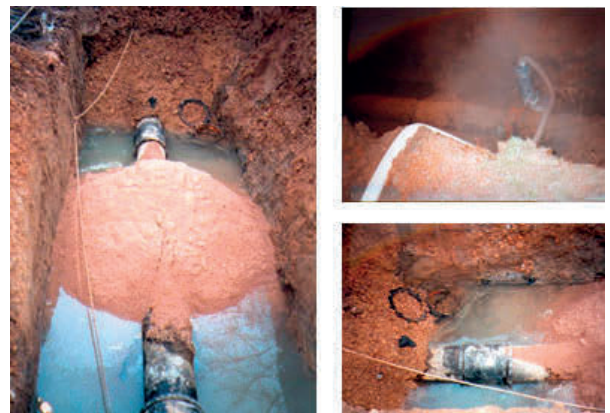
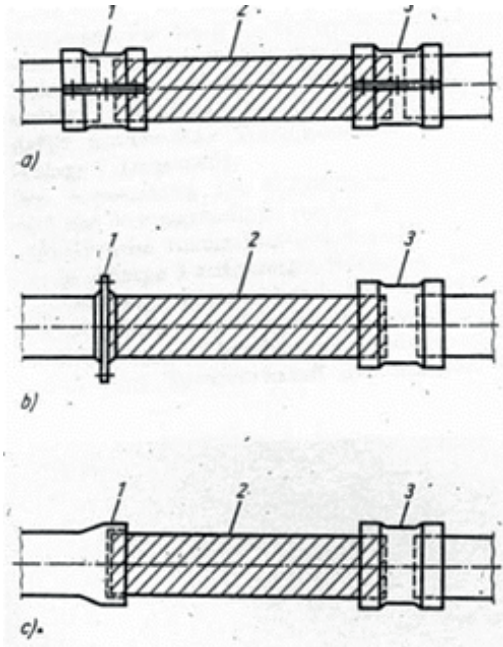


Abb. 4.52: Schadensbeseitigung durch Einbau eines Passrohres mit Rohrbruchkupplung Wasserhaltung





- a) Teilauswechslung mit 2/2 U-Stücken
- b) Teilauswechslung mit U-Stück und Flanschverbindung
- c) Teilauswechslung mit U-Stück und Stemmuffenverbindung

Abb. 4.53: Rohrschadensbeseitigung mit unterschiedlich Passstücken nach [Böhm, 1989]

Die Schadensstellen und die Art der Schadensbeseitigung sollte in Bestandskarten aufgenommen werden, das sie bei Erneuerungsverfahren (Berstlining oder Press-/Ziehverfahren Schwierigkeiten bereiten können.

#### 4.8.4 Vorbereitung der Rehabilitationsmaßnahmen

##### 4.8.4.1 Bauablauf

Allgemein kann die Rehabilitation nach folgenden Teilschritten erfolgen, wobei diese verfahrensabhängig sind.

Teilschritte der Sanierung bzw. Erneuerung:

- Baustellensicherung in Abhängigkeit vom Sanierungs- bzw. Erneuerungsverfahren (Absperrungen, Fußgängerüberwege, Umleitungen usw.)

- Verlegen einer Ersatzversorgungsleitung
- Außerbetriebnahme der Sanierungs- bzw. Erneuerungsstrecke
- Öffnen der Baugruben (Straßendecke, Aushub und Verbau)
- Trennen der Rohrleitung und Ausbau der Armaturen
- Rohrreinigung (siehe oben bei Sanierung, ggf. auch bei Erneuerung)
- Sanierung bzw. Erneuerung einschließlich Anschluss der Hausanschlussleitungen
- Spülen der Sanierungs- bzw. Erneuerungsstrecke
- Inbetriebnahme der Sanierungs- bzw. Erneuerungsstrecke
- Schließen der Baugruben.

Grundlage für die Arbeiten sind Bestandskarten, welche folgende Angaben enthalten müssen:

- Versorgungsleitungen (DN, Rohrmaterial, Verlegejahr, evtl. Korrosionsschutz)
- Hausanschlussleitungen
- Armaturen (Absperrschieber, Hydranten, Hausanschlüsse).

Bei unvollständigen Bestandskarten (Lage, Tiefenlage usw.) sind Suchschachtungen durchzuführen, um bei der Baudurchführung benachbarte Leitungen nicht zu gefährden. In Bestandskarten sollten möglichst vorangegangene Reparaturmaßnahmen (Reparaturschellen, Kupplungen usw.) eingetragen worden sein, um nicht erst bei der Baudurchführung auf Hindernisse zu stoßen.

##### 4.8.4.2 Sicherung von Baustellen auf öffentlichen Grundstücken

Baustellen im öffentlichen Gelände sind nach

- dem Straßenverkehrsrecht (Richtlinien für die Sicherung von Arbeitsstellen an Straßen – RSA sowie
- den Regeln des Rohrleitungsbaus (zu unterscheiden Rohrgräben und Baugruben)

zu sichern.

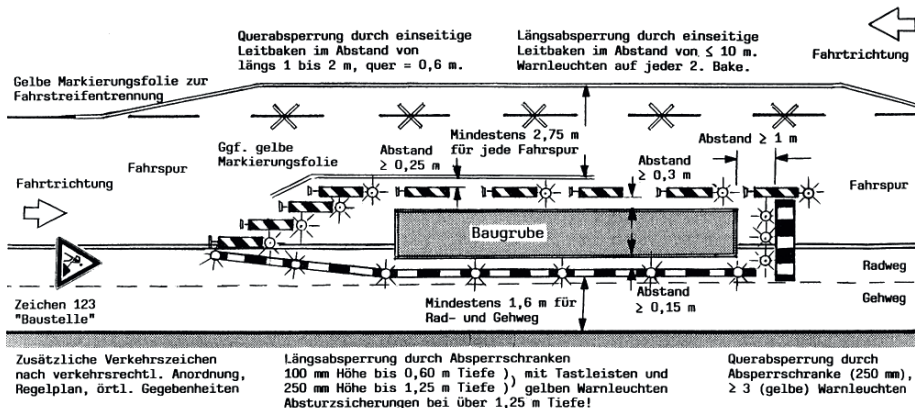


Abb. 4.54: Baustellensicherung (Köhler)

Für die Verkehrssicherung sind erforderlich:

- Verkehrszeichen (StVO §§ 39 bis 42)
- Verkehrseinrichtungen (StVO § 43) und
- Schutzeinrichtungen.

Zu den Schutzeinrichtungen gehören Schutzzäune, Schutzwände, Absturzsicherungen usw. Bei Rohrgräben und Baugruben ist auf Arbeitsraumbreiten (zeitweiliger Arbeitsplatz!), den Verbau, Leitern usw. zu achten.

Zu beachten: EN-Neuregelungen (anstelle DIN 4124 usw.)

Als weiterführende Literatur wird empfohlen: [Köhler, 1997].

#### 4.8.4.3 Ersatzversorgung

Störungen am Wasserversorgungsnetz sind nach der AVB Wasser § 5 Abs. 2 unverzüglich zu beheben. Demzufolge sind auch die mit der Sanierung oder Leitungserneuerung verbundenen Versorgungsunterbrechungen möglichst kurz zu halten und für die betroffenen Abnehmer für die Zeit der Arbeiten Ersatzversorgungen (besser Notversorgung) einzurichten.

Als **Notversorgung** ist die vorübergehende Wasserversorgung von Kunden während einer Unterbrechung im Trinkwassernetz mit Hilfe eines Ersatzsystems zu verstehen.

Folgende Grundsätze sind bei der **Einrichtung eines Ersatzsystems** zu beachten:

- der Wasserbedarf sollte ohne wesentliche Einschränkungen der Kunden gedeckt werden
- die Löschwasserversorgung ist zu gewährleisten (W 405)
- Rohre, Rohrleitungsteile und Behälter müssen der KTW-Richtlinie entsprechen bzw. eine DVGW-Zulassung haben
- im Winter ist das Einfrieren der Systeme zu verhindern, im Sommer ist die zu starke Erwärmung zu vermeiden.

Zum Einsatz kommen für Notversorgungen PE-Rohre mit Klemmverbindern nach DIN 8076 bzw. metallische Schnellkupplungsrohre nach DIN 19651. Für größere Nennweiten können auch Stahlrohre oder Duktulgussrohre mit lösbaren schubgesicherten Verbindungen ein-

gesetzt werden. Nach dem Abbau von Notversorgungen sind die Anlagenteile fachgerecht zu lagern.

Die Verlegung erfolgt:

- im Regelfall über Gelände (Straßenkreuzung mit Schlauchbrücke oder Schlitzung)
- entlang von Hauswänden, Gartenzäunen und auf der Straße entlang der Bordsteinkante.

Weiterhin ist zu beachten, dass:

- der Fahrverkehr, Fußgänger und Radfahrer nicht gefährdet werden
- Abdeckungen, Warntafeln und/oder Verkehrsabsperrungen vorzusehen sind
- Armaturen nur durch Schlüssel und Befugte bedienbar sein dürfen
- gegen Lageänderungen sind besondere Verkehrssicherungen vorzusehen sind.

Die Verbindung der Ersatzversorgung mit der vorhandenen Anlage erfolgt:

- in der Regel über einen Hydranten, der von der Baumaßnahme nicht betroffen ist
- durch Einbindung der Ersatzanschlussleitung in die vorhandene Anschlussleitung
- unter Beachtung der Einbruchssicherung von Kellerfenstern, Hauseingängen usw.

Ersatzleitungen sind vor ihrer Inbetriebnahme zu desinfizieren; bei langen durchflossenen Leitungen sind Überprüfungen auf Keimfreiheit und Leitungsspülungen durchzuführen. In der kalten Jahreszeit und an heißen Tagen sind die Anlagen durch Ableiten von Teilmengen vor dem Einfrieren oder zu starker Erwärmung zu schützen.

Weiterhin sind folgende Vorschriften zu beachten:

- W 270  
Vermehrung von Mikroorganismen auf Werkstoffen für den Trinkwasserbereich 11/1999
- W 291  
Reinigung und Desinfektion von Wasserverteilungsanlagen Entwurf Juli 1998
- KTW-Empfehlungen: Bundesgesundheitsamt (Hrsg.)  
Gesundheitliche Beurteilung von Kunststoffen und anderen nichtmetallischen Werkstoffen im Rahmen des Lebensmittel- und Bedarfsgegenstandesgesetzes für den Trinkwasserbereich

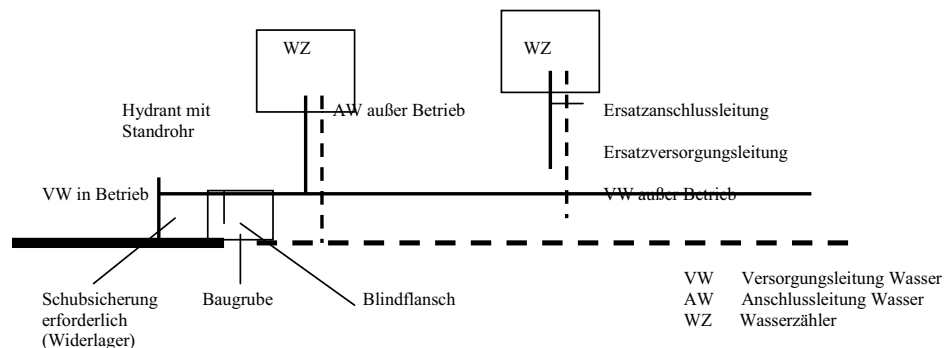


Abb. 4.55: Beispiel einer Ersatzversorgung mit Anschluss an Hydranten (W 394 [DVGW, 1991a])

4. Sanierung und Erneuerung von Wasserversorgungsnetzen

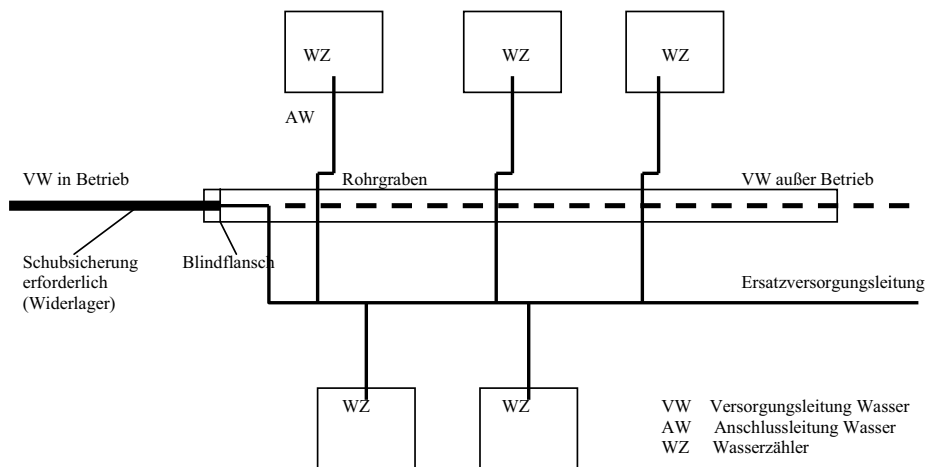


Abb. 4.56: Beispiel einer Ersatzversorgung mit unmittelbarer Anbindung an eine Versorgungsleitung (W 394 [DVGW, 1991a])



Abb. 4.57: Ersatzversorgung nach W 394 -Beispiele





Abb. 4.58: Erfurt Baustellensicherung und Ersatzversorgung – Beispiele a) b) c) Verkehrssicherung d) e) f) Ersatzversorgung

#### 4.8.5 Rohrreinigung in Abhängigkeit vom Sanierungsverfahren

##### 4.8.5.1 Verfahrensbedingte Anforderungen

Rehabilitationsmaßnahmen erfordern eine entsprechende Vorbereitung. Dazu gehören:

- Bestandskarten, ggf. Vermessungsarbeiten und Bestimmung der Lage der Altleitung bzw. benachbarter Leitungen bei nicht vorhandenen bzw. unzureichenden Bestandsunterlagen
- Baustelleneinrichtung (siehe Abb. 4.58)
- Ersatzversorgung (siehe Abb. 4.57)
- Reinigung bei Sanierungsverfahren, ggf. auch bei Erneuerungsverfahren
- Kalibrierung der Altrrohrleitung bei einigen Verfahren.

Die Sanierung von erdverlegten Rohrleitungen setzt in der Regel eine Reinigung voraus, welche vom gewählten Sanierungsverfahren abhängig ist.

Die Rohrreinigung kann aber auch bei Erneuerungsverfahren erforderlich werden, wenn ein Zug-Gestänge für nachfolgende Arbeiten eingebracht werden muss oder Videoaufzeichnungen zur Zustandsermittlung von Rohrleitungen durchgeführt werden sollen (Entscheidung über Sanierung oder Erneuerung).

Die Reinigungsarbeiten erfordern die Außerbetriebnahme der jeweiligen Strecke, wobei die Lage und der Abstand der zu erstellenden Baugruben vom angewendeten Reinigungsverfahren und dem nachfolgenden Sanierungsverfahren abhängig ist. Die Abstände von Baugruben werden außerdem durch vorhandene und auszubauende Schieber, Klappen und Abzweige bestimmt.

Rohrreinigungen können mit folgenden Verfahren durchgeführt werden:

- Mechanische Rohrreinigung
- Hydraulische Reinigung

- Wasserhochdruckverfahren
- Wasserhöchstdruckverfahren mit Wasserfräse.

Bei besonderen Ablagerungen, Beschichtungen oder Korrosionsprodukten kann eine Wasserhöchstdruckreinigung erforderlich werden.

Die Knotenpunktabstände städtischer Straßen der Gründerzeitbebauung betragen 110-140 m und entsprechen den verfahrensbedingten Streckenabschnitten der Sanierung bzw. Erneuerung.

Beim Gewebeschlauchrelining ist eine metallisch reine und trockene Oberfläche zur vollständigen Verklebung von Gewebeschlauch und Rohrwandung notwendig, die durch Sandstrahlen und/oder Wasserhöchstdruckreinigung erreicht werden kann.

Für die Zementmörtelkleidung und die Reliningverfahren ist dieser hohe Reinigungsgrad nicht erforderlich. Für die Zementmörtelaukleidung genügt in den meisten Fällen die mechanische Reinigung mit Kratzern und Gummischieben. Bei besonderen Ablagerungen, Beschichtungen oder Korrosionsprodukten kann eine Wasserhöchstdruckreinigung erforderlich werden. Für die Sanierungen mit dem PE-Rohrstrangverfahren ist häufig eine mechanische Reinigung ausreichend.

##### 4.8.5.2 Verfahren der Rohrreinigung

###### Mechanische Reinigung

Die mechanische Reinigung wird im Nennweitenbereich von DN 80 bis DN 1200 angewendet. Kratzer oder Bürsten, die mit Winden durch den Reinigungsabschnitt gezogen werden, lösen Inkrustierungen und Ablagerungen. Das abgetragene Material wird durch Gummischiebenmolche aus den Rohren transportiert und ist in Baugruben aufzufangen und abzutransportieren.

Stärke und Festigkeit der Inkrustationen bedingen die Wahl der Reinigungsgeräte und die Anzahl der erforderlichen Reinigungszüge. Es werden in Abhängigkeit von der Nennweite Streckenlängen bis zu 600 m er-

reicht. Hausanschlüsse, Hydranten, Be- und Entlüftungsventile sind nach der Reinigung durchzublasen.

Begehbare Rohrquerschnitten sowie Krümmer, Abzweige, Formteile und kurze Rohrabschnitte können von Hand gereinigt werden (Rohrleitungen mit einem Innendurchmesser > 600 mm).

**Hydraulische Reinigung (Molchung)**

Dieses Verfahren wird normalerweise nur bei langen (> 800 m), geraden Teilstücken gleichen Durchmessers und geeigneter Entsorgungsmöglichkeit angewendet.

Infolge der Reibung zwischen Gerät und Rohrwand bzw. durch die höhere Wassergeschwindigkeit im Ringraum werden Korrosions- und Inkrustationsprodukte abgelöst und vom Wasserstrom ausgetragen. Die Vorschubgeschwindigkeit hängt von der Dicke und Festigkeit der Inkrustationen und von der Größe der Vorschubkraft, bedingt durch den Druckunterschied vor und hinter dem Gerät ab.

**Wasserhochdruckverfahren**

Die Hochdruckreinigung kann bei Rohrleitungen der Nennweiten DN 80 bis DN 2000 mit leicht zu lösenden Inkrustierungen angewendet werden. Dabei wird Wasser mittels einer Hochdruckpumpe über einen Schlauch zu der zentrierten Hochdruckdüse mit bis zu 180 bar gefördert. Neben der Hochdruckdüse können auch durch den Wasserdruck angetriebene, rotierende Rohrfräsen und Kettenschleudern eingesetzt werden. Der Wasserdruck wird entsprechend der Art und Festigkeit der Inkrustationen eingestellt. Die gelösten Inkrustationen werden über Rückstrahldüsen aus der Rohrleitung in die Baugrube gefördert. Für diesen Rückspüleffekt ist eine Wassermenge von 100 bis ca. 400 l/min in Abhängigkeit vom Rohrdurchmesser notwendig.

**Wasserhöchstdruckverfahren**

Das Einsatzgebiet dieses Reinigungsverfahrens umfasst Rohrleitungen mit den Nennweiten DN 80 bis DN 2000 und größer vor allem mit schwer zu lösenden Inkrustationen und Beschichtungen. Es können Streckenlängen von über 100 m mit Drücken bis zu 2.000 bar und geringen Wassermengen gereinigt werden.

Das Wasserhöchstdruckverfahren wird bei Sanierungsverfahren angewendet, welche einen hohen Reinigungsgrad erfordern, um z.B. die ordnungsgemäße Verklebung der Inliner an der Rohrwandung zu gewährleisten (Gewebeschlauchverfahren).

Eine Variante der Wasserhöchstdruckreinigung ist die Wasserfräse. Sie besteht aus einer Drehdurchführung mit auswechselbaren Rotationsfräsköpfen für DN 80 bis DN 1000. Diese wird über einen Presswassererzeuger mit bis zu 2.500 bar angetrieben, wobei an der Düse eine Wassertemperatur von 50 bis 70 °C erreicht wird.

Das durch die Reinigung abgetragene Material und das Reinigungswasser werden aus dem Rohr transportiert und das Rohr durch den Luftstrom getrocknet.

Nach Abschluss der Reinigungsarbeiten kann das gereinigte Wasser der Schmutzwasserkanalisation zugeführt werden. Der Feststoffschlamm muss gesondert entsorgt werden.

**4.8.5.3 TV-Inspektion und Videoaufzeichnungen**

Die TV-Inspektion (ggf. Videoaufzeichnungen von der „Kanalbefahrung“) erlaubt einen Blick „in das gereinigte Rohr“ und damit eine Beurteilung des Reinigungsgrades für das anzuwendende Sanierungsverfahren. Beurteilt werden können:

- Korrosionszustand (Flächen-, Mulden- oder Lochkorrosion)
- Reste des werkseitigen inneren Korrosionsschutzes
- zu erwartende Hindernisse.

Tab. 4.24: Anforderungen an die Rohrreinigung

Verfahren	Anforderungen	Verfahren der Rohrreinigung
Zementmörtelausklebung	relativ gering, Beseitigung von Inkrustationen, Ablagerungen oder Rückständen	mechanisch (in 90 % aller Fälle ausreichend); Höchstdruckreinigung bis 1.000 bar
Gewebeschlauch-Relining	hoher Reinigungsgrad der Rohrinnenoberfläche erforderlich Beseitigung von Hindernissen erforderlich	Wasserhöchstdruck 2.000 bar
PE-Relining nach GW 320/I und II	relativ gering, <b>Beseitigung von Hindernissen erforderlich;</b> Video-Aufzeichnungen	mechanisch
Duktilguss- und Stahlrohr-Relining	relativ gering, Beseitigung von Hindernissen erforderlich, Video-Aufzeichnungen	mechanisch
Press-/Ziehverfahren	Bestandskarten	evtl. Reinigung zum Einbringen des Gestänges
Berstlining	Bestandskarten Videoaufzeichnungen	evtl. Reinigung zum Einbringen des Gestänges

Der höchstmögliche Reinigungsgrad muss beim Gewebeschlauchrelining erreicht werden. Außerdem müssen Hindernisse festgestellt und beseitigt sowie eine Kalibrierung des Innendurchmessers für die Konfektionierung des Gewebeschlauches durchgeführt werden.

Bei **Reliningverfahren** (Einzug von PE-Rohren, duktilem Gussrohr oder Stahlrohr) ist der zu erreichende Reinigungsgrad zu Beginn der Baumaßnahme festzulegen. Hindernisse, Richtungsänderungen, Leitungsver-sprünge, Düker, eingeschlagene Holz- oder Stahlpinne sowie eingebeulte Rohre, die einen Rohreinzug erschweren oder unmöglich machen, müssen festgestellt und gegebenenfalls beseitigt werden. Insbesondere beim PE-Relining muss die Rohrreinigung so erfolgen, dass ein beschädigungsfreies Einziehen des Rohres möglich ist.

Bei der **Zementmörtelauskleidung** sind alle Inkrustationen und losen Bestandteile, Ablagerungen oder Rückstände von alten Innenbeschichtungen zu beseitigen, damit der Mörtel eine Haftung mit der Rohrwand eingehen kann. Eine metallische Oberfläche muss bei der Reinigung nicht erreicht werden.

Bei Press-Ziehverfahren und Berstliningverfahren entfallen die vorgenannten Arbeiten, da die Altröhre entfernt oder zerstört werden. Für diese Verfahren sind dagegen die Bestandskarten wegen zu naher Lage benachbarter Leitungen von besonderem Interesse.

Alle Unterlagen und Videoaufnahmen sind nach Abschluss der Baumaßnahmen 10 Jahre aufzubewahren.

**Bestandskarten, vermessungstechnische Kontrolle und Aufnahmen**

Beim Press-/Ziehverfahren, dem Hilfsrohrverfahren und dem Berstliningverfahren sind die Bestandskarten von großer Bedeutung, um benachbarte Leitungen und Bauwerke bei der Verfahrensdurchführung nicht zu be-

schädigen. Vermessungstechnische Kontrollen und Aufnahmen dienen der lage- und höhenmäßigen Bestimmung der Trasse insbesondere beim Duktulguss- und Stahlrohrrelining, um Versätze, Bodensenkungen und Abwinklungen zu erkennen und Schwierigkeiten beim Rohreinzug auszuschließen. Unrundheiten, Engstellen und Dimensionswechsel können durch Kalibrieren der Altrohrleitung festgestellt werden und müssen vor dem Einziehen beseitigt werden.

**4.8.6 Untersuchungen zur Wirtschaftlichkeit grabenloser Rohrverlegung**

Durch den Rohr-sanierungsverband (RSV) wurden Untersuchungen zur Wirtschaftlichkeit grabenloser Rohrverlegungsverfahren durchgeführt und in [Roscher et al., 2011] veröffentlicht. Die Untersuchungen erfolgten an einer 250 m langen Stadtstraße in einem Wohngebiet mit Einfamilienhausbebauung.

Auszugsweise sind die Kalkulationen für das Zementmörtelauskleidungsverfahren, den PE-Rohreinzug ohne Ringraum (Verformungsverfahren) in den *Tab. 4.25* und *Tab. 4.26* enthalten. Sie beinhalten die Baustelleneinrichtung, ggf. Ersatzverlegungen für die Bauzeit, die Verfahrensdurchführung, die Herstellung der Hausanschlüsse und die Ermittlung eines m-Preises (€/m).

Bei dem m-Preis ist immer die Streckenlänge zu beachten, da in diesen Start- und Zielgrube eingehen (siehe dazu unten besonders Berstlining-Verfahren).

Analog dazu wurde das Berstverfahren untersucht, wobei die Kalkulationen hierfür mit unterschiedlichen Bauabschnittslängen und unterschiedlichen Tiefenlagen der Leitung erfolgten. Die Gesamtlänge beträgt 250 m bzw. 2 · 125 m und 4 · 62,5 m. Weiterhin wurden die Durchmesser und die einzubauenden Rohrmaterialien variiert. Die vergleichenden Ergebnisse zeigt *Tab. 4.27*.

Tab. 4.25: Rehabilitation mit Zementmörtelauskleidung

Position	Kurztext	Menge	ME	EP	GP
1	Baustelleneinrichtung	1,000	pau		5.820,00
2	Ersatzversorgung DN 50	300,000	m	11,00	3.300,00
3	Hausanschlüsse	14,000	Stk	130,30	1.824,20
4	Baugrube im Gehwegbereich	3,000	Stk	2.700,00	8.100,00
5	Rohrpassstücke DN 150 GG	3,000	Stk	368,10	1.104,30
6	Absperrschieber DN 150 mit EU-Stücke	2,000	Stk	286,30	572,60
7	Unterflurhydranten DN 80 ausbauen	3,000	Stk	163,60	490,80
8	mechanische Reinigung der Graugussleitung DN 150 GG, PN 10	250,000	m	14,70	3.675,00
9	gereinigte Trinkwasserleitung DN 150, PN 10, GG mit Zementmörtel nach dem Anschleuderverfahren	250,000	m	31,50	7.875,00
10	Kamerabefahrung mit Videoaufzeichnung DN 150	250,00	m	3,30	825,00
				<b>Summe netto:</b>	<b>33.586,90</b>

Daraus folgt in Mittel  $33.586,90 : 250 = 134,35 \text{ €/m}$



Tab. 4.26: Rehabilitation mit PE-Rohreinzug ohne Ringraum (Verformungsverfahren)

Position	Kurztext	Menge	ME	EP	GP
01.010	Baustelleneinrichtung	1,000	pau	3.615,00	3.615,00
01.020	Notversorgung DN 50 Aufbau, Vorhalten, Abbau	300,0000	m	11,00	3.300,00
01.030	Leitung trennen mit Start- u. Zielbaugrube	2,000	Stk	2.980,00	5.960,00
01.040	Mechanische Reinigung	250,000	m	6,95	1.737,50
01.050	TV-Untersuchung	250,000	m	5,50	1.375,00
01.060	Kalibrieren der Leitung	250,000	m	6,05	1.512,50
01.070	Liefern und Einbauen da 150	250,000	m	56,00	14.000,00
01.080	Druckprüfung	250,000	m	5,00	1.250,00
01.090	Linerenden mit vorh. Leitung verbinden	2,000	Stk	750,00	1.500,00
01.100	TV zur Abnahme	250,000	m	4,00	1.000,00
01.110	Baugruppe für HA/UH	16,000	Stk	2.400,00	38.400,00
01.120	Unterflurhydranten ausbauen	3,000	Stk	328,38	985,14
01.130	Hausanschlüsse neu einbinden mit Material	14,000	Stk	750,00	10.500,00
<b>Summe netto:</b>					<b>85.135,14</b>

Daraus folgt im Mittel **340,54 €/m**

Tab. 4.27: Verfahrensvergleich

Offen Bauweise						
	DN 100		DN 200		DN 300	
	Gesamtsumme	Preis/m	Gesamtsumme	Preis/m	Gesamtsumme	Preis/m
		58.814,50 €	235,26 €/m	82.515,00 €	330,06 €/m	104.415,00 €
Berstverfahren mit Einbau von Duktulgussleitungen						
	DN 100		DN 200		DN 300	
	Gesamtsumme	Preis/m	Gesamtsumme	Preis/m	Gesamtsumme	Preis/m
	2 Abschnitte	50.985,75 €	203,83 €/m	69.829,55 €	275,32 €/m	91.363,55 €
3 Abschnitte	60.101,08 €	240,40 €/m	77.001,29 €	308,01 €/m	100.685,29 €	402,74 €/m
6 Abschnitte	71.416,50 €	285,67 €/m	89.196 €	218,36 €/m	113.696,10 €	454,78 €/m
Berstverfahren mit Einbau von PE-Rohrleitungen						
	DN 100		DN 200		DN 300	
	Gesamtsumme	Preis/m	Gesamtsumme	Preis/m	Gesamtsumme	Preis/m
	1 Abschnitt	36.779,34 €	147,12 €/m	54.589,38 €	218,36 €/m	83.132,38 €
2 Abschnitte	39.666,51 €	158,67 €/m	58.110,59 €	232,44 €/m	86.780,59 €	347,12 €/m
4 Abschnitte	46.852,73 €	187,41 €/m	65.922,85 €	263,69 €/m	95.685,85 €	382,74 €/m
6 Abschnitte	54.957,02 €	219,83 €/m	75.222,18 €	300,89 €/m	107.744,18 €	430,98 €/m

Aus Tab. 4.27 ist der große Einfluss der Bauabschnittslänge erkennbar, da bei kürzeren Bauabschnittslängen das Umsetzen der Berstmaschine einen großen Einfluss auf den m-Preis (€/m) hat. Einen wesentlichen Einfluss haben auch die eingesetzten Rohrmaterialien und Rohrverbindungen – z.B. zugfeste Verbindungen von Duktulgussrohrleitungen beim Berstverfahren. Hierfür wurden Zugversuche durchgeführt und die Ergebnisse in DVGW-Richtlinien aufgenommen.

Durch die Rohrindustrie erfolgten im letzten Jahrzehnt Neu- und Weiterentwicklungen der Rohrmaterialien und der Rohrverbindungen insbesondere für aufgrabungsfreie Technologien und Verfahren. Zu nennen sind insbesondere

- Duktulguss- und Stahlrohrleitungen mit korrosionssicherem und widerstandsfähigem Außenschutz,
- zugfeste Rohrverbindungen für den Einsatz bei Berstlining und Liningverfahren,

- Kunststoffrohre mit erhöhter Zeitstandsfestigkeit, vernetztem Polyethylen und als Mehrschichtrohre,
- Entwicklung der Schweißtechnik bei Kunststoffrohren sowie
- **Weiterentwicklungen im Armaturenbereich.**

Für den Einsatz bei grabenlosen Einbauverfahren stehen dem Anwender teilweise speziell auf diese Verfahrenstechniken zugeschnittene Neurohre zur Verfügung.

Nachfolgend werden einige Entwicklungen in diesem Bereich für die einzelnen Werkstoffe aufgeführt.

#### Duktulgussrohre

Für grabenlose Einbauverfahren werden Rohre mit längskraftschlüssigen Steckverbindungen (Typ: BLS® oder BRS® usw.) verwendet. Diese sind als Druckrohre und als drucklose Abwasserrohre verfügbar. Die Duktulgussrohre verfügen neben dem inneren und äußeren Korrosionsschutz zusätzlich den für grabenlose Verfahren erforderlichen Außenschutz (siehe dazu Herstellerinformationen).

**Stahlrohre**

Für grabenlose Einbauverfahren werden Rohre mit längskraftschlüssigen Verbindungen (Typ: DKM u.a.) oder verschweißte Rohre verwendet. Diese werden in der Regel als Druckrohre verwendet können jedoch auch als drucklose Abwasserrohre eingesetzt werden. Die Stahlrohre verfügen neben dem inneren und äußeren Korrosionsschutz zusätzlich den für grabenlose Verfahren erforderlichen Außenschutz (siehe dazu Herstellerinformationen).

**Kunststoffrohre**

Für grabenlose Einbauverfahren gibt es eine Vielzahl auf den jeweiligen Einsatzbereich abgestimmte Rohrmaterialien (siehe dazu RSV Merkblatt 10 Kunststoffrohre für grabenlose Bauweisen – Teil 1: Druckrohrleitungen und Teil 2: Freigefälleleitungen sowie Herstellerinformationen).

Für grabenlose Verfahren werden besonders widerstandsfähige Materialien oder mit zusätzlichen Schutzschichten versehene Rohre verwendet. Bei den Druckrohrleitungen werden in der Regel stumpfverschweißte Rohre verwendet. Dagegen werden bei den Freigefälleleitungen innen und außen vollkommen glatte Steckverbindungen oder stumpfverschweißte Rohre verwendet. Die Steckverbindungen sind je nach Ausführung axial auf Schub- oder auf Zug- und Schub belastbar. Außerdem können kombinierte, stoffschlüssige Steckverbindungen mit zusätzlicher Verschweißung eingesetzt werden.

**4.9 Rehabilitationsverfahren****4.9.1 Zementmörtelauskleidung****4.9.1.1 Merkmale des Verfahrens und Zustand des Altrohres**

Nach DVGW-Arbeitsblatt W 343 sowie DIN 2880 und der DIN 2614 hat die Zementmörtelauskleidung folgende Aufgaben zu erfüllen:

- Aufbringen eines Innenschutzes bei korrosionsgeschädigten Rohrleitungen und Abdichtung vorhandener Leckagen einschließlich der Rohrverbindungen
- Verhinderung von Innen-Korrosionsschäden (auch bei neuen Leitungen)
- Vermeidung von Inkrustationen
- Verbesserung der hydraulischen Eigenschaften.

Voraussetzung für den Einsatz des Verfahrens ist, dass die Altrohrleitung einen guten Zustand besitzt und statisch tragfähig ist.

Zur Vorbereitung der Zementmörtelauskleidung sind vom zu sanierenden Leitungsabschnitt zu erfassen:

- der Rohrzustand sowie Unterschiede im Innendurchmesser
- Richtungsänderungen sowie horizontale und vertikale Rohretagen
- Abzweige oder Anschlüsse, Armaturen
- Werkstoffwechsel.

Die Rohrabschnitte sind für die Reinigungs- und Auskleidungsarbeiten außer Betrieb zu nehmen, die Rohr-

leitungen zu trennen bzw. in den Leitungen entsprechende Öffnungen herzustellen. Je nach Istzustand der zu sanierenden Rohrleitung kommen die o.g. Reinigungsverfahren zum Einsatz, vorzugsweise die mechanische Reinigung und die Reinigung von Hand.

**4.9.1.2 Arbeitsablauf und Anforderungen an das ausführende Fachunternehmen**

Der **Arbeitsablauf** für die Sanierung mit Zementmörtel umfasst folgende Arbeitsschritte:

- Planungs- und Vorbereitungsarbeiten
- Aufbau einer Ersatzversorgung
- Außerbetriebnahme und Öffnen der Baugruben
- Reinigung der Rohrleitung (vorzugsweise mechanisch)
- Zementmörtelauskleidung
- Einbau der Armaturen
- Herstellung der Hausanschlüsse
- Spülung und Desinfektion
- Verbinden der Sanierungsstrecken und Inbetriebnahme.

Die mit der Ausführung der Arbeiten beauftragten Unternehmen müssen die erforderliche Qualifikation besitzen, die sie dem Auftraggeber nachzuweisen haben. (siehe GW 301 (A) durch die Zusatzgruppen „R“ (Rehabilitation) und „GN“ (Gabenlose Neulegung).

Pro Jahr ist mindestens eine interne Schulung durchzuführen. Qualifikationsnachweise, Schulungsmaßnahmen und Unterweisungen sind zu dokumentieren. Die mit der Durchführung des Sanierungsverfahrens beauftragte Kolonne muss aus Fachkräften und unterwiesenen Personen bestehen.

Die Befähigung für die Anwendung des Zementmörtelauskleidungsverfahrens gilt z.B. als nachgewiesen, wenn das Unternehmen über ein DVGW-Zertifikat nach GW 301 (A) bzw. GW 302 (A) in der Gruppe R 4 verfügt.

Für jede Sanierungsmaßnahme muss eine lückenlose Dokumentation aller Arbeitsschritte gefertigt werden.

**4.9.1.3 Verfahrensdurchführung**

Beim Anschleuderverfahren wird der Zementmörtel mit schnell rotierenden Schleuderköpfen in erforderlicher Schichtdicke auf die Rohrrinnenwand aufgebracht. Im gleichen Arbeitsgang kann die Zementmörteloberfläche durch mitlaufende Kellen geglättet werden.

Anfangs wurden weitere Verfahren eingesetzt, wie das Anpressen bzw. Verfahren mit einem aufblasbaren Schlauch und Auspressen mit Zementmörtel zwischen Altrohr und Schlauch (siehe *Zur Entwicklung der Rehabilitationsverfahren*).

Die Schichtdicke beträgt gemäß DVGW-Arbeitsblatt W 343 in Abhängigkeit von der Nennweite der Rohrleitung zwischen 3,0 und 10,0 mm (siehe dazu *Tab. 4.28*).

Die angegebenen Schichtdickentoleranzen gelten jeweils für die glatte und gerade Rohrleitungen. Über den Schweißraupen bei Stahlleitungen kann eine geringere Schichtdicke auftreten. Für stark korrodierte, wellige

oder unrunde Rohre sowie in anderen Sonderfällen sind größere Schichtdicken und Toleranzen zu vereinbaren. Die Mindestschichtdicken sind in diesen Fällen einzuhalten.

Leitungsteile, die nicht maschinell ausgekleidet werden können, z.B. Segmentkrümmer, Formstücke usw. sind von Hand auszukleiden.

Arbeitsgänge:

- Feststellung der kleinsten lichten Weite und des ungehinderten Durchganges des Auskleidungsgerätes im gereinigten Rohrleitungsabschnitt
- bei nicht begehbaren Rohrleitungen: Ansetzen und Zentrieren der Schleudermaschine am Anfang des auszukleidenden Rohrabschnittes
- Anfahren der Schleudermaschine in der Baugrube, bis der Zementmörtel die erforderliche Konsistenz aufweist
- Durchziehen der Schleudermaschine mit konstanter Geschwindigkeit
- Anschleudern des Mörtels an die Rohrwand unter gleichmäßigem Vorschub der Schleudermaschine; dabei kann die Oberfläche geglättet werden
- Öffnen der Hausanschluss-Absperrarmaturen und Entfernen des in den Anschluss eingedrungenen Zementmörtels durch Absaugen oder Ausblasen.

Tab. 4.28: Zementmörtel-Schichtdicken bei maschineller Auskleidung (W 343 - 2005)

Material	Nennweite	Mindestschichtdicke	Schichtdickentoleranz
Guss-eisen	≥ 250	3,0	+ 1,5
	> 250 bis 900	5,0	+ 2,0
	> 900	6,0	+ 2,5
Stahl	≥ 150	3,0	+ 2,0
	> 150 bis 300	4,0	+ 2,5
	> 300 bis 600	5,0	+ 2,5
	> 600 bis 1000	6,0	+ 3,0
	> 1000 bis 1500	8,0	+3,0
	> 1500	10,0	+3,0

#### Ausführung von Enden und Übergängen

Die vorgegebene Schichtdicke der Zementmörtel-Auskleidung muss im sanierten Rohrleitungsabschnitt auch an den jeweiligen Rohrenden vorhanden sein. Die Oberfläche der Auskleidung kann hier aufgrund der Maschinenteknik bei Nennweiten bis DN 400 auf eine Länge bis 1,50 m geringfügig Riffelbildung aufweisen.

#### 4.9.1.4 Anforderungen an die eingesetzten Materialien und den Festmörtel

Die mit Trinkwasser in Berührung kommenden Stoffe müssen den dafür geltenden lebensmittelrechtlichen Bestimmungen entsprechen. Nach § 31 des Lebensmittel- und Bedarfsgegenständegesetzes dürfen keine Stoffe verwendet werden, die auf das Trinkwasser übergehen können, ausgenommen gesundheitlich, geruch-

lich und geschmacklich unbedenkliche Anteile, die technisch unvermeidbar sind.

Es sind **Zemente** nach DIN EN 197-1 oder DIN 116 zu verwenden. Die Zemente müssen für die Anwendungsbereiche XC1 (ständig nass – durch Karbonatisierung verursachte Metallkorrosion) und XM1 (mäßige Verschleißbeanspruchung) nach DIN EN 206-1 geeignet sein. Bei Sulfatangriff sind HS Zemente einzusetzen. Mit Sulfatangriff kann ab  $4 \text{ mol/m}^3 \text{ SO}_4^{2-}$  gerechnet werden. Die Zementart muss der jeweils festgestellten Wasserqualität (Wasseranalyse) angepasst sein.

Als Zuschlag darf nur gewaschener und feuergetrockneter Sand aus Naturvorkommen (Quarzsand), eingesetzt werden, der den Anforderungen nach DIN 4226-1 entspricht.

An die Kornzusammensetzung sind folgende Anforderungen zu stellen:

- Der Feinanteil mit einem Siebdurchgang durch ein Maschinensieb nach DIN 4188-1, mit einer Maschenweite von 0,125 mm darf höchstens 10 Massenprozent betragen. Das Größtkorn sollte 1 mm nicht überschreiten
- Bei großen Nennweiten ab DN 1000 wird auch ein Sand mit einem Größtkorn von 1,5 mm eingesetzt, um einen guten Schichtaufbau zu erhalten
- Bei der Verwendung von Trinkwasser als **Zugabewasser** sind alle Forderungen an die Wasserqualität erfüllt.

Grundsätzlich dürfen **keine Zusatzmittel oder Zusatzstoffe** verwendet werden. Ausnahmen stellen die Beschichtungen von Formstücken oder Reparaturstellen dar. Der Auftraggeber muss dem Einsatz solcher Stoffe zustimmen.

#### Anforderungen an Zement, Zuschlagstoffe und Zugabewasser

Die genannten Ausgangsstoffe müssen den lebensmittelrechtlichen Bestimmungen entsprechen:

Zement	DIN 1164
Zuschläge	Quarzsand nach DIN 4226, Körnung 0,125 bis 1 mm
Zugabewasser	Trinkwasser nach DIN 1045

Betonzusatzmittel dürfen grundsätzlich nicht verwendet werden.

Frischmörtel:

Wasserzementwert	maximal 0,35, bei Nennweiten < DN 150 maximal 0,4
Mischungsverhältnis	1 : 1 in Gewichtsanteilen
Ausbreitmaß	13 bis 17 cm nach DIN 18555, bei Nennweiten < DN 150 maximal 23 cm
Erhärtung	das beschichtete Rohr ist gegen Austrocknung und Frost zu schützen

Festmörtel:

Schichtdicke	siehe Tab. 4.28
--------------	-----------------



**Festigkeit**            Druckfestigkeit nach 28 Tagen:  
50 N/mm<sup>2</sup>  
Biegezugfestigkeit nach  
28 Tagen: 5 N/mm<sup>2</sup>

**Beschaffenheit der Auskleidung:**  
Vereinzelte Riefen oder Wellen zulässig  
bis DN 600 < 1 mm  
ab DN 600 < 1,5 mm

Vereinzelte Haarrisse bis zu einer Breite von 1,5 mm sind zulässig.

Glättung kann in Strecken mit Einbauten oder Unrundheiten nicht durchgeführt werden.

Die Anforderungen an den Festmörtel beziehen sich auf aus dem Frischmörtel hergestellte Probekörper. Die Mörtel müssen die Festigkeitsanforderungen gemäß Tab. 4.29 erfüllen.

Tab. 4.29: Mörtelfestigkeiten (W 343 - 2005)

Mindestfestigkeit nach 28 Tagen in N/mm <sup>2</sup>	
Druckfestigkeit	Biegezugfestigkeit
50	5

#### 4.9.1.5 Eignungsprüfung, Güteprüfung, Ausgangsstoffe

Die **Eignungsprüfung** dient dazu, festzustellen, ob die vorgesehenen Ausgangsstoffe Zement und Sand, in der vorgesehenen Zusammensetzung geeignet sind, unter Baustellenbedingungen zuverlässig zu Mörtel verarbeitet werden zu können

Die **Güteprüfung** dient dem Nachweis, dass der für den Einbau auf der Baustelle hergestellte Zementmörtel ebenfalls die Anforderungen erreicht.

Die **Ausgangsstoffe** Zement und Sand sind von güteüberwachten Herstellern zu beziehen, anderenfalls ist ein Nachweis durch eine anerkannte Prüfstelle zu erbringen.

Bei Verwendung von Trinkwasser als Zugabewasser ist keine Prüfung erforderlich.

Bestimmt werden:

- das Mischungsverhältnis und der Wasserzementwert
- das Ausbreitmaß
- die Druck- und Biegezugfestigkeit

Gemessen werden:

- die Schichtdicke durch Einstechmessung und zerstörungsfreie Messung

und beurteilt werden,

- die Beschaffenheit der Auskleidung sowie
- die Oberfläche und die
- die Rissbildung

Da sich die Rezeptur und die Ausgangsmaterialien während der Baumaßnahme nicht ändern, reicht eine Überprüfung der Druck- und Biegezugfestigkeit pro Sanierungsmaßnahme aus (Druck- bzw. Dichtheitsprüfung der ausgekleideten Rohrleitung).

Als Nachweis einer ordnungsgemäßen Bauausführung kann eine der folgenden Druck-, Dichtheitsprüfungen bzw. Wasserverlustdifferenzmessung vereinbart werden:

- Druckprüfung mit einem über dem Betriebsdruck liegenden Prüfdruck Diese Prüfung ist nur für Leitungsabschnitte ohne Anschlüsse geeignet.
- Dichtheitsprüfung mit Betriebsdruck.  
Dabei muss sichergestellt sein, dass bereits die nicht ausgekleidete Rohrleitung dem Betriebsdruck standhält und dicht ist. Diese Prüfung ist nur für Leitungsabschnitte ohne Anschlüsse geeignet.
- Wasserverlustdifferenzmessung mit Betriebsdruck über eine Dauer von einer Stunde. Die Mengenerfassung sollte mindestens mit einer Zählergenauigkeit (Anlauf) von 1 Liter pro Stunde, z.B. mittels Ringkolbenzähler, erfolgen. Dabei ist mindestens die Dichtheit, die vor Sanierung der Leitung bestand bei gleichen Systembedingungen nachzuweisen.

Die Art der Prüfung und ihr Ergebnis sind zu dokumentieren. Nach erfolgter Netzeinbindung ist an den freiliegenden Rohrleitungsteilen eine Sichtprüfung mit Betriebsdruck durchzuführen.

#### 4.9.1.6 Beschaffenheit der Auskleidung

Die erhärtete Zementmörtelauskleidung muss durchgehend aufgebracht sein. Vereinzelt auftretende Riefen oder Wellen dürfen bei Rohrleitungen < DN 600 nicht größer als 1 mm, bei Rohrleitungen > DN 600 nicht größer als 1,5 mm sein. Unrundheiten in den Rohrleitungen oder Abweichungen der Achsrichtung von der Geraden können zur Überschreitung der vorgenannten Werte führen.

Haarrisse treten durch das Schwinden der Auskleidung auf und sind nicht zu vermeiden. Vereinzelt vorliegende andere Risse sind bis zu einer Breite von 1,5 mm zulässig, da sich diese bei Wasserbeaufschlagung wieder reduzieren bzw. schließen. Die Risse dürfen die Stabilität des Gewölbes der Auskleidung nicht gefährden.

Eine Glättung der Zementmörtel-Auskleidung ist im Regelfall nicht erforderlich. Aus Gründen der hydraulischen Leistungsfähigkeit der Rohrleitung kann in Einzelfällen (z.B. bei Zubringerleitungen und Endleitungen) eine Glättung angebracht sein. Die Glätteinrichtungen dürfen die Mörtelschicht nicht aufreißen.

#### 4.9.1.7 Wiederinbetriebnahme

Die Rohrleitungen können frühestens 12 Stunden nach der Beschichtung mit den benachbarten Strecken verbunden und mit Wasser gefüllt werden. Die Spülung bzw. Desinfektion der Rohrleitung sollte erst nach 24 Stunden erfolgen. Die Druckprüfung kann frühestens 48 Stunden nach der Auskleidung durchgeführt werden.

Nach der mikrobiologischen Freigabe und einer Spülung der Hausanschlussleitungen (W 291 [DVGW, 2000c]) kann die Rohrleitung in Betrieb und die Versorgung aufgenommen werden.

In Ausnahmefällen und mit Genehmigung des zuständigen Gesundheitsamtes können die Rohrleitungen gleich nach einer Spülung bzw. Desinfektion in Betrieb genommen werden.

#### 4.9.1.8 Schutzwirkung des Zementmörtels

**Zementmörtel** bildet idealen **Korrosionsschutz** mit einer passiven und aktiven Schutzwirkung

- *Passive Schutzwirkung*: mechanische Abschirmung des Rohrwerkstoffes durch die Mörtelschicht.
- *Aktive Schutzwirkung*: aufgrund der alkalischen Reaktion wird der Eisenwerkstoff in einen korrosionschemisch passiven Zustand versetzt, in dem auch bei freiem Zutritt von Wasser kein Korrosionsangriff stattfindet.

Beim Abbinden des Zementmörtels können kleine Schwundrisse entstehen, aber durch das Aufquellen unter Wasser setzen sich die Risse sofort zu und durch aussinterndes Calciumkarbonat wachsen diese Fehlstellen zusammen (Selbsteheilungseffekt siehe *Abb. 3.16*).

Auch bei weichen Wässern ist Zementmörtel durch den Einsatz von geeigneten Zementsorten sowie ggf. durch eine Nachbehandlung gemäß W 346 (z.B. CO<sub>2</sub>-Begasung) möglich.

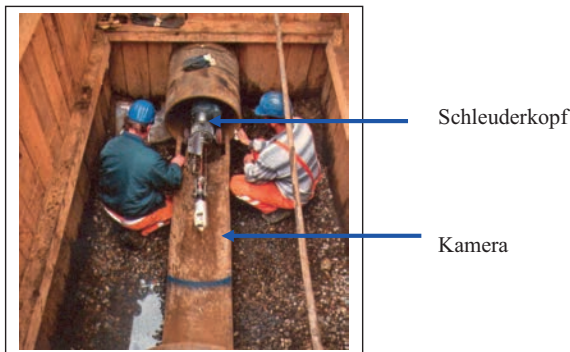


Abb. 4.59: Einsetzen der Ausschleudermaschine in die Rohrleitung

Aufgrund der aktiven Schutzwirkung und des **Selbsteheilungseffektes** ist bei der Zementmörtelauskleidung der Korrosionsschutz auch bei Fehlstellen gewährleistet, während bei anderen Beschichtungsmaterialien, z.B. Bitumen- oder Kunststoffbeschichtungen bei Fehlstellen der gesamte Korrosionsschutz in Frage gestellt ist.

#### 4.9.1.9 Einsatzbereiche der Zementmörtelauskleidung

Zementmörtelauskleidungen nach dem Arbeitsblatt W 343 sind bei folgenden Werten der Wasseranalyse einsetzbar:

- Die Kohlensäuresumme  $Q_c$  ( $\text{CO}_2 + \text{HCO}_3 + \text{CO}_3$ ) Wert muss größer sein als  $0,25 \text{ mol/m}^3$ .
- Der mit dem Marmorlöseversuch nach DIN 38404 Teil 10 „Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung“, Abschnitt 3.2, erhaltener Wert muss kleiner sein als  $0,7 \text{ mol/m}^3$  ( $\sim \text{ca. } 30 \text{ mg/l CO}_2$ ).
- Die Calciumkonzentration  $C_{\text{Ca}}$  muss mindestens  $0,02 \text{ mol/m}^3$  ( $\sim \text{ca. } 0,8 \text{ mg/l Ca}_2$ ) sein.
- Bei Transport kalklösender Wässer ( $\text{pH} < 7,8$  und Sättigungsindex  $< -0,3$ ) ist im Fall von Bauarbeiten an der Leitung durch geeignete Maßnahmen sicherzustellen, dass die Mörtelauskleidung auch nicht vorübergehend austrocknet.
- Wird einer der genannten Grenzwerte über- bzw. unterschritten, sind bei der nachträglichen Zementmörtelauskleidung die entsprechenden Vorgaben des DVGW-Arbeitsblattes W 346 zu beachten.

#### Rohrleitungen DN 80 bis 350

Bei kleinen Nennweiten (DN 80-DN 350) erfolgt die Beschichtung durch eine in Rohrmitte zentrierte, mit Druckluft angetriebene Anschleudermaschine. Diese werden über Seilzugwinden mit konstanter Geschwindigkeit rückwärts durch den zu sanierenden Abschnitt gezogen.

#### Rohrleitungen DN 400 bis 600

Rohre der Nennweiten DN 400 bis DN 600 werden mit elektrisch angetriebenen Maschinen ausgekleidet, wobei eine Nachglättung mit rotierenden Glättkellen möglich ist. Diese Maschinen werden entweder wie die mit Druckluft angetriebenen Anschleudermaschinen über Seilwinden gezogen oder fahren mit eigenem Fahrtrieb durch die Rohrleitung. Ab Nennweite DN 300 kann die Beschichtung kameraüberwacht durchgeführt werden.

#### Rohrleitungen ab DN 600

Rohrleitungen ab DN 600 werden mit elektrisch angetriebenen, selbstfahrenden Maschinen ausgekleidet, wobei ein Maschinenführer die Auskleidungsmaschine manuell bewacht und steuert. Eine Nachglättung mit rotierenden Glättkellen sowie eine Kameraüberwachung sind auch hierbei möglich.





Abb. 4.60: Zementmörtelauskleidungsmaschinen



#### 4.9.1.10 Kontrolle und Gütesicherung

Voraussetzung für eine qualitätsgerechte, umweltschonende Durchführung der Rohrsanierung ist eine Ausrüstung, die dem Stand der Technik sowie den geltenden Vorschriften hinsichtlich Sicherheit, Lärmschutz, Reinhaltung von Luft, Wasser und Boden entspricht.

Anfallendes kontaminiertes Material aus der Rohrreinigung (z.B. Bitumenreste) ist fachgerecht zu entsorgen.

Zuschlagstoffe und Zement sind vor Witterung zu schützen und hygienisch sauber zu lagern.

Die verfahrensbedingte Gütesicherung – zentrische Führung der Auskleidungsmaschinen, Geschwindigkeit des Schleuderkopfes und Zuggeschwindigkeit der Auskleidungsmaschinen, Fördermenge des Mörtels usw. sind zu kontrollieren.

Die durchgeführte Sanierungsmaßnahme ist zu dokumentieren und zu protokollieren (ausführendes Unternehmen, Datum, Ortslage, Länge, Nennweite, Rohrwerkstoff, Fachaufsicht). Die verfahrenstechnischen Parameter wie eingesetztes Material, Mischungsverhältnis, Zugabewasser usw. sind ebenfalls zu protokollieren.

Weiterhin sind die Prüfung der Ausgangsstoffe (Zement, Zuschlagstoffe, Zugabewasser) und die Ergebnisse (Mischung, Sandgehalt, Wassergehalt usw.) zu kontrollieren. Ebenfalls zu prüfen sind die Beschaffenheit der Auskleidung hinsichtlich der Oberflächenbeschaffenheit, Rissbildung usw..

Die Prüfung und Rückverfolgbarkeit der Verfahrensdurchführung sind entscheidend für das erreichte Ergebnis und die Dauerhaftigkeit der Sanierung.

#### 4.9.2 Gewebeschlauchrelining-Verfahren nach GW 327 für Gas- und Wasserrohrleitungen mit Verklebung des Inliners

##### 4.9.2.1 Merkmale des Verfahrens

Das ursprünglich für die Sanierung von Gasleitungen entwickelte Gewebeschlauch-Relining-Verfahren ist nach Weiterentwicklung auch für die Sanierung von Trinkwasserversorgungsleitungen zugelassen worden. Dafür wurde das Arbeitsblatt G 478 (A) grundlegend überarbeitet und der Druckbereich für Gas bis 30 bar erweitert sowie die Anwendung für Wasser berücksichtigt.

Seit März 2011 gelten:

- GW 327 (A) Auskleidung von Gas- und Wasserrohrleitungen mit einzuklebenden Gewebeschläuchen, Technische Regel, März 2011 und
- W 330 (P) Einklebende Gewebeschläuche für Wasserrohrleitungen, Technische Prüfgrundlage, März 2011

W 330 (P) berücksichtigt die besonderen Aspekte der Wasserversorgung (Unterdruckbeständigkeit, Mikrobiologie, Trinkwasserhygiene, Kennzeichnung) sowohl hinsichtlich der Gewebeschläuche und Klebstoffkomponenten als auch hinsichtlich des resultierenden Ver-

bundsystems aus Gewebeschlauch, Klebstoff und Altrrohrleitung.

Das Arbeitsblatt behandelt ausführlich die verfahrensspezifischen Aspekte der Auskleidung mit einzuklebenden Gewebeschläuchen.

Dazu zählen u.a.:

- Anwendungshinweise für den Planer (einschließlich detaillierter Voraussetzungen für die Erzielung einer gesicherten Weiternutzungsdauer von mindestens 50 Jahren insbesondere eine hinreichende statische Tragfestigkeit der Altrrohrleitung, da die Außenkorrosion weiter geht)
- Vorbereitung der Altrrohrleitung (einschließlich Reinigung und Inspektion), Vorbereitung von Gewebeschlauch und Klebstoff vor der Auskleidung (einschließlich Transport, Lagerung und Prüfung), Durchführung der Auskleidung (mit anschließender Prüfung und Inspektion)
- Randbedingungen (Anschlüsse, Abzweige, Netzeinbindung, Armaturen und Formstücke), Arbeitsmittel (einschließlich Prüf-, Mess- und Regeleinrichtungen), schriftliche Festlegungen für das Personal (einschließlich Anweisungen) und Abschlussdokumentation (einschließlich Musterprotokolle)

Das Arbeitsblatt liefert zugleich die Grundlage für die Zertifizierung von Unternehmen nach DVGW GW 302 (A) in der Zusatzgruppe R1.

Das Gewebeschlauchrelining-Verfahren wurde vorzugsweise für die Sanierung von Gasrohrleitungen eingesetzt.

Durch die Anwendung des Gewebeschlauchrelining-Verfahrens zur Sanierung von Trinkwasserleitungen ergibt sich für die Versorgungsbetriebe eine Reihe von Vorteilen:

- Abdichtung sämtlicher Leckagen im ausgekleideten Rohrabschnitt und somit Steigerung bzw. Wiederherstellung der Betriebssicherheit
- Wiederherstellung der erforderlichen Hygiene bei Trinkwasserleitungen
- vorbeugender Korrosionsschutz gegenüber Innenkorrosion
- vorbeugende Abdichtung gefährdeter Schweißnähte bei Stahlleitungen
- Abdichtung von Leckagen in Rohren an schwer zu erreichenden Stellen, an Kreuzungen, in ökologisch sensiblen Bereichen, auf felsigen Böden usw.
- Vermeidung von Zugangsrechten und keine Notwendigkeit zu Arbeiten unter beengten Bedingungen.

##### 4.9.2.2 Verfahrensbeschreibung

Das Verfahren ist ab DN 80 bei Sanierungslängen von 50 m (Verteilungsleitungen) und bis 500 m bei Transportleitungen einsetzbar, größere Sanierungslängen sind möglich.

Die Altrrohrleitung kann aus Gusseisen, Duktulgusseisen oder Stahl bestehen.

Tab. 4.30: Anwendungshinweise für einzuklebende Gewebeschläuche

	Gas		Wasser	
	Verteilung	Transport (nur St.)	Verteilung	Transport
Rohrwerkstoffe	Grauguss(GG), Duktulguss (GGG), Stahl (St)			
Gewebeschlauch mit Klebstoff	DIN 30658-1	DVGW VP 404	DVGW W 330 (P)	
Betriebsdrücke	Bis 4 (5 <sup>a)</sup> ) bar	bis 30 bar	bis 10 bar	bis 40 bar
Durchmesser	ab 80 mm	ab 200 mm	ab 80 mm	ab 200 mm
Streckenlängen	in der Regel von 50m (Verteilung) bis 500m (Transport), größere sind möglich			

<sup>a)</sup> Der Gewebeschlauch muss für einen Betriebsdruck bis 5 bar tauglich sein.

Voraussetzung für eine dauerhafte Verklebung des Inliners mit der zu sanierenden Rohrleitung ist eine Rohrwandung mit der höchst möglichen Sauberkeitsstufe (Wasserhöchstdruckreinigung von 2.000 bar).

Der nahtlos rundgewebte, hochfeste Gewebeinliner geringer Dicke und großer Flexibilität wird je nach Anwendungszweck mit einem aufextrudierten Kunststoff versehen. Der außerordentlich feste und kreisförmig ohne Netz gewebte Auskleidungsschlauch wird aus Polyestergeräten hergestellt, wobei die spezielle Webart der Garne eine Dehnung in Längsrichtung verhindert, aber eine radiale Dehnung ermöglicht wird. Dadurch können geringe Durchmesser-toleranzen der Rohrleitung ausgeglichen werden, und der Gewebeschlauch liegt an der Wandung an.

Jeder Schlauch wird herstellungsseitig einer Innendruckprüfung unterzogen. Die Dichtheit wird mittels Helium geprüft, so dass selbst geringe Undichtheiten festgestellt werden können (Dichtheitsprüfung).

Der Kleber wird auf der Baustelle in den Inliner eingebracht und das Schlauchende nach dem Einfüllen des Klebers verschlossen. Der Inliner wird mittels zweier Walzen in die Reversionsmaschine hineingezogen und dadurch auf der gesamten Innenseite gleichmäßig mit Kleber beschichtet. Danach wird das Ende des Inliners an einem Umkehrkopf befestigt und mit der Reversionsmaschine verbunden.

Der Inliner wird in das Altrrohr eingebracht und stülpt sich durch Druckluftzufuhr um – er wird im Rohr vorangetrieben und an die sauber gereinigte Rohrwandung gepresst.

Je nach Durchmesser, Länge und Streckenverlauf wird ein Druck von 0,5 bis 2 bar erzeugt und eine Vortriebsgeschwindigkeit des Inliners im Rohr von bis zu 5 m/min erreicht. Nach Erreichen der Sanierungszielgrube wird das Schlauchende aufgefangen, der Inliner verschlossen und der Druck in diesem gehalten.

Bei kaltaushärtenden Klebern (z.B. Zweikomponentensystem auf Polyurethan-Basis) ist mit etwa 12 Stunden zu rechnen, bei warm-aushärtenden Klebern (z.B. Zweikomponenten-Epoxydharz-System-Warmklebern) sind durch Heißdampfzufuhr von ca. 105 °C geringere Aushärtungszeiten von etwa fünf Stunden erreichbar – allerdings schließt sich hier eine notwendige mehrstündige Abkühlphase des Liner-Kleber-Systems an.

#### 4.9.2.3 Materialien und Auskleidung

Gewebeschläuche und Klebstoffkomponenten müssen den Prüfgrundlagen entsprechen. In GW 327 werden dazu entsprechende Festlegungen getroffen.

Diese betreffen:

- den Gewebeschlauch (Wanddicke, Dichtheit, Dehnungsverhalten)
- den Klebstoff (Spezifikationen des Herstellers und Toleranzen, Viskosität des Klebstoffes bzw. der Klebstoffkomponenten, Viskosität bzw. Temperaturverlauf während der Reaktionszeit)
- den Schälwiderstand usw.
- die Auskleidung (Dehnung und Toleranzen)

Die Ergebnisse der durchgeführten Prüfungen sind zu protokollieren.

Das betrifft:

- den Schälwiderstand usw.
- den Schälversuch
- die Dichtheits- bzw. Druckprüfung bei Gasleitungen
- die Dichtheits- bzw. Druckprüfung bei Wasserleitungen.

Nach Durchführung der Arbeiten muss die lückenlose Dokumentation und Rückverfolgbarkeit gewährleistet sein. Die Ergebnisse der Dokumentation sind vom Auftragnehmer dem Auftraggeber zu übergeben und 10 Jahre aufzubewahren.

#### 4.9.2.4 Hausanschlüsse, Inbetriebnahme und Nachweise

Bestehende Hausanschlussleitungen werden in einem gesonderten Arbeitsgang von innen mit einem Heißdorn oder einer Fräsmaschine (Cutter) geöffnet.

Die Leitung kann unabhängig vom eingesetzten Kleber nach ca. zwei Tagen wieder in Betrieb genommen werden.

Folgende Nachweise gehören zur Sicherung einer qualitätsgerechten Sanierung:

- Wareneingangskontrolle Gewebeschlauch (Abmessungen, Dichtheit, Dehnverhalten, Berstdruck) und Kleber (Viskosität der Klebstoffkomponenten, Reaktionszeit),
- Prüfungsprotokolle (Schälwertermittlung, Anbohrversuch),
- Reinigungsverfahren nach Arbeitsanweisung,

- TV-Inspektion vor der Sanierung, Prozessüberwachung für warmhärtende System,
- Dokumentationen zur Sanierung, Dichtheitsnachweis).

Die Anwendung des Verfahrens setzt erfahrene Betriebe voraus.

Fehler bei der Sanierung können auftreten, wenn eine ungenügende Reinigung erfolgt, keine Kalibrierung des Rohres vorgenommen wird und dadurch der Inliner nicht anliegt, die Aushärtezeit nicht eingehalten wird, bei Minustemperaturen saniert wird, die Klebermenge nicht richtig bemessen wird.

#### 4.9.2.5 Verfahrensvarianten (SANFLEX, Process Phoenix, starline)

##### DAS SANFLEX-Verfahren

Das SANFLEX-Verfahren wurde speziell für die nachträgliche Innenabdichtung von Gasrohrleitungen entwickelt. Es findet auch bei der Sanierung von Wasser- und Industrierohrleitungen unterschiedlicher Art Anwendung.

##### Rohrreinigung und Kalibrierung

Voraussetzung für die Sanierung mit dem SANFLEX-Verfahren ist eine gründliche Reinigung der Rohrleitungen. Hierfür wird die Gasleitung außer Betrieb genommen und nach der Rohrtrennung und Entleerung mit Wasserhöchstdruck gereinigt. Dadurch werden Korrosionsprodukte, Ablagerungen und sonstige Verunreinigungen bei einem Wasserdruck von über 1.000 bar aus der Rohrleitung entfernt.

Bei einer vorhergehenden mechanischen Reinigung kann auch das Sandstrahlen zum gewünschten Reinigungsgrad führen. Eine metallisch saubere Oberfläche ist für eine fachgerechte Sanierung erforderlich, um eine einwandfreie Verklebung des Gewebes Schlauches mit der Rohrwandung zu gewährleisten.

Nach der Rohrreinigung wird die Rohrleitung kalibriert und mit einer Kamera befahren, um einerseits den kleinsten Innendurchmesser festzustellen und andererseits Hausanschlüsse, T-Stücke und andere Einbauten einzumessen.

##### Einbringen des Gewebes Schlauches

Der Gewebes Schlauch wird mit dem lösungsmittelfreien Zweikomponenten-EP-Harz mit der Innenwand der alten Rohrleitung verklebt.

Um eine gleichmäßige Verteilung des Klebers auf der Gesamtlänge des Schlauches zu erreichen, wird der gefüllte Schlauch durch parallel zu einander stehende Walzen gezogen und in einen so genannten Schlauchwender gerollt. Das Schlauchende wird über einen Stutzen am Ausgang des Schlauchwenders gestülpt und befestigt.

Im Umkrepelverfahren wird der Gewebes Schlauch mit der Kleberseite nach außen in die Rohrleitung eingebracht. Der Gewebes Schlauch bewegt sich mit einer definierten Geschwindigkeit durch das Rohr. Am anderen Ende der Rohrleitung angekommen, wird der Schlauch

in einem Fangkorb gesichert und der Anpressdruck wird erhöht.

Der Kleber härtet nachfolgend unter Druck aus. Die Aushärtezeit beträgt 12 Stunden, in der Praxis wird der Druck nach dem Einbau über Nacht gehalten. Hausanschlüsse können mittels Robotertechnik geöffnet werden, so dass eine Anbindung nicht in offener Bauweise erfolgen muss.

Während der Aushärtezeit erfolgt mit einem Druckschreiber die Überwachung und Protokollführung. Nach dem Aushärten wird die gesamte Strecke mit einer TV-Kamera befahren und abgenommen.

##### Der Gewebes Schlauch

Beim Gewebes Schlauch handelt es sich um einen nahtlos gewebten Inliner. Die Konstruktion des Schlauches ermöglicht eine Radialdehnung von über 10%, eine Längsdehnung wird weitgehend ausgeschlossen. Aufgrund der abgestimmten Wirkungsweisen von Schlauch und Kleber können bei schadhafte Rohrleitungen Rundbrüche problemlos überbrückt werden. Der vorhandene Rohrleitungsquerschnitt bleibt bei diesem Sanierungsverfahren erhalten.

Bei Trinkwasserleitungen ist die Innenseite des Gewebes Schlauches mit Polyäthylen (PE) beschichtet, dagegen wird der Schlauch für die Sanierung von Gasleitungen mit Polyurethan (PUR) beschichtet. Der Gewebes Schlauch ist für den Einsatz im Gasbereich beständig gegenüber Stadt- und Erdgas, Quell-, Odorierungs- und Konditionierungsmitteln.

Der Gewebes Schlauch bewirkt einen passiven Korrosionsschutz für die Rohrwandung und dichtet Muffen und sonstige kleinere Fehlstellen ab.

##### Das Process Phoenix-Verfahren

##### Verfahrensbeschreibung (Gasleitungen)

Bei diesem Verfahren werden die Gewebes Schlauch nach dem so genannten Umstülperverfahren in die gereinigte Rohrleitung eingebracht. Die zu sanierende Rohrleitung wird hierzu vom Gasnetz abgetrennt und im ersten Arbeitsgang mit metallischen Kratzern gereinigt. Je nach Verschmutzungsgrad erfolgt die Reinigung des Rohres mit einer Sandstrahlung und/oder durch eine Wasserhöchstdruckreinigung. Das bedeutet, dass bei einem Wasserdruck von ca. 2.000 bar die Inkrustierungen an der Rohrwandung gelöst und abtransportiert werden. Das belastete Wasser wird über Aktivkohlefilter geführt, die Verunreinigungen werden zurückgehalten und das Wasser im Kreislauf wieder eingesetzt. Reststoffe – meist Gefahrstoffe – werden fachgerecht entsorgt.

Danach erfolgen die Kamerainspektion der gereinigten Leitung, eine exakte Messung des Rohrwanddurchmessers (Kalibrieren) sowie eine Positionsbestimmung vorhandener Abgänge für das nachträgliche Öffnen derselben.

Der auf Länge zugeschnittene Gewebes Schlauch, der in seinem Durchmesser möglichst exakt dem Rohrwanddurchmesser entsprechen muss, wird mit einem Zweikomponentenklebstoff gefüllt und durch zwei Walzen zur



gleichmäßigen Verteilung des Klebstoffes auf die innenliegende Gewebeschicht geführt. Danach wird der so vorbehandelte Schlauch in der Reversionsmaschine aufgerollt und das Schlauchende an einem Umkehrkopf befestigt. Bei der Druckbeaufschlagung der Reversionskammer stülpt sich der Schlauch um und wird von der Startgrube aus in die zu sanierende Rohrleitung geführt.

Die fachgerecht mit Klebstoff beschichtete Gewebeschicht des Schlauches liegt jetzt außen und verklebt mit der gereinigten Rohrwand. Die Arbeitsdrücke beim Einführen des Schlauches liegen je nach Durchmesser zwischen 0,5 bis ca. 1,5 bar, die Schlauchvortriebsgeschwindigkeit von ca. 4 m/min wird mittels eines Halteseils kontrolliert und begrenzt.

Nach Erreichen der Zielbaugrube wird das Schlauchende aufgefangen, unter Druck gesetzt, an die Rohrwandung angepresst und vollflächig verklebt.

Während bei Kaltklebstoffen mit Aushärtezeiten von 12 Stunden zu rechnen ist, wird beim Process Phoenix Verfahren ein warmaushärtender Zweikomponenten-Klebstoff auf Epoxidharzbasis eingesetzt, der mit Unterstützung von Wasserdampf bei einer Temperatur von 105 °C den Aushärtvorgang beschleunigt (nur ca. 3 Stunden).

Durch die Verklebung des Gewebes Schlauches mit der Rohrwand wird der Schlauch mit der Gasleitung fixiert und ein Unterwandern vom Schlauchende der einzelnen Sanierungsstrecke bis zu einer undichten Stelle vermieden.

Die Gewebesläuche zur Sanierung von Gasleitungen bedürfen der Stützwirkung des ausgekleideten Rohres. Bei größeren Fehlstellen des Rohres können sie weder dem Außendruck des Erdreiches noch einem höheren Innendruck standhalten.

#### **Der Gewebeslauch**

Das Gewebe des Druckschlauches besteht aus einer nahtlosen, rundgewebten Textilhülle als Trägermaterial für die Beschichtung. Die Schläuche werden aus zähen Polyestergeräten und elastischen Nylongarnen gewebt. Polyestergeräten verhindern eine Ausdehnung in Längsrichtung, die Nylongarne ermöglichen eine Radialdehnung. Dadurch kann der Inliner an Unebenheiten im Rohr angepasst werden. Die geringe Schichtdicke des Schlauches und seine Flexibilität garantieren eine einwandfreie Installation des Schlauches in die zu sanierende Rohrleitung.

#### **Der Kleber**

Als Kleber wird ein zweikomponentiges, flüssiges, gefülltes Epoxidharz eingesetzt. Die reaktionsfähigen Epoxidgruppen des Harzes gehen mit den Härtern eine exotherme Vernetzungsreaktion (Polymerisation) ein, wobei das Klebersystem ohne Abspaltung von festen, flüssigen oder gasförmigen Stoffen aushärtet und dabei eine geringe Härteschrumpfung aufweist. Als Zusatzmittel sind Füllstoffe, Pigmente und Stabilisierungsmittel beigefügt.

Durch die Zugabe von Füllstoffen werden die Viskosität des Klebersystems und die Verarbeitungszeit (Topfzeit) erhöht. Die Pigmente dienen der Kolorierung der einzelnen Komponenten sowie des Gemisches. Durch unterschiedliche Farbgebung der Komponenten (Harz – weiß, Härter – rot) kann eine homogene Durchmischung (frei von Schlieren) visuell sicher kontrolliert werden. Ebenso wird bei einer TV-Kontrolle die Durchtränkung des Schlauchgewebes (weiß) mit dem Kleber (rot) in dieser Form überprüft.

Zur Verbesserung der Verarbeitungseigenschaften und zur Streckung des Klebersystems werden noch zusätzliche anorganische Stoffe beigemischt. Die Verarbeitungszeit (Topfzeit) des Klebersystems beträgt nur wenige Stunden, ist sehr stark temperaturabhängig und unterscheidet sich je nach Zusammensetzung.

#### **Verarbeitung und Auskleidung**

Die Anlieferung des Schlauches vom Hersteller erfolgt nach Baustellenmaßen für die benötigte Rohrlänge und mit einem Zuschlag. Dabei ist der Schlauch, aufgewickelt auf einer Metalltrommel, im reversierten Zustand, d.h. die Beschichtung des Schlauches befindet sich auf der Außenseite und wird beim Einbringen in das zu sanierende Rohr umgestülpt.

Die Komponenten des Epoxidharz-Klebers (Harz und Härter) werden in Behältern geliefert und im Verhältnis 1:1 gemischt. Die benötigte Harzmenge, die zu berechnen ist, hängt von der Schichtdicke des Gewebes, der Porosität des Altrohres, der Muffen oder anderen Hohlräumen sowie vom Durchmesser des Rohres ab. Nachdem die benötigte Menge Kleber in ein Schlauchende eingefüllt ist, erfolgt die Verteilung des Klebers mittels Walzen auf die gesamte Innenfläche des Liners.

Der Schlauch wird in die Reversionstrommel gerollt, die Trommel verschlossen und der Umkehrprozess mit Hilfe von Druckluft eingeleitet. Der Schlauch dreht die Innenseite nach außen, so dass sich die harzgetränkte Gewebeseite an die Rohrwand presst und mit dieser verklebt.

Die Sanierungsgeschwindigkeit beträgt etwa 2-4 m/min. und wird durch den Reversionsdruck sowie den Haltegurt gesteuert. Bögen bis 45° können ohne Faltenbildung problemlos durchfahren werden.

Der Druck im Schlauch dient sowohl dem Vortrieb als auch zum Anpressen des Schlauches an die Rohrwand. Die Aushärtungstemperatur liegt bei 105 °C und findet je nach Durchmesser und Länge der zu sanierenden Strecke über 2 bis 7 Stunden Anwendung. Danach wird die Kühlphase eingeleitet, in der das verklebte System auf unter 30 °C abzukühlen ist.

#### **Inbetriebnahme, Herstellen von Anschlüssen**

Nach dem Einzug des Inliners wird über eine Dichtheitsprüfung und Schälversuche die Rohrleitung zur Wiederverbindung freigegeben. Zuvor werden Hausanschlüsse mit einem Roboter von innen aufgebohrt und die Anschlüsse verbunden. Danach erfolgt die Wiederverbindung des gesamten Abschnitts. Nachträgliche Anschlüsse sind ohne Probleme zu installieren, da der

Inliner unter Druck aufgebohrt werden kann (Anbohr-sättel).

#### Vorbereitende Arbeiten

Die zu sanierende Rohrleitungstrasse wird 1 bis 2 Tage außer Betrieb genommen. Die Anwohner sind zu informieren und mit Ersatzgeräten für die Bereitstellung von Warmwasser zu versorgen. Da die Sanierung in der Regel außerhalb der Heizungszeit erfolgt, entfallen teure Umgangsleitungen zur Aufrechterhaltung von Gebäudeheizungen.

Start- und Zielbaugruben werden als Reinigungsbaugruben verwendet. Bei Längen über 250 m sind zusätzliche Reinigungsbaugruben notwendig. Rohreinbauten wie z.B. Wassertöpfe werden ebenfalls aus der Leitung entfernt.

#### Reinigung, TV-Inspektion/Kalibrierung

Nach der Grobreinigung von losen Feststoffen (Gastaub) erfolgt das mechanische Reinigen mit Kratzern, Blechen und Molchen. Festsitzende Verschmutzungen und Inkrustierungen werden mit dem Sandstrahl-Verfahren beseitigt (z.B. Wasserhöchstdruckfräsen – Vacu-jet).

Die zu sanierende Rohrleitung muss statisch tragfähig sein. Bei der Kalibrierung ist besonders auf Durchmesser-toleranzen zu achten, damit der Inliner „rohrge-recht“, auf den Innendurchmesser bezogen, konfektio-niert werden kann. Die Dehnung des Liners als Untermaß der Fertigung muss unbedingt eingehalten werden. Zu klein konfektionierte Inliner würden durch zu hohe Rückstellkräfte nach dem Inlinereinzug nicht an der zu sanierenden Rohrwand haften können und sich ablösen.

Dagegen führen zu groß dimensionierte Inliner zu nicht gewollten Falten am eingezogenen Gewebeschlauch.

Vor der Sanierung werden Kalibermessgeräte einge-setzt. TV-Kontrollen mit Videoaufzeichnung vor und nach der Sanierung des Rohres zeigen die Hindernis-freiheit im Rohr nach der Reinigung an bzw. dokumen-tieren, dass der Inliner falten- und blasenfrei eingeklebt wurde.

Wichtigste Voraussetzung für eine erfolgreiche Sanie-rung stellt die Reinigung der Rohre dar. Je nach Ver-schmutzungsgrad werden verschiedene Verfahren der Rohrreinigung nacheinander oder auch einzeln einge-setzt. Bei der so genannten Grobreinigung von losen Feststoffen (Gastaub) erfolgt das mechanische Reini-gen mit Kratzern, Blechen, Molchen. Festsitzende Ver-schmutzungen, Inkrustierungen werden mit dem Sand-strahl-Verfahren beseitigt (z.B. Wasserhöchstdruckfräsen – Vacu-jet).

#### Prüfungen (Dichtheitsprüfungen und Schälversu-che)

Die geringe Schichtdicke des Schlauches und seine Fle-xibilität garantieren eine einwandfreie Installation des Schlauches in die zu sanierende Rohrleitung. Die mit dem Inliner ausgekleidete Gasrohrleitung wird einer

Dichtheitsprüfung nach DVGW-Arbeitsblatt G 469 un-terzogen.

Schälversuche an gelinerten Rohren dienen dazu, Aus-sagen über die Haftung des Inliners am Rohr zu erhal-ten. Es sind Abzugsversuche, die über eine spezielle Vorrichtung erfolgen und den Soll/Ist-Vergleich zur Vorschrift zeigen. Eine Verklebung gilt als bestanden, wenn Werte  $\geq 10$  N/cm Abzugsinlinerstreifen erreicht wurden.

#### Qualitätssicherung

Folgende Nachweise gehören zu einer qualitätsgerech-ten Sanierung einer Rohrleitung:

- Wareneingangskontrolle des Gewebeschlauchs (Abmessungen, Dichtheit, Dehnverhalten, Berst-druck)
- Wareneingangskontrolle des Klebers (Viskosität der Klebstoffkomponenten, Reaktionszeit)
- Prüfprotokolle (Schälwertermittlung, Anbohrver-such, Reinigungsprotokolle mit TV-Befahrung)
- Prozessüberwachung mit Angaben zum Sanie-rungsverlauf bezüglich Druck, Temperatur und Zeit
- Dichtheitsnachweise

#### Das starline-Verfahren

Das **starline-Verfahren** wird sowohl für Trinkwasser-leitungen als auch für Gasleitungen in folgenden Vari-anten eingesetzt:

- starline 1000 (Trinkwasser-Versorgungsleitungen bis 10 bar Betriebsdruck)
- starline HPL-W (Trinkwasser-Transportleitungen über 10 bar Betriebsdruck)
- starline 200 (Gas-Hauanschlussleitungen bis 4 bar Betriebsdruck)
- starline 2000 (Gas-Versorgungs- und Transportlei-tungen bis 4 bar Betriebsdruck)
- starline HPL-G (Gas-Transportleitungen bis 30 bar Betriebsdruck)

Das Verfahren unterscheidet sich hinsichtlich verfahr-tenstechnischer Parameter wie des eingesetzten Kleb-stoffes, der Aushärtungszeit usw. vom Process-Phö-nix-Verfahren.

#### starline 1000 für Trinkwasser-Versorgungsleitungen bis 10 bar Betriebsdruck

Das ursprünglich für die Rehabilitation von Gasleitun-gen entwickelte Gewebeschlauchrelining kann auch für die Rehabilitation von Trinkwasserleitungen eingesetzt werden (siehe *Kap. 4.9.2 Gewebeschlauchrelining-Ver-fahren nach GW 327 für Gas- und Wasserrohrleitungen mit Verklebung des Inliners*).

Für das Gewebeschlauchrelining von Trinkwasserlei-tungen wird die trinkwasserhygienische Unbedenklich-keit in Bezug auf Physiologie und Mikrobiologie an-hand der heranzuziehenden KTW-Empfehlungen bzw. UBA-Leitlinie sowie des DVGW-Arbeitsblattes W 270 geprüft.

Nach Weiterentwicklung erfüllen die beim Gewebeschlauchrelining eingesetzten Materialien (fertiger Gewebeschlauch und Klebstoff) im Verbund (d.h. im verklebten Zustand) die erforderlichen trinkwasserhygienischen und mikrobiologischen Anforderungen.

Merkmal des Verfahrens ist die Verklebung des Gewebeschlauchs mit schadensbehafteten Trinkwasserrohrleitungen aus Grauguss, Stahl, Stahlbeton oder Asbestzement.

Voraussetzung für eine dauerhafte Verklebung des Gewebeschlauchs mit der zu sanierenden Rohrleitung ist eine gereinigte Rohrwandung. Das Verfahren ist für Trinkwasserleitungen im Durchmesserbereich DN 100 bis DN 1200 und Sanierungslängen von ca. 400-600 m einsetzbar, bei Nennweite DN 1000 sind maximal 250 m erreichbar.

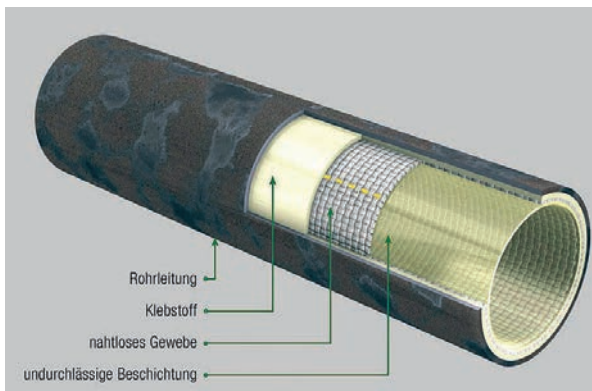


Abb. 4.61: Gewebeschlauch in einem Altrrohr Verbundsystem bestehend aus mit der Rohrwandung vollflächig und hinterwanddicht verklebtem Gewebeschlauch

Durch die Anwendung von Gewebeschlauchrelining zur Rehabilitation von Trinkwasserleitungen ergeben sich für den Leitungsbetreiber eine Reihe von Vorteilen wie:

- Abdichtung sämtlicher Leckagen im ausgekleideten Rohrabschnitt und somit Steigerung bzw. Wiederherstellung der Betriebssicherheit
- Wiederherstellung der erforderlichen Hygiene bei Trinkwasserleitungen
- vorbeugender Korrosionsschutz gegenüber Innenkorrosion
- vorbeugende Abdichtung gefährdeter Schweißnähte
- Abdichtung von Leckagen in Rohren an schwer zu erreichenden Stellen, an Kreuzungen, in ökologisch sensiblen Bereichen, auf felsigen Böden usw.
- keine Probleme mit Zugangsrechten und keine Notwendigkeit zu Arbeiten unter beengten Bedingungen
- Unterstützung für den Rohrnetzbetreiber bei der Einhaltung von Sicherheitsvorschriften
- kosteneffektives Verfahren zur Verringerung von Risiken und zur Verbesserung des Erhaltungszustands von Rohrleitungen.

Nach dem gegenwärtigen Stand der Technik wird das Gewebeschlauchrelining als ein bruchsicheres Rehabilitationsverfahren angesehen. Die vorhandene Rohrleitung wird dabei vollflächig und hinterwanderungsdicht durch einen alterungsbeständigen Gewebeschlauch mit einer Lebensdauer von 50 Jahren ausgekleidet.

#### Verfahrensbeschreibung

Voraussetzung für die Anwendung dieses Verfahrens ist ein guter Zustand der Altrrohrleitung, die dem erforderlichen Betriebsdruck noch standhält und eine ausreichende Restwanddicke besitzt. Zu beachten ist, dass bei Stahlleitungen die Korrosion von außen fortschreitet.

Es wird ein nahtlos rundgewebter, hochfester Gewebeschlauch mit einer zunächst außen liegenden, aufextrudierten Kunststoffbeschichtung mit einem Zweikomponenten-Klebstoff getränkt. Mittels Druckluft erfolgt dann die Reversion in die zu rehabilitierende Rohrleitung. Dabei wird die klebstoffbenetzte Seite des Gewebeschlauchs umgestülpt und vollflächig mit der zuvor gereinigten Rohrinneinnenseite verklebt.

Der außerordentlich feste und kreisförmig ohne Netz gewebte Auskleidungsschlauch wird aus Polyestergeräten hergestellt. Die spezielle Webart der Garne verhindert eine Dehnung in Längsrichtung, ermöglicht diese aber radial. Dadurch können übliche Durchmessertoleranzen der Rohrleitung ausgeglichen werden. Der Gewebeschlauch liegt nach der Reversion mit der Gewebeseite vollflächig und hinterwanderungsdicht an der Rohrwandung an, während die werkseitig aufextrudierte Kunststoffbeschichtung die neue medienseitige Kontaktfläche darstellt.

Der Klebstoff wird auf der Baustelle in den Gewebeschlauch eingebracht und nach dem Einfüllen des Schlauchs verschlossen. Danach wird er durch zwei Walzen in die Reversionsmaschine hineingezogen und die gesamte Innenseite gleichmäßig mit Klebstoff getränkt. Das Ende des Gewebeschlauchs wird an einem Umkehrkopf befestigt und mit der Reversionsmaschine verbunden.

Durch Druckluftzufuhr stülpt sich der Gewebeschlauch um, wird im Rohr vorangetrieben und an die Rohrwandung gepresst. Je nach Durchmesser, Länge und Streckenverlauf wird ein Druck von etwa 0,5 bis 2 bar aufgebracht und eine Vortriebsgeschwindigkeit des Gewebeschlauchs im Rohr von bis zu 6 m/min. erreicht.

Dabei ist es nennweitenabhängig möglich, eine oder auch mehrere Richtungsänderungen zu durchfahren. Während die Reversionsgeschwindigkeit zunächst durch den sich abwickelnden Gewebeschlauch selbst kontrolliert wird, erfolgt ab der Hälfte der Streckenlänge eine Kontrolle der Reversionsgeschwindigkeit mittels eines am Ende des Gewebeschlauchs befestigten und ebenfalls in der Reversionsmaschine befindlichen Rückhaltegurts.

Nach Erreichen der Zielgrube werden das Schlauchende in einem Fangkorb aufgefangen, der Gewebeschlauch in der Startbaugrube verschlossen und der Innendruck bis zur Aushärtung aufrechterhalten.



4. Sanierung und Erneuerung von Wasserversorgungsnetzen

Bei kaltaushärtenden Klebstoffen (z.B. Zweikomponentensystem auf Polyurethan-Basis) rechnet man bei Versorgungsleitungen mit etwa 12 Stunden, bei warmushärtenden Klebstoffen (z.B. Zweikomponenten-Epoxidharz-System) durch Heißdampfzufuhr von ca. 105 °C sind etwa 5 Stunden zu veranschlagen. Allerdings schließt sich hier eine notwendige mehrstündige Abkühlphase des Gewebeschlauch-Klebstoff-Systems an.

Unabhängig vom eingesetzten Klebstoff kann die Leitung in Abhängigkeit von der Streckenlänge und Randbedingungen in der Regel nach ein bis drei Tagen wieder in Betrieb genommen werden.

Bestehende betriebssichere Hausanschlussabgänge oder andere Abgänge werden vorher grabenlos von innen mittels Robotertechnik (Heizdorn bzw. Fräsmaschine/Cutter) geöffnet. Neue Anschlüsse können mittels Anbohrgerät hinterwanderungsdicht in konventioneller Bauweise angeschlossen werden.

Der gesamte Rehabilitationsablauf lässt sich stichpunktartig wie folgt darstellen:

- Herstellen von Start- und Zielbaugruben
- Außerbetriebnahme der Rehabilitationsstrecke
- Rohrreinigung mit anschließender TV-Inspektion
- Rehabilitationsvorgang mit Aushärteperiode und Dichtheitsnachweis
- Durchführung der Druckprüfung
- Anbindung von Hausanschlüssen mit TV-Cutter System und Inspektion
- Inbetriebnahme der Rehabilitationsstrecke
- Verfüllen der Baugruben und Wiederherstellung der Oberflächen.

Inzwischen steht für die Rehabilitation von Trinkwasser-Transportleitungen über 10 bar Betriebsdruck mit großen Durchmessern und Längen bis 600 m mittels Gewebeschlauchrelining eine Weiterentwicklung zur Verfügung. In Abhängigkeit der Festigkeit des Gewebematerials ist ein Betriebsdruck von bis zu 40 bar möglich.

Tab. 4.31: Einsatzbereiche und Voraussetzungen für die Verfahrensauswahl der Gewebeschlauchverfahrens starline für Gasleitungen (auszugsweise) Karl Weiss Technologie Berlin

Verfahren	Max. Betriebsdruck	Voraussetzung für Verfahrensanwendung	Werkstoff vorhanden DN Bereich	Mögliche Rehabilitationslänge
starline 200 Hausanschlussleitung (HAL)	4 bar	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Baugrube an Versorgungsleitung zwecks Einbindung im Haus</li> <li>• Zustandserfassung HAL und Lage Absperrventil</li> <li>• Statik des Rohrkörpers für die geplante Nutzungsdauer</li> <li>• Gereinigte Rohrleitung</li> </ul>	St, GG, GGG alle Hausanschluss-Nennweiten DN 20 bis DN 80	bis 60 m und mit bis zu fünf Richtungsänderungen (Bögen, Winkel)
starline 2000 Versorgungsleitung (VL) und Transportleitung (TL)	4 bar	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Start- und Zielbaugrube</li> <li>• Zustandserfassung der VL, Entfernung von Hindernissen</li> <li>• Statik des Rohrkörpers für die geplante Nutzungsdauer</li> <li>• Gereinigte Rohrleitung</li> </ul>	St, GG,GGG Kunststoff nach Einzelfallprüfung	DN 80 bis DN 600 mit Standardausrüstung bis zu 180 m; mit Hochdruckausrüstung bis zu 600 m
Wichtige Hinweise zu starline 200	Warmushärtung mit Außerbetriebnahmezeit der HAL ≤ 5 h; Durchgängige Rehabilitation bis in den Kellerraum; nachgewiesen Lebensdauer von 50 Jahren (Batelle-Institut); Überbrückung von Löchern und Spalten bis 50 mm; 2-Mann-Crew ausreichend			
Wichtige Hinweise zu starline 2000	Dimension bleibt erhalten; grabenloses Öffnen vorhandener HAL und Abgänge in VL ab DN 100, Dichtheit bei späterem Rohrbruch; Überbrückung von Löchern und Spalten; Zertifiziert nach DIN 30658-1; Richtungsänderungen möglich; Kaltaushärtung bei Umgebungstemperaturen ab 5 °C			

Tab. 4.32: Einsatzbereiche und Voraussetzungen für die Verfahrensauswahl der Gewebeschlauchverfahrens starline für Trinkwasserleitungen ( auszugsweise) Karl Weiss Technologie Berlin

Verfahren	Max. Betriebsdruck	Voraussetzung für Verfahrensanwendung	Werkstoff vorhanden DN Bereich	Mögliche Rehabilitationslänge
starline 1000 Versorgungsleitungen (L)	10 bar	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Start- und Zielgrube, ggf. Reinigungsgrube</li> <li>• Zustandserfassung der Versorgungsleitungen, Entfernung von Hindernissen</li> <li>• Statik des Rohrkörpers für die geplante Nutzungsdauer</li> <li>• Gereinigte und trockene Rohrleitung</li> <li>• Rehabilitation mit spezieller Ausrüstung für Trinkwasser</li> </ul>	St, GG, GGG, AZ *, PVC* *auf Anfrage	DN 80 bis DN 600 mit Standardausrüstung bis zu 180 m; mit Hochdruckausrüstung bis zu 600 m
Wichtige Hinweise	Dimension bleibt erhalten; keine Neukrustation, grabenloses Öffnen vorhandener HAL und Abgänge in VL ab DN 100; Dichtheit bei späterem Rohrbruch, Überbrückung von Löchern und Spalten, Kaltaushärtung bei Umgebungstemperaturen ab 5 °C; auch bei weichem Wasser einsetzbar; ggf. vorhandene PAK werden entfernt; Klebstoff und Gewebeschlauch nach KTW und DVGW W 270 geprüft			

Tab. 4.33: Verfahrensunterschiede Process-Phönix und starline

	Process-Phönix-Verfahren	starline-Verfahren
Herstellen der Start- und Zielgruben		
Außerbetriebnahme der Leitung (Sanierungsstrecke)		
Rohrreinigung/TV-Inspektion		
Sanierung und Aushärtungszeit und Dichtungsnachweis	Heißdampf und Druck 2 bis 3 Stunden  (wärmeaushärtender Klebstoff)	bei Außentemperatur unter Druck gehalten ca. 12 Stunden  (kaltaushärtender Klebstoff für Winter- und Sommereinstellung)
Drucktrommel	Aufnahme Inliner bis DN 1000, ca. 250 m	Aufnahme Inliner bis DN 600, ca. 100 m
Schlauchtrommel	kann nicht abgekoppelt werden,  Dauer der Sanierung 3–5 Stunden	kann abgekoppelt werden, gleichzeitig andere Sanierungsstrecke,  Dauer der Sanierung 8–12 Stunden
Klebstoff	Zur Aushärtung des Klebstoffs wird Dampf benötigt	Zur Aushärtung des Klebstoffs ist keine Wärmezufuhr notwendig
Einsatzbereich	DN 100 bis DN 1000	DN 100 bis DN 600



Abb. 4.62: Aufwickeln des klebstoffgefüllten Gewebeschlauchs in der Drucktrommel



Abb. 4.64: Reversionsvorgang mit mobiler Drucktrommel für Gewebeschläuche bis 600 m

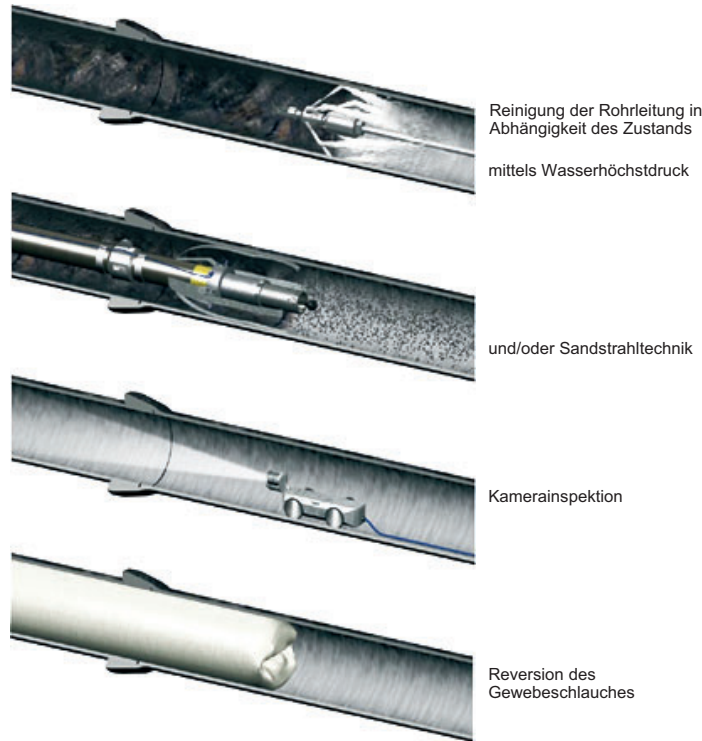


Abb. 4.63: Abkopplung der Drucktrommel nach erfolgreicher Installation



Abb. 4.65: Einbringen des Gewebeschlauches in Altrohrleitung

4. Sanierung und Erneuerung von Wasserversorgungsnetzen



Reinigung der Rohrleitung in Abhängigkeit des Zustands mittels Wasserhöchstdruck

und/oder Sandstrahltechnik

Kamerainspektion

Reversion des Gewebeslauches



Mobile Drucktrommel für den Trinkwasser-einsatz



Fräsroboter zum grabenlosen Öffnen vorhandener Abgänge



Reversion des Gewebeslauchs: Die Klebstoffbenetzte Innenseite des Gewebeslauchs wird druckunterstützt umgekrempelt und kommt mit der Rohrrinnenwand in Kontakt



Drucktrommel mit Reversions-ausrüstung



Rohrbruchsimulation im Rahmen der Quali-tätssicherung

Abb. 4.66: Verfahrensschritte des Gewebeslauchverfahrens

**BlueLine-Verfahren [Bärreis, 2013]**

Seit Kurzem wird im Ausland und in Deutschland ein weiteres Verfahren mit Gewebeslauch für die Sanierung von Trinkwasserleitungen angeboten – das Blue-Line-Verfahren.

Voraussetzung für die Anwendung dieses Verfahrens ist ein tragfähiges Altrrohr im Dimensionsbereich von DN 100 bis DN 1000.

Als Liner wird ein Verbundmaterial Glas/Filz mit Polyolefin-Beschichtung eingesetzt. Dieser wird vor Ort mit einem Zweikomponenten-Epoxidharz imprägniert, und in die zu sanierende Leitung eingebracht. Durch Wärmezufuhr mit Dampf oder Heißwasser erfolgt die Aushärtung. Die Wandstärke beträgt in Abhängigkeit von den statischen Anforderungen 5 bis 15 mm (max. Betriebsdruck 16 bar). Nach Aushärtung erfolgt die Rohr-



verbindung an die benachbarten Altrohre. Hausanschlüsse werden mit Anbohrschellen angeschlossen.

Als Verfahrensvarianten stehen zur Verfügung:

- das Blue-Liner Pull-in-Verfahren und
- die Blue-Liner-Inversion.

Beim erstgenannten Verfahren wird der Schlauch eingezogen und anschließend ausgehärtet bzw. mit Druckluft mittels einer Drucktrommel eingebracht. Beim Blue-Liner-Inversions-Verfahren erfolgt die Inversion mit Wasserdruck, wofür ein Gerüst mit dem Druckschlauch aufgebaut wird. Die Harze sollten zwischen 17 und 22 °C Eigentemperatur eingebaut werden.

#### 4.9.2.6 Prüfgrundlagen des Gewebeschlauch-Verfahrens bei Wasserrohrleitungen (auszugsweise aus W 330 (P))

##### Normative Verweisungen

Die o.g. Prüfgrundlage gilt für einzuklebende Gewebeschläuche (ohne weitere Zusatzmaterialien wie z.B. einem gesonderten Filz) mit einem höchsten zulässigen Bauteilbetriebsdruck (PMA) von 10 bar bzw. über 10 bar bis 40 bar zur nachträglichen Auskleidung von Wasserrohrleitungen mit entsprechenden höchsten Systembetriebsdrücken (MDP).

Da bei Trinkwasserleitungen die Wassergüte gewährleistet werden muss, sind insbesondere die nachfolgend genannten normativen Verweisungen zu beachten:

- DVGW GW 327 (A), Auskleidung von Gas- und Wasserrohrleitungen mit einzuklebenden Gewebeschläuchen
- DVGW W 270 (A), Vermehrung von Mikroorganismen auf Werkstoffen für den Trinkwasserbereich - Prüfung und Bewertung
- KTW-Empfehlung, Gesundheitliche Beurteilung von Kunststoffen und anderen nichtmetallischen Werkstoffen im Rahmen des Lebensmittel- und Bedarfsgegenständegesetzes für den Trinkwasserbereich, Teil 1.3.13 Gummi aus Natur- und Synthesekautschuk, Bundesgesundheitsblatt 28 (1985) 371-374
- KTW-Leitlinie, Empfehlung des Umweltbundesamtes, Leitlinie zur hygienischen Beurteilung von organischen Materialien im Kontakt mit Trinkwasser
- Beschichtungsleitlinie, Empfehlung des Umweltbundesamtes, Leitlinie zur hygienischen Beurteilung von organischen Beschichtungen im Kontakt mit Trinkwasser

##### Anforderungen

Die Gewebeschläuche und zugehörige Klebstoffe (Klebstoffkomponenten) müssen unter gleichbleibenden, nachvollziehbaren und dokumentierten Bedingungen hergestellt werden (Qualitätsmanagementsystem).

Für Rohrleitungen mit PMA = 10 bar gelten die Anforderungen nach DIN 30658-1, mit Ausnahme der Beständigkeit gegen Gaskondensat und Temperaturwech-

sel sowie Anforderungen im Zusammenhang mit Anschweißungen von Abgängen.

Für die Mikrobiologie und Trinkwasserhygiene bzw. Kennzeichnung gelten zusätzliche Anforderungen an die Abdichtung sämtlicher Leckagen im ausgekleideten Rohrabschnitt und somit:

- den Schälwiderstand usw.
- Schälwiderstand/Haftfestigkeit der Beschichtung auf dem Gewebe
- die Haftfestigkeit/der Schälwiderstand der Beschichtung beim Abziehen vom Gewebe in Umfangsrichtung muss für jedes Streckenelement von 5 mm mindestens 10 N/cm betragen. Bei der Auskleidung darf sich die Beschichtung nicht vom Gewebe lösen oder durch den Reversionsprozess beschädigt werden.
- Unterdruckbeständigkeit (Unterdruck darf, auch bei Auswinkelung oder Knickbruch, nicht zu Ablösungen der Auskleidung führen).

Für Rohrleitungen mit PMA von 10 bis 40 bar gelten weitere Anforderungen.

##### Mikrobiologie und Trinkwasserhygiene

Gewebeschauch und Klebstoff müssen die Anforderungen nach W 270 (A), Beschichtungsleitlinie sowie KTW-Leitlinie und KTW-Empfehlung in der entsprechenden Produktgruppe für Rohre (DN < 80 mm, 80 ≤ DN < 300 mm oder DN ≥ 300 mm) am Verbundsystem (Gewebeschauch mit Klebstoff auf Trägermaterial, d.h. je nach Prüfung Rohr oder Platte) erfüllen.

##### Kennzeichnung und Prüfungen

Die Kennzeichnung (u.U. mittels Aufkleber) der Gewebeschläuche erfolgt durch den Hersteller, die Kennzeichnung der Klebstoffgebilde erfolgt ebenfalls durch den Hersteller.

Der Gewebeschauch und der zugehöriger Klebstoff müssen gemeinsam baumustergeprüft werden. Die Prüfungen sind im Rahmen der Fremdüberwachung alle zwei Jahre zu wiederholen, sofern im Folgenden nichts anderes festgelegt ist. Fristen für die Fremdüberwachung der Mikrobiologie und Trinkwasserhygiene ergeben sich aus der Gültigkeit der entsprechenden Prüfzeugnisse, deren Aktualität im Rahmen der Fremdüberwachung zu bestätigen ist.

Prüfungen erfolgen in Abhängigkeit von der Druckstufe insbesondere hinsichtlich:

- Schweißungen und Scherbrüche
- Schälwiderstand/Haftfestigkeit der Beschichtung auf dem Gewebe
- Unterdruckbeständigkeit

##### Mikrobiologie und Trinkwasserhygiene

Die Prüfung erfolgt nach Beschichtungsleitlinie sowie KTW-Leitlinie und KTW-Empfehlung an einem Rohrprüfkörper (Dimension entsprechend der beantragten Produktgruppe) mit eingeklebtem Gewebeschauch, die Prüfung nach W 270 (A) an mit Gewebeschauch verklebten Prüfplatten.



Abb. 4.67: 1 Rollenwagen mit Gewebeschlauch, 2 Einbringen des Gewebeschlauches, 3 Gewebeschlauch in der Zielgrube

### 4.9.3 Rohrstrang-Relining mit Ringraum nach GW 320-1 (Erneuerung von Gas- und Wasserrohrleitungen durch Rohrreinzug oder Rohreinschub)

#### 4.9.3.1 Merkmale des Verfahrens

Bei diesem Verfahren verbleibt die Altrrohrleitung im Boden und es können Rohre aus PE, PE-X, Stahl oder Duktulguss eingezogen (Duktulgussrohre ggf. auch eingeschoben) werden.

Die Altrrohrleitung verliert ihre statisch tragende Funktion und dient als Montage bzw. Mantelrohr. Der Ringraum zwischen Neurohr und Altrrohr wird verdämmt.

Folgende Rohrmaterialien können eingesetzt werden:

- PE 80 und PE 100 nach GW 335-A2 (A) (Wasser und Gas),
- PE-Xa-Rohre nach GW 335-A3 (A) (Wasser und Gas)
- Duktulgussrohre nach DIN EN 545 sowie VP 545 (Wasser)
- Stahlrohre nach DIN EN 10224 und DIN 2460 (Wasser).

Der Innenzustand der Altrrohre muss so beschaffen sein, dass die einzuziehenden Rohre einen geeigneten Schutz gegen unzulässige Riefenbildung und Punktbelastung besitzen.

PE 80- und PE 100-Rohre sind vorzugsweise mit dem Heizelementstumpfschweißverfahren zu verbinden. Dagegen können PE-Xa-Rohre nur mittels Heizwendelmuffen verbunden werden, so dass für den Rohrreinzug Ringbündware einzusetzen ist.

Duktulgussrohre sind beim Einzug längskraft- und formschlüssig zu verbinden. Wird der Ringraum nicht verfüllt, müssen sie eine Zementmörtelumhüllung oder verstärkte PE-Umhüllung erhalten.

Stahlrohre sind nach GW 350 (A) zu verschweißen (ggf. Muffenverbindungen längskraft- und formschlüssig nach GW 368 (A)).

Der zur Verfüllung des Ringraumes (Dämmer) vorgesehene Trockenmörtel muss folgende Anforderungen erfüllen:

- Schrumpfung und Wasserentmischung (Sedimentation) nach Abbinden < 1 Vol.%

- Druckfestigkeit nach 28 Tagen mindestens  $1,0 \text{ N/mm}^2$

Der Zustand der Altrrohrleitungen ist nach folgenden Kriterien aufzunehmen und zu bewerten:

- Durchmesser und Werkstoff sowie Rohrverbindungen
- Rohrleitungsverlauf (Richtungsänderungen horizontal und vertikal)
- Abzweige und Anschlüsse
- Hochpunkte (Entlüftungen) und Tiefpunkte (ggf. Wassertöpfe bei Gasleitungen)
- Armaturen und Formstücke
- Überdeckungshöhen und Abstände zu parallel führenden bzw. querenden Leitungen
- Ablagerungen, Inkrustationen, Schweißwurzel-durchhänge, überstehende Kragen, hineinragende Schrauben, Stifte, Stutzen, Opferanoden usw.
- bei Gas zusätzlich: Teer, Quellmittel, Abdichtungsharze.

Ein wichtiges Kriterium für das Einziehen der Neurohre ist die Querschnittsfreiheit in der bestehenden Altrrohrleitung. Dafür müssen die Gleichmäßigkeit und die Sauberkeit der Auflagerung für die einzuziehenden Rohre gegeben sein.

Hindernisse sind zu beseitigen bzw. Reinigungsmaßnahmen durchzuführen, erforderlichenfalls durch Entfernung von Teilen der bestehenden Rohrleitung und je nach Bedarf mit Bürsten, Kratzern, Sandstrahlen oder Wasserhöchstdruck.

Durch die Maßnahmen an der bestehenden Rohrleitung bzw. durch deren weiteren Verbleib nach Abschluss dieser Maßnahmen dürfen keine Stoffe in einem Ausmaß freigesetzt werden, welche umweltschutzrechtlich von Belang sind.

Vor dem Einbringen der Leitung ist die Inspektion bei nichtbegehbaren Leitungen erforderlich, um Beschädigungen des Rohrstranges auszuschließen und die vorangegangene Reinigung zu kontrollieren.

Die Überprüfung des Rohrquerschnittes kann mit dem Kalibermessgerät oder dem Kalibermolch durchgeführt werden.

### 4.9.3.2 Rohrstrang-Relining mit PE-Rohren (PE 80, PE 100) bzw. PE-Xa-Rohren

Beim Rohrstrang-Relining wird ein flexibler Rohrstrang aus PE-Rohren (PE 80, PE 100 oder PE-Xa) in den zu sanierenden Leitungsabschnitt eingezogen. Die Altröhre können aus den Rohrwerkstoffen Grauguss, Duktulguss oder Stahl bestehen.

Dabei kann sowohl das Langrohr-Relining (Verschweißen außerhalb der Einbringgrube) als auch das Rohrstrang-Relining (Verschweißen in der Einbringgrube) zur Anwendung kommen.

Reicht das Platzangebot zum Aufstellen von Trommeln oder für das Auslegen des Rohrstranges nicht aus, können die Röhre auch taktweise in der Baugrube verschweißt und eingezogen werden. Die Baugrube muss dafür länger sein als die Einzelrohre. Eine aufwendige Rohrführung entfällt.

Dieses Verfahren wird vorwiegend eingesetzt bei:

- größeren Durchmessern und
- beengten Platzverhältnissen.

#### Einbau und Baugruben

Die Dimensionierung der Einbringgrube ist abhängig vom eingesetzten Verfahren. Beim Rohrstrangrelining wird außerhalb der Baugrube verschweißt, beim Langrohrrelining innerhalb der Baugrube. Dadurch ist beim Rohrstrangrelining die Länge der Baugrube von den Biegeradien der PE-Rohre sowie der Tiefenlage der zu rehabilitierenden Rohrleitung abhängig (Formel 4.6, Formel 4.7 und Abb. 4.69).

An der Zielbaugrube wird die Zugwinde aufgestellt. Der Platzbedarf richtet sich nach:

- der Zugeinrichtung,

- der Einbindung des eingezogenen Rohres,
- dem Freiraum für die visuelle Prüfung des eingezogenen Rohres auf Riefenfreiheit.

#### Die Einzugslänge ist abhängig von:

- den zulässigen Zugkräften (bzw. Schubkräften) nach Anhang A (unter Beachtung von Richtungsänderungen)
- der Leistung des Zugeräts (bzw. Schubgeräts)
- den zu entfernenden Teilen der bestehenden Rohrleitung
- dem vor Ort verfügbaren Platz bzw. der Anzahl und Größe der Baugruben.

Baugruben (Start-, Zwischen-, Zielgruben) müssen DIN 4124 genügen. Dabei sind Arbeitsmittel, deren Sicherung für zu übertragende Kräfte (Widerlager) und Arbeitsraum zu berücksichtigen für:

- den Aufbau einer eventuellen Ersatzversorgung
- die Abtrennung des zu erneuernden Abschnitts und die Hindernisbeseitigung bzw. die Reinigung
- die ggf. zu entfernende Teile der bestehenden Rohrleitung
- die einzuziehende Röhre und Verbindungen (einschließlich Ziehkopf usw.)
- das Montieren/Verbinden bzw. Ziehen (Schieben) dieser Röhre (mit Kontrolle der Biegeradien)
- den Einbau weiterer Rohrleitungsteile (Armaturen, Formstücke usw.)
- die Druckprüfung und Einbindung des neuen Rohrleitungsabschnitts
- ggf. Ringraumverfüllung.

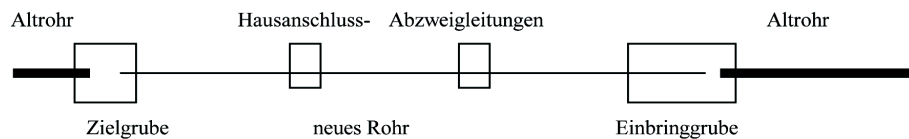


Abb. 4.68: Einziehabschnitte

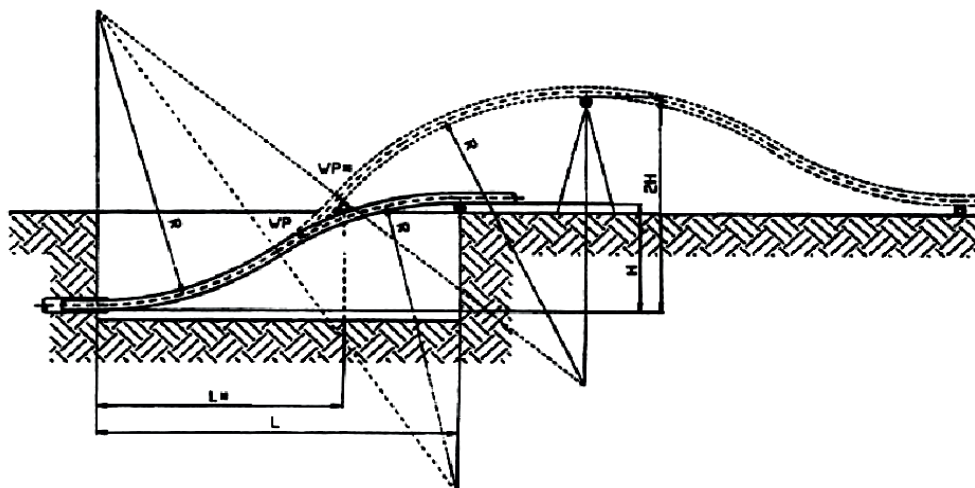


Abb. 4.69: Länge der Einbringgrube



Die Startgrubenlänge richtet sich bei einzeln (abwinkelungs-/biegefrei) einzuziehenden Rohren nach deren Länge (plus Arbeitsraum, beim Einziehen sind gewöhnlich zusätzliche 1,5 m erforderlich).

Die Länge der Einbringgrube wird nach *Formel 4.6* und *Formel 4.7* ermittelt.

$$L = \sqrt{H \cdot (4 \cdot R - H)} \quad [\text{m}] \quad (4.6)$$

- H Rohrsohlentiefe [m]  
R zulässiger Biegeradius [m]  
L Länge der Einbringbaugrube [m]

Bei kleinen Rohrdimensionen (bis DN 300) kann die Länge nach *Formel 4.6* reduziert werden.

$$L' = \sqrt{H \cdot (2 \cdot R - H)} \quad [\text{m}] \quad (4.7)$$

An der Zielbaugrube wird die Zugwinde aufgestellt. Der Platzbedarf richtet sich nach:

- der Zugeinrichtung,
- der Einbindung des eingezogenen Rohres,
- dem Freiraum für die visuelle Prüfung des eingezogenen Rohres auf Riefenfreiheit.

Gegebenenfalls sind zusätzliche Baugruben an Zwangspunkten erforderlich. Ebenso können Baugruben für Abzweige und Hausanschlussleitungen erforderlich werden.

#### Einbringvorgang und Ringraumverfüllung

Das Einziehen der Rohre erfolgt mit Winden, wobei insbesondere die Unfallverhütungsvorschriften zu beachten sind.

Der Zugkopf wird am ersten Rohr befestigt; welcher gleichzeitig das Eindringen von Verschmutzungen verhindert. Weiterhin ist zu beachten, dass das einzuziehende Rohr beim Übergang in die Baugrube und in das alte Rohr nicht beschädigt wird - dafür sind Schutzvorrichtungen vorzusehen.

Verschweißte Rohre können erst nach Ablauf der Abkühlzeiten der Schweißverbindung in das Altrohr eingebracht werden.

Der Ringraum zwischen dem Altrohr und dem neuen Rohr kann verfüllt werden oder offen bleiben.

Die Verfüllung kann erfolgen zur:

- Vermeidung unzulässiger Gasansammlungen in Hohlräumen (durch Permeation)
- Fixierung des Inliners
- Vermeidung von Bodenabsenkungen bei Versagen des alten Rohres
- Vermeidung von Drainagewirkungen im sonst freien Raum.

#### Ringraumverfüllung

Der beim Strangrelining und dem Langrohrrelining entstehende Ringraum zwischen dem Altrohr und dem eingezogenen PE-Rohr kann offen bleiben oder verfüllt werden.

Für die Verfüllung spricht jedoch, dass:

- die eingezogene Leitung eindeutig fixiert ist

- beide Rohre auch nach Jahrzehnten eine statische Einheit bilden
- sich mit verfülltem Ringraum bei einer Beschädigung des Altrohres keine gas- oder wassergefüllten Räume (Drainagewirkung) bilden.

Als Verfüllstoff hat sich ein hydraulisch abbindendes Material (Dämmer) bewährt. Dieses wie Wasser fließende Material wird unter geringem Druck vom Leitungstiefpunkt in den Ringraum eingebracht. Zuvor sind alle Öffnungen des Altrohres zu verschließen. An den Rohrenden sind Einfüllstutzen sowie Überlauf- und Entlüftungsrohre anzubringen. Der Einfülldruck ist auf den Zustand der alten Leitung und auf die Wanddicke (bzw. SDR-Verhältnis) der eingezogenen PE-Leitung abzustimmen. Dieses Einfüllmaterial hat eine Dichte von ca. 1,5 kg/l. Das PE-Rohr würde aufschwimmen und sich unter dem Rohrscheitel anlegen.

#### Anforderungen an die Fachunternehmen

Die mit der Ausführung beauftragten Unternehmen müssen die erforderliche Qualifikation nach GW 301 „Qualifikationskriterien für Rohrleitungsbaunternehmen“ sowie die Zusatzgruppen „R“ (Rehabilitation) und „GN“ (Grabenlose Neulegung) besitzen. PE-Schweißer müssen den Qualifikationsnachweis nach GW 330 „Schweißen von Rohren und Rohrleitungsteilen aus PE-HD für Gas- und Wasserleitungen; Lehr- und Prüfplan“ besitzen. Ebenso muss die Schweißüberwachung nach GW 331 durchgeführt werden.

#### Anforderungen an das Rohrmaterial und das Verfüllmaterial

Die PE-Rohre müssen den DVGW-Arbeitsblättern G 477 und GW 320 entsprechen. Übergangsstücke und Rohrverbinder müssen ebenfalls den DVGW-Prüfgrundlagen entsprechen.

#### Netzeinbindung, Abzweige, Anschlussleitungen

Die Netzeinbindung in das vorhandene Rohrnetz erfolgt mit Übergangsstutzen längskraftschlüssig. Bei dünnwandigen PE-Rohren ist zu beachten, dass der gesamte Inliner vom Schutzrohr (alte Leitung und Übergangsstücke) umgeben ist

Das freiliegende PE-Rohr ist sorgfältig zu unterstopfen, um Setzungen zu vermeiden. Abzweigungen und Anschlussleitungen werden mit Aufschweißformstücken hergestellt. Das Anbohren der Leitung erfolgt erst nach der Druckprüfung.

Für das Rohrstrang-Relining mit Ringraum enthält GW 320/I rohrmaterialabhängige Werte für die zulässigen Zugkräfte:

- zulässige Zugkräfte für PE 80/PE-Xa-Rohre
- zulässige Zugkräfte für PE 100-Rohre
- zulässige Zugkräfte (Schubkräfte) und Mindest-Biegeradien für Wasserleitungen aus Stahlrohren nach DIN 2460 mit ZM-Auskleidung
- zulässige Zugkräfte (Schubkräfte) und Mindest-Biegeradien für Gasleitungen aus Stahlrohren nach DIN 2460 mit ZM-Auskleidung

- zulässige Zugkräfte, Biegeradien und Abwinkelungen für längskraftschlüssige Stahlsteckmuffenrohre (Rohrlänge 6 m)
- zulässige Zugkräfte für Duktulgussrohre sowie Zulässige Einschubkräfte für Duktulgussrohre (Durchmesser und Werkstoff)

sowie Rohrverbindungen und

- Rohrleitungsverlauf (Richtungsänderungen horizontal und vertikal)
- Abzweige und Anschlüsse
- Hochpunkte (Entlüftungen) und Tiefpunkte (ggf. Wassertöpfe bei Gasleitungen)
- Armaturen und Formstücke
- Überdeckungshöhen und Abstände zu parallel führenden bzw. querenden Leitungen
- Ablagerungen, Inkrustationen, Schweißwurzel-durchhänge, überstehende Kragen, hineinragende Schrauben, Stifte, Stützen, Opferanoden usw.
- bei Gas zusätzlich: Teer, Quellmittel, Abdichtungsharze.

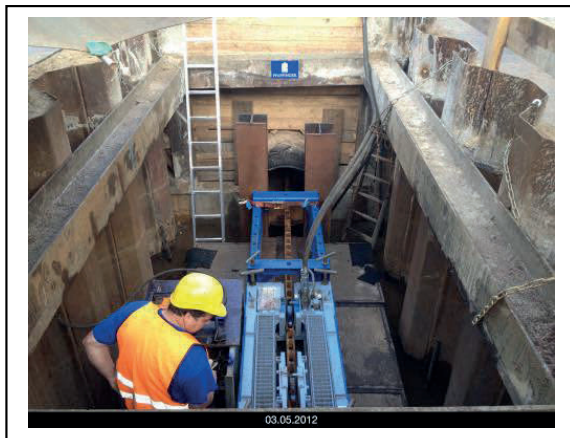
Ein wichtiges Kriterium für das Einziehen der Neurohre ist die Querschnittsfreiheit in der bestehenden Altrohrleitung. Dafür müssen die Gleichmäßigkeit und die Sauberkeit der Auflagerung für die einzuziehenden Rohre gegeben sein.

Hindernisse sind zu beseitigen bzw. Reinigungsmaßnahmen durchzuführen, erforderlichenfalls durch Entfernung von Teilen der bestehenden Rohrleitung und je nach Bedarf mit Bürsten, Kratzern, Sandstrahlen oder Wasserhöchstdruck.

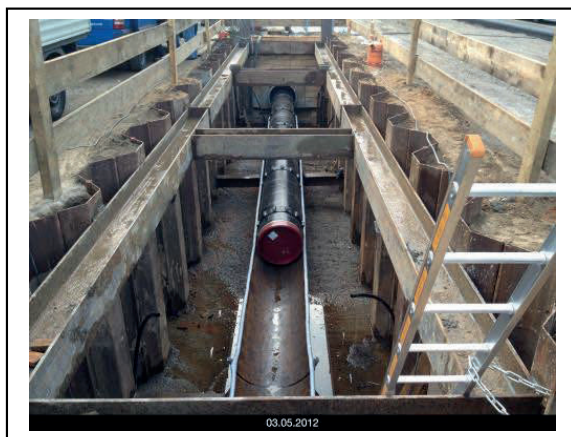
Durch die Maßnahmen an der bestehenden Rohrleitung bzw. durch deren weiteren Verbleib nach Abschluss dieser Maßnahmen dürfen keine Stoffe in einem Ausmaß freigesetzt werden, welche umweltschutzrechtlich von Belang sind.

Vor dem Einbringen der Leitung ist die Inspektion bei nichtbegehbaren Leitungen erforderlich, um Beschädigungen des Rohrstranges auszuschließen und die vorangegangene Reinigung zu kontrollieren.

Die Überprüfung des Rohrquerschnittes kann mit dem Kalibermessgerät oder dem Kalibermolch durchgeführt werden.



Einbau der Kunststoffrohrleitung mit Grundoburst-Maschine von TRACTOTECHNIK



Lagerung der Kunststoffrohrleitung in einer Führungsrinne



Schweissarbeiten

Abb. 4.70: PE-Relining DN 800 – Berlin Karl-Marx-Allee



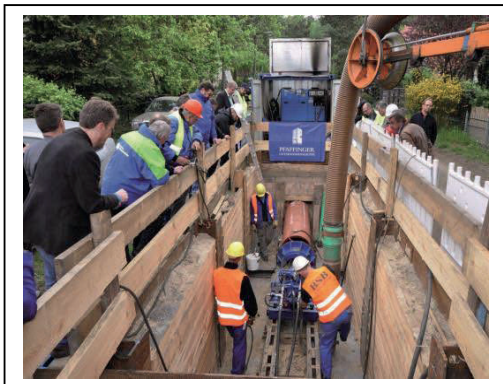
4. Sanierung und Erneuerung von Wasserversorgungsnetzen



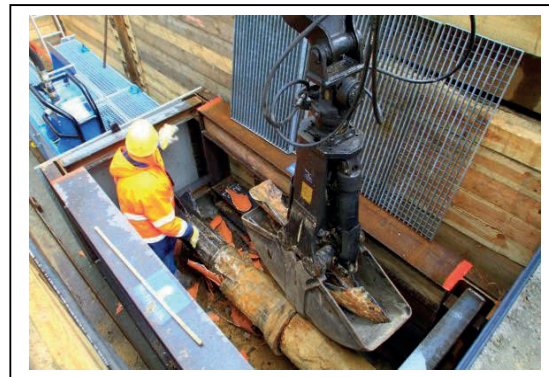
Grundoburst 2500 mit Versatzrahmen



Einbau des des ersten Rohres



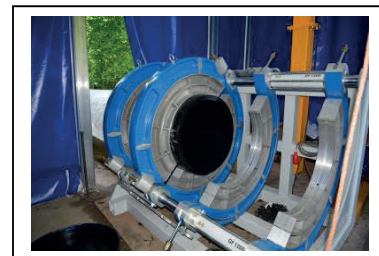
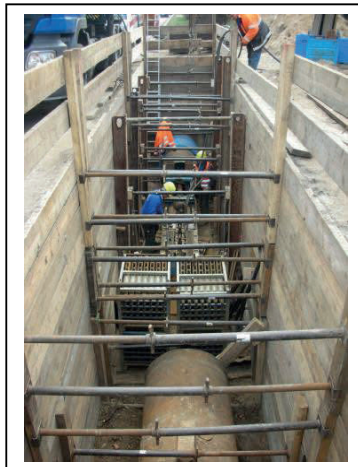
Start-bzw. Montagegrube



Berstdorn und Entnahme der geborstenen Altröhre



Rohreinzug PE DN 800 in St DN 1000



Schweißvorrichtung

Abb. 4.71: Relining PE DN 800 in Altrhr St DN 1000





Abb. 4.72: Relining – Berlin Hauptstraße

#### 4.9.3.3 Relining mit Stahl- und duktilen Gussrohren

##### Verfahrensbeschreibung

Aufgrund des rückläufigen Wasserverbrauchs (Haushalt und Gewerbe sowie wassersparende Technologien der Industrie) treten in vielen Rohrnetzen, besonders in großdimensionierten Leitungen geringere Fließgeschwindigkeiten auf, so dass eine Reduzierung der Durchmesser (etwa ab DN 300) um eine oder zwei Nennweitenstufen möglich ist.

Das Verfahren kann vorzugsweise in Haupt- oder Zubringerleitungen zur Anwendung kommen, da die verfahrensspezifischen Vorteile – große Einzugsängen ohne Zwischenbaugruben für Armaturen und Abzweige – bei diesen zum Tragen kommen.

Die außen gegen Korrosion und mechanische Beschädigung geschützten Stahl- oder Duktilguss-Rohre werden in die Altröhrlösungen aus Grauguss, Stahl, oder Asbestzement im Nennweitenbereich von DN 300 bis DN 1000 mit Hilfe von Winden eingezogen. Dabei ist der technische Zustand der Altröhre (Korrosionsschäden, Muffenundichtigkeit, Materialermüdung) von untergeordneter Bedeutung, da die neu eingezogene Leitung statisch ausreichend bemessen ist.

Die Linienführung der Altleitung mit den vorhandenen horizontalen und vertikalen Abwinklungen muss den Einzug von Stahl- und duktilen Gussrohren zulassen.

Für die an der Trasse liegenden Abnehmer ist kurzzeitig während der Bauzeit eine Ersatzversorgungsleitung vorzusehen.

Für jeden Leitungsabschnitt ist eine Einfädel- und Ziehbaugrube anzuordnen. Bei mehreren Leitungsabschnitten sind die Baugruben wechselweise vorzusehen. Die neue Rohrleitung wird von der Einfädelbaugrube zur Ziehbaugrube mittels Seil gezogen. Dazu müssen die Rohrverbindungen, bei Stahlrohren durch Stumpfschweißung, beim Duktilguss-Rohren durch Muffenverbindungen zugfest ausgebildet sein.

Folgende Rohrmaterialien haben sich für den Einzug bewährt:

- **Stahlrohre** nach DIN 2460 mit Zementmörtelauskleidung und verstärktem PE-Außenschutz mit Längsrippenstruktur. Die Rohrwanddicke sollte der von Rohren für die offene Verlegung entsprechen.
- **Duktilguss-Rohre** nach DIN EN 545 mit Zementmörtelauskleidung und PE-Außenbeschichtung mit zugfesten Muffenverbindungen werden eingesetzt: TYTON-SIT, NOVO-SIT, TKF, TIS-K, TKF-Z.

Die Nennweite der einzuziehenden Rohre muss beim Einsatz von Stahlrohren eine und bei Duktulguss-Rohren zwei DN-Stufen kleiner sein als die Nennweite des Altrohres.

### Vorbereitung und Baustelleneinrichtung

Die zu erneuernde Leitungsstrecke steht über die gesamte Bauzeit für die Versorgung nicht zur Verfügung. Die Abnehmer sind durch oberirdisch verlegte PE-Leitungen oder mit trinkwasserzugelassenen Schläuchen zu versorgen, in den Wintermonaten sind die Ersatzversorgungen vor Frost zu schützen.

Leitungseinbauten die nicht durchfahren werden können, wie Absperrklappen, Düker, Krümmerformstücke oder sonstige einengende Hindernisse sind vor dem Rohreinzug auszubauen.

Die Anordnung von Einfädel- und Ziehbaugruben kann in der Regel so erfolgen, dass der Verkehr an Haltestellen (Bus, Straßenbahn), Straßenkreuzungen und Ampeln nicht beeinträchtigt wird. Das gilt auch für Bäume, Geschäftseingänge, Hauszufahrten usw..

Die Länge der Einziehabschnitte wird durch die Technik der Rohreinigung und der Kamerainspektion bestimmt.

Es wurden bereits Einziehlängen von 360 m mit Duktulguss-Rohren und 420 m mit Stahlrohren problemlos bewältigt.

Die Baugrubenbreite ist von der Dimension der einzuziehenden Leitung abhängig, hierfür sind die Vorschriften der EN 805 zu Baugruben und Gräben zu beachten. Die Baugrubenlänge der Ziehgrube sollte ca. 3,5 m betragen, um die Seilführung mit den Umlenkrollen zu installieren. Als Baugrubenlänge der Einfädelgrube hat sich ein Maß von 1,5 m zuzüglich der einzufädelnden Einzelrohrängen als ausreichend erwiesen. Im innerstädtischen Bereich haben sich Stahlrohre mit 8 m Länge, bei Duktulguss-Rohren mit 6 m Länge bewährt. Damit ergeben sich Baugrubenlängen von 9,5 m für Stahl- und 7,5 m für Duktulguss-Rohre. Der Baugrubenverbau muss standfest sein (z.B. Stahlverbau mit Spunddielen oder -bohlen, möglichst ohne Spreizen mit kräftigen aussteifenden Rahmen), da in und an den Baugruben längere Zeit gearbeitet wird.

Nach Inbetriebnahme der Ersatzversorgung ist die zu erneuernde Leitung vom Netz zu trennen und zu entleeren. Aus den freigelegten Rohrstrecken der Altleitung sind in den Baugruben Rohrabschnitte herauszutrennen.

### Rohreinigung und Inspektion

Als Reinigungstechnik kann sowohl die mechanische Reinigung durch Kratzer und Gummischeiben als auch die Hochdruckwasserstrahlreinigung angewendet werden. Bei der mechanischen Reinigung wird in den Leitungsabschnitt zwischen Einfädelbaugrube und Ziehbaugrube zunächst ein Seil eingezogen. Mit Federkratzen und Gummischeiben werden Inkrustationen und Restwasser aus dem Altrohr beseitigt und das Inkrustationsmaterial entsprechend den Umweltauflagen entsorgt.

An den Reinheitsgrad der Innenoberfläche werden keine besonderen Anforderungen gestellt. Allerdings ist zu verhindern, dass sich beim Rohreinzug Inkrustationsmaterial in Form eines Stopfens als Hindernis vor dem Zugkopf aufbaut.

Die Streckenabschnitte sind anschließend mit Videokameras zu befahren, da auch bei sorgfältigster Leitungsbestandsführung nicht ausgeschlossen werden kann, dass unbekannte Hindernisse, wie Leitungsversprünge, Düker, eingeschlagene Holz- oder Stahlpinne oder eingebaute Rohre vorhanden sind, welche den Rohreinzug erschweren oder unmöglich machen. Für solche Befahrungen haben sich Kameraeinheiten bewährt, die eine farbige **Videoaufzeichnung** liefern und gleichzeitig die vorhandene Rohrneigung messen, die ermittelten Daten über das mitgeführte Kabel zum angeschlossenen Computer ins Messfahrzeug übertragen und protokollieren. Aus diesen kann vor Ort die Gradienten der vorhandenen Leitung dargestellt werden. Der Gradientenverlauf zeigt, ob der Freiraum für die einzuziehende Leitung auch bei vertikal abgewinkelten Muffen des Altrohres ausreicht, um den neuen Rohrstrang durchziehen zu können. Die Videoaufzeichnungen sollten zumindest bis zum erfolgreichen Abschluss der Baumaßnahme aufbewahrt werden.

### Rohreinzug Duktul-Gussrohre

Erlaubt die Netzstruktur eine Reduzierung der neuen Leitung um zwei Nennweiten, oder weist die Trasse der Altleitung lang gezogene Bögen, mit Abwinklungen in den Muffen auf, bieten sich Duktulguss-Rohre mit Steckmuffenverbindungen an.

Der Kopf des gezogenen Rohrstranges muss aus einem konischen Bauteil (z.B. Muffenreduktion MMR-Stück) bestehen, an dem das Zugseil angeschlagen wird. Die Öffnung des MMR-Stückes in Ziehrichtung ist zu verschließen, damit keine Restinkrustation ins neue Rohr gelangen kann. Der Rohrstrang ist mit dem Einsteckende voraus zu montieren. Er gleitet beim Einziehen auf den Muffenkanten.

Zum Schutz der Muffen und der Nachisolierung wird über die Muffe ein Blechkonus mit einer Wanddicke von ca. 0,75 mm, geschoben. Dieser reduziert die Reibung, so dass sich die Muffenverbindung durch die konische Ausbildung nicht in Muffenspalten bzw. Spitzendabständen von Überschiebern verklemmt.

Auf Abstandhalter wird bewusst verzichtet, da die Gefahr besteht, dass diese sich in Muffen oder Überschiebern der Altleitung festsetzen könnten. Die Punktlagerung auf den Muffen wird durch das Verfüllen des Ringraumes mit hydraulisch abbindendem Material (Dämmer) beseitigt.

Die Rohrverbindungen werden in der Baugrube hergestellt, nachisoliert und mit Blechkonen versehen. Mit Hilfe der Funkabstimmung mit dem Windenführer wird der Strang um eine Rohrlänge vorgezogen. Die Stranglänge wächst so taktweise, bis die Ziehgrube erreicht ist. Es wurden bereits Taktzeiten von 10 bis 20 Minuten je Rohr realisiert.

Mit dieser Technik wurden Duktulguss-Rohre von DN 150 bis DN 500 eingezogen. Dabei wurden

Stranglängen von 360 m erreicht, wobei auch größere Abschnittslängen bei gerader Linienführung möglich sind.

#### Rohreinzug Stahlrohre

Bei einigermaßen gerader Linienführung, und wenn ein möglichst großer Querschnitt erhalten bleiben soll, bietet sich der Einsatz von Stahlrohren an. Es werden Rohre mit Zementmörtelauskleidung mit einer verstärkten PE-Außenbeschichtung eingesetzt. Die Stumpfschweißnähte werden vorzugsweise mit Schrumpfschläuchen nachisoliert. Rohrlängen von 8 m Länge sind im innerstädtischen Bereich gut zu handhaben.

Vor das erste Rohr ist ein geschlossener Stahlkonus zu schweißen, an dem auch das Zugseil anzuschlagen ist. Jedes Rohr wird auf der Außenisolierung gleitend so weit ins Altrrohr gezogen, dass etwa 0,5 m in der Baugrube sichtbar verbleiben. Dann kann die Schweißverbindung mit dem folgenden Rohr hergestellt und nachisoliert werden. Dieser Vorgang wiederholt sich taktweise bis der Kopf des Stranges die Zielgrube erreicht hat. Zur Minderung der Gleitreibung wird jedes Rohr mit Schmierseife eingestrichen. Auch bei Stahlrohren wird auf Abstandhalter verzichtet, da sie an Kanten im Altrrohr hängen bleiben können.

Eingesetzt wurden bisher hochfrequenz-induktiv geschweißt Stahlrohre mit Längsnaht, PE-Beschichtung und zusätzlicher PE-Längsrippenumhüllung. Diese Umhüllung wurde ursprünglich für die Grabenverfüllung mit Steinen entwickelt. Nach dem Durchziehen wurden bisher keine Beschädigungen der PE-Beschichtung, die bis zur Stahlaußenwand reichen festgestellt. Da der Ziehkopf immer in die Baugrube hineingezogen wird, kann bei jedem Strang der am intensivsten beanspruchte Teil der Umhüllung beurteilt werden.

Es wurden bereits Stranglängen von 420 m (z.B. DN 400 in DN 600) eingezogen. Dabei sind Tagesleistungen von bis zu 11 Rohren (88 m) erreicht worden. Die Einziehleistung wird im Wesentlichen von der Schweißzeit bestimmt. Die hohe mechanische Beständigkeit der Umhüllung hat ihre Eignung für die Belastung beim Rohreinzugsverfahren bei mehr als 20 km eingezogenen Stahlrohren erwiesen.

#### Zugkräfte

Das Einziehen erfolgt mit Kabelzugwinden, welche mit Diagrammschreibern für Ziehkräfte und Ziehgeschwindigkeiten ausgerüstet sein sollten. Um Seile und Muffenverbindungen nicht zu überlasten, sind Maximalzugkraftbegrenzer vorzusehen. Die bisherige Erfahrung hat gezeigt, dass Winden mit Zugleistungen von max. 100 kN ausreichen.

#### Verfüllen des Ringraumes

Der Ringraum zwischen dem Altrrohr und dem eingezogenen Rohr sollte aus mehreren Gründen immer verfüllt werden.

Durch die Verfüllung

- wird die eingezogene Leitung eindeutig fixiert,

- bilden beide Rohre auch nach Jahrzehnten eine statische Einheit,
- können sich bei einer Beschädigung des Altrrohres keine gas- oder wassergefüllten Räume (Drainagewirkung) bilden,
- erhalten die auf den Muffen liegenden eingezogenen Duktulguss-Rohre nach dem Abbinden ein vollflächiges Auflager und
- bildet das System Altrrohr/Neurohr/Verfüllung gegen Baggerangriffe eine kompakte widerstandsfähige Einheit.

Als Verfüllstoff hat sich ein fließfähiges hydraulisch abbindendes Material (Dämmen) bewährt. Durch seine hohe Alkalität (um pH 12) wird ein zusätzlicher Korrosionsschutz gewährleistet. Das Einfüllen des wie Wasser fließenden Dämmers erfolgt zur sicheren Entlüftung gegen das Gefälle.

Die Ringraumenden der Einziehstrecke sind vor dem Einfüllen zu verschließen. Dabei ist der vom Verfüllmaterial und eventuell von der Fülleinrichtung aufgebrauchte Druck zu berücksichtigen. Der Druck ist auf den Zustand der Altleitung abzustimmen. An den Rohrenden sind Einfüllstutzen sowie Überlauf und Entlüftungsrohre anzubringen. Der eingezogene Leitungsstrang ist mit Wasser zu füllen, um ein Aufschwimmen im dämmergefüllten (ca. 1,5 kg/l-1,6 kg/l) Ringraum zu vermeiden.

#### Inbetriebnahme

Besteht die erneuerte Leitung aus mehreren Streckenabschnitten, sind in den Baugruben durch Einbau von Passstücken die Leitungsverbindungen herzustellen. Bei Bedarf können Dehner angeordnet werden.

Der Inbetriebnahmeablauf erfolgt mit folgenden Arbeitsschritten:

- Füllen der Leitung, in der Regel mit Zugabe von Desinfektionsmittel
- Druckprüfung
- Klarspülen bis keine Desinfektionsmittelreste mehr nachzuweisen sind
- Entnahme von bakteriologischen Proben
- Ansetzen der Proben und Auswerten nach vorgeschriebener Bebrütungszeit
- Inbetriebnahme durch Herstellen der Verbindungen zum Netz.

#### Herstellen von Abzweigen und Anschlüssen

**Abzweige** für Versorgungsleitungen oder Hausanschlüssen lassen sich mit Anschweißstutzen vor oder nach der Inbetriebnahme herstellen. Aus dem Altrrohr wird mittels Trennschleifer ein Fenster herausgeschnitten. Nach dem Abnehmen des Rohrschalenstückes lässt sich kontrollieren, ob der „Dämmen“ den Ringraum ausfüllt. Der „Dämmen“ wird im Fenster beseitigt und die PE-Beschichtung des neuen Rohres entfernt. Nach dem Anschweißen von Stutzen oder Muffen und der Montage von Schiebern bzw. Anbohrarmaturen können Abzweige hergestellt werden.



Das **Schweißen** an wassergefüllten Duktilguss-Rohren ist unter Einhaltung folgender Bedingungen zugelassen:

- Duktilguss-Rohrwanddicke > 6 mm
- Zementmörtelauskleidung zur Reduzierung des Wärmeabflusses
- kein Wasserdurchfluss während und unmittelbar nach der Schweißarbeit
- Beachten der Schweißvorschriften

Jede Schweißnaht ist durch Inaugenscheinnahme auf äußere Nahtfehler und mittels Farbeindringverfahren auf Risse zu prüfen.

Das beschriebene Verfahren birgt keine besonderen technischen Risiken und es werden keine hoch technischen Einrichtungen benötigt.

Der Kostenvergleich mit fiktiven konventionellen Leitungserneuerungen hat Einsparungen in der Höhe von 25 % bis 50 % aufgezeigt.

Die Höhe der Einsparungen ist abhängig von:

- der Länge der Einzugsstrecken
- der Dichte von Abzweigen und Hausanschlüssen
- der Wertigkeit (und damit der zugehörigen Kostengröße) nicht aufgebrochener Oberflächen
- der Erfahrung des Teams.

#### 4.9.3.4 Rohrstrang-Relining mit Verformung nach GW 320-2

##### Merkmale der sog. Close-fit-Verfahren

Unter Nutzung der alten Leitung als Trasse werden nach verschiedenen Verfahren PE-Rohre in schadensbehaftete Altröhre eingebracht nach dem:

- Verformungsverfahren (U-Liner bzw. C-Liner, Subline) oder dem
- Reduktionsverfahren (Rolldown, Swagelining)

Tab. 4.34: Merkmale der verschiedenen Reliningverfahren

Reliningverfahren	Erneuerung	Sanierung
Wasser ohne Rinraum (Close-fit): Verformungsverfahren	Wasserleitungen mind. nach PN 10	Wasserleitungen mind. nach PN 10
Reduktionsverfahren	Bemessung für Innendruck und Beuldruck	Bemessung für Innendruck und Beuldruck
Wasser mit verfülltem oder unverfülltem Ringraum: Strangrelining Langrohrrelining	Altrohr trägt nicht mit	Altrohr trägt mit

Dabei wird in Abhängigkeit vom gewählten Verfahren die Altleitung zum Bestandteil des neuen Rohrsystems oder dient ausschließlich als Mantelrohr ohne statische Aufgaben.

Es ist zu prüfen ob:

- die Trasse der zu erneuernden Leitung auch in Zukunft Bestand haben kann
- die neue Leitung im Durchmesser kleiner sein kann
- eine Ersatzversorgung verlegt werden kann oder
- die Arbeiten an einem Tag abgeschlossen werden können.

##### Reinigung, TV-Inspektionen und Kalibrierung

Die Reinigungsverfahren werden so ausgewählt, dass eine Beeinträchtigung der schadhafte Rohrleitung vermieden wird. Für das U-Liner-Verfahren ist eine mechanische Reinigung mit Kratzern und Bürsten vollkommen ausreichend. Sollten sich Teerablagerungen oder Quellmittel im Rohr befinden, so werden diese mit dem Wasserhöchstdruckverfahren entfernt.

Die Untersuchung der zu sanierenden Rohrleitung auf Hindernisfreiheit wird mit einer TV-Anlage ausgeführt. Deshalb wird vor und nach der Reinigung sowie nach der Sanierung der Rohrleitung eine TV-Befahrung durchgeführt. Im Ergebnis sind mögliche Hindernisse im Rohr zu dokumentieren.

Das Reinigungsergebnis wird durch eine TV-Inspektion kontrolliert und als Videoaufnahme aufgezeichnet und dokumentiert.

##### Anforderungen an das Altrohr

Das mit einem U-Liner zu sanierende Altrohr muss einen gleichbleibend freien Querschnitt aufweisen, d.h. starke Rohrversätze, Rohrdeformationen, aber auch Wassertöpfe und Netzarmaturen sind festzustellen und vor der Sanierung zu beseitigen bzw. auszubauen. Das Gleiche trifft für andere mögliche Sanierungshindernisse wie Schweißwurzel durchhänge und hineinragende Schrauben zu. Die Einbindung der sanierten Leitung in das Netz erfolgt mit Heizwendelschweißmuffen oder mit Flanschverbindungen, für die verschiedene Hersteller die entsprechenden Formteile anbieten.

##### Vorbereitung und Baustelleneinrichtung

Das U-Liner-Verfahren benötigt eine Start- und Zielbaugrube sowie Kopflöcher für Hausanschlüsse. In diesen Bereichen wird das Altrohr herausgetrennt und der U-Liner verbleibt nach der Rückverformung frei in der Baugrube, so dass die Formteile direkt auf- bzw. eingebunden werden können.

##### Verformungsverfahren (U-Liner, C-Liner, Subline)

Die kreisrund produzierten PE-Rohre werden durch Einbringen einer Längsfaltung (U-/C-Form) im Querschnitt reduziert (Querschnittsverringerung von ca. 30 %). Dadurch wird bei der Montage des U-/C-Liners erreicht, dass dieser mit bedeutend geringerer Reibung in die zu sanierende Leitung eingebracht werden kann und eine Überbeanspruchung des Kunststoffmaterials ausgeschlossen wird. Die Anlieferlängen und Außendurchmesser sind auf die Strangabschnitte und auf den tatsächlichen Altrohrinnendurchmesser abzustimmen.

Beim Einzug werden die Rohre (U-Liner bzw. C-Liner) von der Trommel bzw. vom Ringbund unter Beachtung der vorgeschriebenen Biegeradien abgewickelt. Um die PE-Rohroberfläche bei der Einführung in die alte Leitung vor Beschädigungen zu schützen, sind Rollen- oder Gleitblechführungen vorzusehen.

Nach dem Einzug werden die Enden des U-/C-Liners mit speziell dimensionierten Verschlussstücken versehen und die Leitung mit Dampf und Druck beschickt, so dass das U-Liner Rohr expandiert und seine ursprüngliche kreisrunde Form zurückgewinnt (Memoryeffekt). Durch das gewählte Verhältnis zwischen Außendurchmesser des U-/C-Liners zum Innendurchmesser des Mantelrohres liegt der Liner ohne Ringraum fest an (Close-fit).

Die Wärmebeaufschlagung erfolgt durch Wasserdampfzufuhr, wobei eine Temperatur von 130 °C nicht überschritten werden darf. Die Durchwärmung muss solange aufrechterhalten werden, bis an der Rohraußenseite an freiliegenden Rohrbereichen die verfahrensbedingten Temperaturen entsprechend der Installationsrichtlinien (Verfahrenshandbuch) erreicht werden.

Nach der Durchwärmung wird der Liner durch Druckluft in der Close-fit-Position stabilisiert und abgekühlt. Die Werkstoffeigenschaften des PE-HD Rohres bestimmen den Verfahrensablauf der Rückverformung.

Um eine sichere und vollständige Rückverformung zu erreichen, sind Druck und Wärmeeinbringung ausreichend lange vorzuhalten, zu kontrollieren und zu proto-

kollieren. Nach einer Phase der Abkühlung werden die Verschlussstücke demontiert und der Liner auf die gewünschte Länge geschnitten. Durch das gewählte Verhältnis des Inliners zum Innendurchmesser des Altrohres liegt der Liner fest an diesem an, wird er zu groß gewählt treten Sanierungsschäden ein.

Das U-/C-Liner Verfahren wird für die Sanierung von Rohrleitungen DN 100 bis DN 350 (500) eingesetzt. Längen des U-/C-Liners in Einzelabmessungen und Lieferaufmachungen/Rolle enthält Tab. 4.35. Einzugschwindigkeiten von 2 m/min sind ebenso möglich wie Einzugsängen von ca. 500 m in Abhängigkeit von der Rohrnenweite.

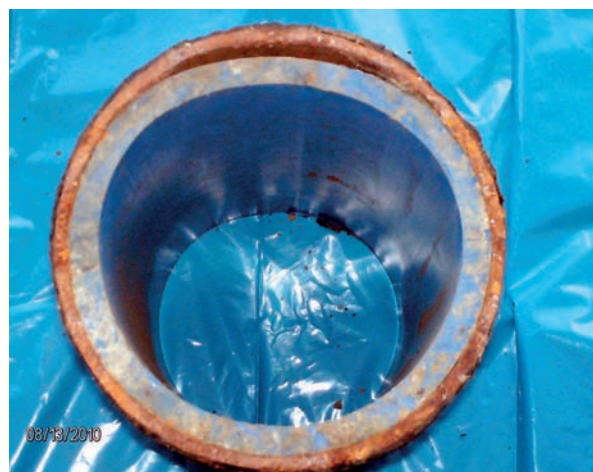


Abb. 4.73: Fehlerhafter C-Liner

Tab. 4.35: Abmessungen von U-/C-Liner-Rohrmaterial

DN (Rohr)	Abmessungen $d_a \times s$ SDR 17	Standard Lieferaufmachung (max. Länge auf Trommel) m
100	96 × 6,2	1635
125	123 × 7,6	875 PE 80/PN 6
150	142 × 9,5	605 PE 100/PN 10
200	190 × 12,7	445
200	190 × 12,3	445
250	240 × 15,6	252
300	293 × 18,2	212
350	345 × 20,2	107

$d_a$  Außendurchmesser;  $s$  Wandstärke

Tab. 4.36: Zulässige Biegeradien für U-Liner gemäß GW 320-2

DN	SDR			Mindestbiegeradius R (mm)
	17	17,6	26	
100	17	17,6	26	900
125	17	17,6	26	900
150	17	17,6	26	900
200	17	17,6	26	900
225	17	17,6	26	900
250	17	17,6	26	1050
300	17	17,6	26	1050
350	17	17,6	26	1050
400	17	17,6	26	1050

Tab. 4.37: Einsatzbereiche und Vorteile des PE-Rohr-Relinings

Rohrmaterial			Einsatzbereich	Vorteile
alt	neu			
Grauguss	PE 80 PE 100 PE-Xa	$d_a$ 63	im Bereich von Wohnwegen, Einkaufsstrassen, Baumpflanzungen,  Straßenmöblierungen, für Anschluss- und Versorgungsleitungen	Verringerung von Straßenaufbrüchen und Erdarbeiten gegenüber Neuerlegungen bei überpflanzten Trassen keine Beschädigungen der Wurzeln keine Behinderung durch Ampelanlagen, Laternen, Geschäftseingängen, Haltestellen, Einfahrten geringere Belästigung der Anlieger kurze Bauzeit Kostenreduzierung
	Stahl	PE 80 PE 100 PE-Xa		
AZ		PE 80 PE 100 PE-Xa	$d_a$ 400	

Die zu sanierende Leitung ist für ca. 2 Tage außer Betrieb. Die Versorgung der Anwohner muss in dieser Zeit über eine Ersatzversorgungsleitung gesichert werden.

Start- und Zielbaugruben (nach DIN 4124) für den U-Liner Einzug werden auch als Reinigungsbaugruben genutzt.

Die Arbeitsfläche für den U-Liner Einzug ist gering, da das PE-Material von der Rolle abgewickelt und über eine Winde eingezogen wird. Nach dem Einzug des U-Liners sind ein Heizaggregat und ein Kompressor im Einsatz. Der Maschinenpark ist transportabel und lässt sich in der Stellfläche den Örtlichkeiten anpassen, so dass mit geringen Verkehrseinschränkungen an der Baustelle zu rechnen ist.

Gasrohrleitungen können als U-Liner in PE-HD 80 und PE-HD 100 ohne Mitwirkung des umgebenden Altrohres bis zu einem Innendruck von 4 bar rehabilitiert werden. Die verfügbaren U-Liner Dimensionen mit den möglichen Wickellängen für Gasrohrleitungen sind Tab. 4.35 zu entnehmen.

Auf der Baustelle ist vor der Installation des U-Liners die Innenabmessung des Altrohres zu überprüfen. Dies kann durch einfaches Durchziehen eines Messkalibers (Länge mindestens 5 d) geschehen, oder durch ein Deformations- oder Kalibermessgerät mit auf den Durchmesser bezogenen Abmessungen ausgeführt werden.

Beim Subline-Rohrsanierungsverfahren sind z.Zt. Rohrdurchmesser bis 1600 mm sanierbar. Der Subliner wird als Rohrstrang mit runden Rohren verschweißt, im kalten Zustand auf der Baustelle in Herzform gefaltet und anschließend in die zu sanierende Rohrleitung eingezogen. Dieses Verfahren benötigt jedoch die Statik des Altrohres.

Das Subline-Rohr wird nach dem Einzug in die Rohrleitung mit Wasser gefüllt und mit Druck beaufschlagt. Bei 1 bis 2 bar reißen die Kunststoffbänder auf, und der Liner stellt sich in die runde Form auf.

Größere Nennweiten sind in ihrer maximalen Anwendungslänge durch die Anlieferung als Rohrbund begrenzt. So lässt sich die Nennweite DN 400 auf einer

max. Streckenlänge von 100 m in einem Stück einziehen und zurückverformen.

**Auskleiden des Altrohres, Inbetriebnahme und Herstellen von Anschlüssen**

Bei den Close-fit-Verfahren müssen die Hausanschlüsse auf den in das Altrohr eingebrachten Inliner aufgeschweißt werden. Dieses erfolgt in Abschnitten von vor der Sanierung ausgeführten Rohrtrennungen. Nachträglich notwendige Hausanschlüsse werden über sogenannte Fensterausschnitte, die mit Spezialvorrichtungen aus dem Altrohr herausgetrennt werden, hergestellt.



Abb. 4.74: Einziehen des U-Liners

**Reduktionsverfahren (Rolldown, Swagelining)**

Die Rohre werden auf der Baustelle durch kalibrierende Rollen oder durch ein Gesenk (engl. Swage) gezogen, wodurch der Durchmesser um ca. 10 % verringert wird (jedoch keine Reduzierung der hydraulischen Leistungsfähigkeit).

Der Reduzierungsvorgang kann mit oder ohne Wärmeunterstützung erfolgen. Die notwendige Zugkraft für



diese Vorgänge und für den Einzug ins Altrohr darf die zugelassene Materialspannung nicht überschreiten. Die Verformung geschieht im elastischen Bereich, wobei sich der Rohrstrang längt und die Wanddicke vergrößert.

Nach Erreichen der Zielbaugrube und anschließender Zugentlastung stellt sich das PE-Rohr zurück und liegt an der Innenwand des Altrohres an (Close-fit). Dieser Vorgang kann durch Einbringen von Wärme und/oder durch Aufbringen eines Innendruckes bis in Höhe des Prüfdruckes unterstützt werden.

Die maximale Länge der einziehbaren Abschnitte ist abhängig:

- von der horizontalen und vertikalen Linienführung der Trasse,
- von den maximal zulässigen Zugkräften, in Abhängigkeit von der Rohrwanddicke,
- vom PE-Material und von der Temperatur sowie
- von Einziehhindernissen des Altrohres wie Krümmer, Absperrarmaturen, Düker, u.a., wobei realistische Einziehgrößen durchaus bei 600 - 1.000 m pro Strang liegen können.

#### 4.9.4 Grabenlose Auswechselungen von Gas- und Wasserrohrleitungen mit Press-/Ziehverfahren und Hilfsrohrverfahren (GW 322-1 und GW 322-2)

##### 4.9.4.1 Verfahrensentwicklung aufgrund des Berliner Straßengesetzes

**Nach dem Berliner Straßengesetz müssen nicht mehr in Betrieb befindliche Rohrleitungen aus dem Boden entfernt werden. Außerdem darf nach der Baumschutzverordnung keine Aufgrabung im Baumbereich erfolgen. Deshalb werden seit Ende der 80er Jahre in Berlin Auswechselungen von Wasser- und Gasleitungen mit Entfernung des Altrohres in grabenloser Bauweise durchgeführt.**

Das bereits 1989 entwickelte grabenlose Press-/Ziehverfahren hydros® lässt die trassengleiche Rohrauswechslung in einem Arbeitsgang unter Einhaltung aller technischen Anforderungen an eine qualitätsgerechte Rohrverlegung zu. Das hydros®-Verfahren wird daher nicht nur in Berlin, sondern auch europaweit mit großem Erfolg zur trassengleichen, grabenlosen Auswechslung eingesetzt. In Berlin wurde ein weiteres grabenloses Auswechselverfahren durch die Berliner Wasserbetriebe – das Hilfsrohrverfahren – entwickelt.

Aufgrund der großen Erfahrung bei der grabenlosen Rohrauswechslung in Berlin entstanden für diese Verfahren die DVGW Arbeitsblätter GW 322-1 und GW 322-2.

##### 4.9.4.2 Verfahrensbeschreibung

Beim Press-Ziehverfahren zur trassengleichen Auswechslung von Druckrohrleitungen wird die auszuwechselnde Rohrleitung mit Hilfe von hydraulisch arbeitenden Zieheinheiten aus dem Erdreich entfernt.

Dabei wird die neu einzubringende Leitung im gleichen Arbeitsgang in die alte Rohrtrasse eingezogen. Dieses Verfahren besitzt mit dem DVGW-Arbeitsblatt GW 322-1 die Anerkennung als Stand der Technik und ermöglicht damit eine systematische Qualitätssicherung. Beim Einbringen des neuen Rohres wird das alte Rohr aus dem Boden entfernt.

Das Verfahren geeignet sich für die Auswechslung vorhandener Rohre aus Grauguss (GG), Duktulguss (GGG), Stahl (St) Faserzement (alte Bezeichnung AZ – Asbestzement) und Kunststoff.

Grundlage für die Entwicklung der grabenlosen Auswechslung von Rohrleitungen mit dem Press-/Ziehverfahren und dem Hilfsrohrverfahren war das Berliner Straßengesetz, nach dem nicht in Betrieb befindliche Rohrleitungen aus dem unterirdischen Bauraum zu entfernen sind.

Beide Verfahren kommen für die trassengleiche Auswechslung von Versorgungs- und Hauptleitungen zum Einsatz. Die Altrohre werden bei beiden Verfahren aus der vorhandenen Trasse entfernt, so dass keine Altrohre bzw. Bruchstücke des Altrohres im Boden verbleiben.

Beim Press-/Ziehverfahren bzw. Hilfsrohrverfahren erfolgt die Rohrauswechslung in einem oder in 2 Arbeitsgängen nach den DVGW Arbeitsblättern GW 322-1 und GW 322-2.

Folgende Vorteile kennzeichnen beide Verfahren:

- Verringerung von Straßenaufbrüchen und Erdarbeiten bis zu 80 %
- geringer Platzbedarf für die Baustelleneinrichtung
- Entfernung der Altrohre aus dem Boden, sodass eine Überbelegung des unterirdischen Bauraumes vermieden wird (Grundlage Berliner Straßengesetz, siehe oben)
- erschütterungsfreie und leise Arbeitsweise bei der Auswechslung
- Reduzierung der Beeinträchtigung des Verkehrs und der Bürger auf ein Minimum
- keine Schädigung von Straßenbäumen über der Rohrtrasse

##### 4.9.4.3 Press- und Ziehverfahren für Haupt- und Versorgungsleitungen nach GW 322

Das Press-Ziehverfahren ist geeignet für alle in der Gas- und Wasserversorgung zugelassenen Rohrmaterialien und Druckstufen.

Es eignet sich für die Auswechslung vorhandener Rohre aus Grauguss (GG), Duktulguss (GGG), Stahl (St), Faserzement (alte Bezeichnung AZ) und Kunststoff.

Der Durchmesser der neuen Rohre ist weitgehend unabhängig vom Durchmesser der auszutauschenden Rohre, bei kleineren neuen Rohren ist der Ringraum zu verdämmen.

4. Sanierung und Erneuerung von Wasserversorgungsnetzen

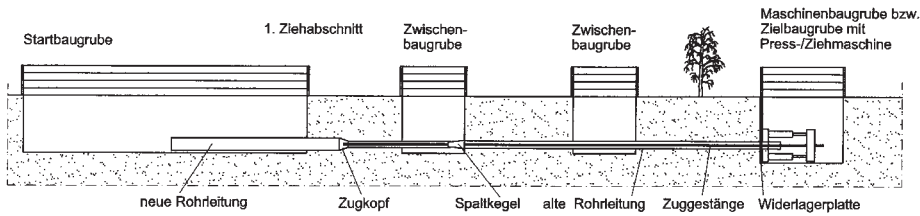


Abb. 4.75: Press-Ziehverfahren – Verfahrensschritte

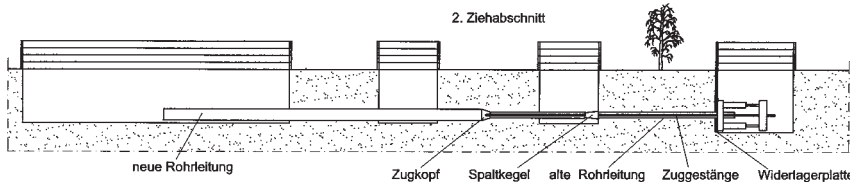


Abb. 4.76: Press-Ziehverfahren – Verfahrensschritte

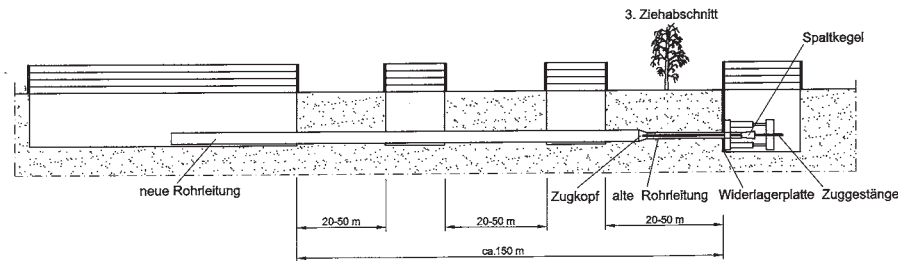


Abb. 4.77: Press-Ziehverfahren – Verfahrensschritte



Abb. 4.78: hydros®-Maschine der Firma Karl Weiss



Abb. 4.79: Maschine der Firma TRACTO-TECHNIK

**4.9.4.4 Anforderungen an die Fachunternehmen**

Die mit der Ausführung beauftragten Unternehmen müssen die erforderliche Qualifikation nach GW 301 „Qualifikationskriterien für Rohrleitungsbauunternehmen“ sowie die Zusatzgruppen „R“ (Rehabilitation) und „GN“ (Grabenlose Neulegung) besitzen.

Für die Bedienung der gerätetechnischen Ausrüstung ist geschultes Personal einzusetzen.

**4.9.4.5 Anforderungen an das Rohrmaterial**

Die eingesetzten Rohre müssen längskraftschlüssig sein bzw. zugfeste Verbindungen besitzen. Beim Einziehen dürfen die zulässigen Zugspannungen des Rohrmaterials und der Verbindungen nicht überschritten werden.

Der Außenschutz des Rohrmaterials, auch für zusätzliche Umhüllung bzw. Ummantelung ist zu gewährleisten. Zudem sind Biegeradien, Reibungskräfte und Baugrund zu berücksichtigen.

Die PE-Rohre müssen den DVGW-Arbeitsblättern G 477 und GW 320 entsprechen.

Für Zugkräfte und Mindestbiegeradien und Beulfestigkeit gelten weitere Festlegungen.

Sind Beschädigungen durch unzulässige Bodenverhältnisse auf der Rohraußenseite zu erwarten sind PE-Rohre mit zusätzlichem Außenschutz zu verwenden.

Stahlrohre sind nach DIN 2470 Teil 1 „Gasleitungen mit zulässigen Betriebsdrücken bis 16 bar; Anforderungen an Rohrleitungsteile“ bzw. Teil 2 für Betriebsdrücke > 16 bar einzusetzen. Als Außenschutz gegen mechanische Beschädigungen während des Einziehvorganges sind entsprechende Ummantelungen erforderlich (z.B. Zementmörtelummantelung).

Tab. 4.38: Zulässige Betriebsdrücke (bar) für PE-Reliningrohre (auszugsweise)

	Rohrreihen	PE 80	PE-Xa	PE 100
Gasverteilung	SDR 11	4	8	10
	SDR 17	1	-	4
	SDR 17,6	1	-	-

Für Gasleitungen sind Duktulgussrohre nach DIN EN 969 „Rohre, Formstücke und Zubehörteile aus duktilem Gusseisen und ihre Verbindungen für Gasleitungen; Anforderungen und Prüfverfahren“ einzusetzen. Als Außenschutz gegen mechanische Beschädigungen während des Einziehvorganges sind bei Duktulgussrohren entsprechende Ummantelungen erforderlich (z.B. Zementmörtelummantelung).

#### 4.9.4.6 Vorbereitende Arbeiten und Ausführung

##### Anforderungen an das vorhandene Altrrohr

Vor Beginn der Preß-Zieharbeiten sind alle erforderlichen Daten der Altrrohrleitung zur Leitungsbeschaffenheit und zu Hindernissen zu erfassen wie Rohrdurchmesser und Werkstoff, Nennweiten und Materialwechsel, Nennweitenwechsel, Richtungsänderungen, Überdeckungshöhe, horizontale und vertikale Rohretagen, Abzweige oder Anschlüsse, Wassertöpfe, Armaturen, Formstücke und Schellen.

##### Reinigung

Für die Durchführung des Verfahrens werden keine besonderen Anforderungen an die Reinigung der Altrrohrleitung gestellt, jedoch ist bei Gasleitungen zu prüfen ob kontaminierte Ablagerungen vorhanden sind (z.B. Verunreinigungen durch Teer aus der Zeit des Stadtgaseinsatzes, Quellmittel, Abdichtungsharze oder andere Dichtungsmittel durch Reparatur eingebracht). Diese sind fachgerecht zu entsorgen.

##### Anforderungen an das Verfahren

Das Press-/Ziehverfahren muss insbesondere folgende Anforderungen erfüllen:

- Vermeidung von dynamischen Energien durch eine erschütterungsfreie Betriebsweise, damit Schäden an benachbarten Bauwerken im Sinne von anderen Rohrleitungen und der Vegetation durch Abriss von Haarwurzeln verhindert werden

- restlose Entfernung des alten Rohres aus dem Boden
- Möglichkeit der Nennweitenänderung
- Anwendung in bindigen und nichtbindigen Bodenarten
- für die Auswechslung von Asbestzementrohren Anerkennung als standardisiertes Verfahren nach TRGS 519
- Ausschluss von Montagearbeiten unter Last in Baugruben (UVV).
- Kompensation von Abweichungen zwischen Rohr- und Maschinenachse durch hydraulischen Widerlagerausgleich (zur Sicherstellung der axialen Krafteinleitung der hohen Zugkräfte während des gesamten Ziehvorganges)
- Vermeidung von Wechselbelastungen des Widerlagers durch Vorspannung der Zugstangen (zur Vermeidung von Grundbrüchen)
- Zerstörung des Altrrohrmaterials während des Ziehvorganges durch vom Baugrubenrand aus bedienbare, mechanisierte Schneid- bzw. Knackvorrichtung (UVV)
- Messung und kontinuierliche Überwachung der auf den Neurohrstrang wirkenden Zugkraft zur Vermeidung der Überschreitung der zulässigen Belastung (Qualitätssicherung)
- vollflächige Übertragung der Zugkraft auf das Altrrohr; das neue Rohr darf nur durch Nachschleppkräfte belastet werden (Qualitätssicherung).

Der Rohrstrang darf beim Einbringen nicht überbeansprucht werden. Die zulässigen Zugkräfte sind abhängig von den Rohrwerkstoffen und in GW 322 festgelegt.

##### Baugruben

Für Baugruben gelten die Festlegungen der Vorschriften zu Baugruben und Gräben, Arbeitsraumbreiten und Verbau.

Die Dimensionierung der Einbringbaugrube ist vom eingesetzten Verfahren und Werkstoff abhängig (Stahl und Guss Rohrlänge + ca. 1,5 m, PE wie bei Rohrstrang-Relining – siehe Kap. 4.9.3 *Rohrstrang-Relining mit Ringraum nach GW 320-1 (Erneuerung von Gas- und Wasserrohrleitungen durch Rohreinzug oder Rohreinschub)*), die Abmessungen der Maschinenbaugrube sind abhängig von der Rohrziehanlage und bautechnischen Gegebenheiten. Für die Maschine ist ein entsprechendes Widerlager auszubilden.

Beim Rohrstrangrelining wird außerhalb der Baugrube verschweißt, beim Langrohrrelining innerhalb der Baugrube. Dadurch richtet sich beim Rohrstrangrelining die Länge der Baugrube nach den Biegeradien der PE-Rohre sowie nach der Tiefenlage der zu rehabilitierenden Rohrleitung (siehe *Formel 4.6, Formel 4.7 und Abb. 4.69* Länge der Einbringgrube).

Die Entfernung der Zwischenbaugruben ist abhängig von der Trennvorrichtung (z.B. Berstkegel) für das Altrrohrmaterial.



### Inspektion der Altrrohrleitung

Im Rahmen der Inspektion ist festzustellen, ob Hindernisse (unbekannte Abgänge, Formstücke usw.) oder kontaminierte Ablagerungen vorhanden sind, welche fachgerecht zu entsorgen sind. Die TV-Inspektion ist zu protokollieren.

### Maschinentechnische Ausrüstung

Die maschinentechnische Ausrüstung muss so gestaltet sein, dass alle prozesstechnischen Daten durch Prüf-, Mess- und Regeleinrichtungen gesteuert, überwacht und aufgezeichnet werden können

Die Fachfirmen müssen die Vorschriften für

- Sicherheit
- Lärmschutz und
- Reinhaltung von Luft, Boden und Wasser

erfüllen.

### Kontrolle auf der Baustelle

Die Kontrolle auf der Baustelle umfasst die

- Anlieferung und Lagerung des Rohrmaterials und die
- verfahrenstechnische Gütesicherung entsprechend den Rohrwerkstoffen, z.B. Schweißen von PE und Stahl oder Herstellung der Muffenverbindungen bei Duktulgussrohrleitungen sowie die nachträgliche Umhüllung der Rohrverbindungen

### Ringraumverfüllung und Netzanbindung

Bei Nennweitenverkleinerungen entsteht ein Ringraum, der durch geeignete Maßnahmen zu verfüllen ist. Die Auswahl des Verfüllmaterials ist abhängig von der Bodenart z.B. in bindigen Böden mit einer Wasser-Zementsuspension.

Die Verfüllung hat zum Ziel:

- Vermeidung unzulässiger Gasansammlungen in Hohlräumen (durch Permeation)
- Fixierung des Rohres
- Vermeidung von Bodenabsenkungen bei Versagen des alten Rohres
- Vermeidung von Drainagewirkungen im sonst freien Raum

Die Netzanbindung erfolgt in offener Bauweise an beliebiger Stelle (z.B. Anbohren für Hausanschlüsse).

### Dokumentation und Rückverfolgbarkeit

Jede Rohrauswechslung ist zu dokumentieren:

- Inspektionsprotokoll
- Baustellenprotokoll (ausführende Unternehmen, Ortsangabe, Werkstoffe, Einbaubedingungen wie Temperatur, Schub- und Zugkräfte usw.)
- Protokoll über Druckprüfung (Dichtheitsnachweis)

In Abstimmung mit dem Auftraggeber ist die Eigenüberwachung durchzuführen (Wareneingangskontrolle, Überwachung Schweißarbeiten usw.)

### 4.9.4.7 Press-/Ziehverfahren -hydros

#### Das hydros@PLUS Verfahren

Das hydros@PLUS-Verfahren wurde von der Karl Weiss GmbH & Co Berlin für die grabenlose Auswechslung von Versorgungsleitungen in der Trinkwasser- und Gasversorgung entwickelt. Es ist anwendbar von DN 80 bis DN 400 vorzugsweise bis 150 m Streckenlänge.

Folgender Verfahrensablauf wird angewendet:

- Erstellen der Maschinen- und Rohrbaugrube
- Einziehen des Zuggestänges
- Einbau der Rohrzieheinrichtung
- Verbinden des Alt- und Neurohrs mit Übergangsadapter (gegebenenfalls gleichzeitiges Aufweiten)
- hydraulisches Ziehen des Altrohres mit angekoppelem Neurohr in Rohrzieheinrichtung
- bei Rückhub zerstört der Spaltkegel das spröde Gussrohr

Vorteile des Verfahrens sind die geräuscharme und erschütterungsfreie Betriebsweise, eine wirtschaftliche Auswechslung von Rohrleitungen insbesondere im Fahrbahnbereich sowie ein Unterfahren von Hindernissen und Bäumen.

Das Verfahren eignet sich somit besonders für innerstädtische Bereiche mit hoher Leitungsdichte, Überbauung und Überpflanzung der Leitungstrassen, aufwendigen Konstruktionen von Straßendecken und hohem Verkehrsaufkommen.

#### Vorteile und Anforderungen an das hydros-Verfahren

Bei den hydros-Verfahren (**hydraulisches Rohrzug-** und **Spaltverfahren**) wird die auszuwechslende Rohrleitung mit Hilfe von hydraulisch arbeitenden Zieheinheiten aus dem Erdreich entfernt und die neu einzubringende Leitung im gleichen Arbeitsgang in die alte Rohrtrasse eingebracht.

Im Vergleich zur konventionellen offenen Bauweise ergeben sich hierbei folgende Vorteile:

- Verringerung von Straßenaufbrüchen und Erdarbeiten bis über 80 %
- Reduzierung der Beeinträchtigungen des Verkehrs und der Bürger auf ein absolut notwendiges Minimum
- Minimierung der Bewegung großer Bodenmassen für die Herstellung und Wiederverfüllung von Baugraben
- Minimierung der durch Maschinen hervorgerufenen Umweltbelastungen wie z.B. Lärm, Erschütterungen und Schadstoffe
- Verringerung der Unfallgefahren auf den Baustellen, da tiefe und sehr enge Baugraben zum größten Teil entfallen
- Verhinderung der Beschädigung von Wurzeln bei überpflanzten Leitungstrassen
- unter der Voraussetzung einer ordnungsgemäßen Entsorgung der Altröhre ist das hydros-Verfahren ohne strafrechtliches Risiko anwendbar

- stellt eine im Allgemeinen sehr wirtschaftliche Bauweise dar, besonders im innerstädtischen Bereich

Die Anforderungen an das hydros-Verfahren können wie folgt beschrieben werden:

- Möglichkeit der Nennweitenvergrößerung
- Anwendung in bindigen und nicht bindigen Böden
- geringes Gerätevolumen und Gewicht
- gute Bedienbarkeit aller Geräte
- geringer Platzbedarf für die Baustelleneinrichtung besonders im Hinblick auf den Einsatz im innerstädtischen Bereich
- restlose Entfernung des alten Rohres aus dem Boden im Interesse des Umweltschutzes werden kein Abfall oder totegelegte Leitungen im Boden belassen (damit wird das Berliner Straßengesetz erfüllt, nicht benötigte Rohrleitungen aus dem Erdreich zu entfernen und damit eine Überbelegung des unterirdischen Bauraums zu vermeiden)
- erschütterungsfreie Arbeitsweise bei der Auswechslung
- eine sehr leise Arbeitsweise, so dass auch in Wohngebieten oder in der Nähe von Krankenhäusern gearbeitet werden kann. Aufgrund einer Lärmemission von unter 55 dB (A) erhielt das hydros-Verfahren im Bundesland Berlin eine Ausnahmegenehmigung für einen 24-Stunden Betrieb.

#### **Auswechslung von Versorgungsleitungen im hydros-PLUS-Verfahren**

Das hydros®-PLUS Verfahren findet Anwendung bei der grabenlosen und trassengleichen Auswechslung von Versorgungsleitungen in den Nennweiten DN 100 bis DN 400. Hierzu werden eine Startbaugrube zur Einbringung der neuen Rohre und eine Maschinenbaugrube zur Aufnahme des Ziehgerätes hergestellt.

Nach dem Ausbau der alten Leitungen in der Start- und Maschinenbaugrube wird auf der Sohle der Startbaugrube eine Rohrführungsschiene zur Aufnahme der einzuziehenden Rohre eingebaut. In die auszuwechelnde Rohrleitung werden Zugstangen mit Grobgewinde, die über Kupplungsmuffen miteinander verbunden werden, eingeschoben. Das Zuggestänge wird im Übergangsadapter verankert, so dass die Zugkräfte bei dem Auswechslungsvorgang nur auf das alte Rohr wirken. Das neue Rohr wird zeitgleich mit dem Rohrausbau über ein weiteres im Übergangsadapter befestigtes Sicherungsgestänge und einer Sicherungsplatte hinterhergezogen. Somit werden die auf den neuen Rohrstrang wirkenden Kräfte minimiert, wodurch vorhandene Muffenverbindungen vor einem Auseinanderziehen geschützt werden. Bei einer Verwendung von zugfesten Rohrverbindungen (z.B. VRS) oder Schweißverbindungen wird auf den Einsatz des Sicherungsgestänges verzichtet, wodurch die Wirtschaftlichkeit des Verfahrens weiter erhöht wird. Der Übergangsadapter ist auf die Rohrabmessung des auszuwechelnden Rohres abgestimmt und wird bei Vergrößerung der Nennweiten als Aufweitkegel ausgebildet. In der Zielbaugrube befindet sich die hydraulische Zieheinheit mit einer Widerlager-

platte aus Stahl mit entsprechend auf die auszuwechelnde Dimension abgestimmter Öffnung, die einerseits der Abstützung der Zieheinheit dient, andererseits ein Herauslösen des Bodens aus der Rohrtrasse verhindert. Um beim Auswechseln der Rohrleitungen eine vollständige Entfernung des alten Rohrmaterials aus dem Erdreich zu gewährleisten, wird unterhalb des Spaltkegels in den Zwischenbaugruben bzw. in der Maschinenbaugrube grundsätzlich ein Schrottkasten eingebaut.

An die Widerlagerplatte sind zwei waagerechte Zylinder montiert, mit deren Hilfe die alten Rohre über das Zuggestänge in die Maschinenbaugrube gezogen werden. Das Zuggestänge wird mittels hydraulischer Klemmeinrichtung und einer Traverse kraftschlüssig mit den Zugzylindern verbunden. Für kleinere Nennweiten bis DN 150 hat sich eine kompakte Rohrziehanlage mit 550 kN Zugkraft bewährt. Für größere Nennweiten stehen Anlagenvarianten bis 1.250 kN zur Verfügung. Weiterhin verfügt diese Anlage über eine hydraulisch gelagerte Widerlagerplatte).

Hierbei ist die Widerlagerplatte über 4 hydraulisch vorgespannte Zylinder mit der Zieheinheit verbunden. Durch diese Lagerung können automatisch Winkelversätze am Widerlager durch die Platte kompensiert werden, so dass keine Querkräfte von der Anlage aufgenommen werden müssen. Der maximal zu kompensierende Winkelversatz beträgt  $7^\circ$ , bei größeren Winkelversätzen schaltet die Anlage durch eine Endschalterbetätigung automatisch ab.

Nach einem maximalen Hub von 400 mm werden die Zylinder durch einen Rückwärtshub in die Ausgangsstellung zurück gefahren. Hierbei knackt ein Spaltkeil mit sternförmig angeordneten Spaltmessern die alten Rohre. Das Zuggestänge wird durch eine automatische Abdreheinrichtung getrennt. Während des Spaltvorgangs bleibt die auszuwechelnde Rohrstrecke unter Vorspannung, um Verluste des Hubwegs durch elastische Verformungen des Rohrstranges zu verhindern. Die gesamte Anlage wird aus Sicherheitsgründen von einem Bediener außerhalb der Maschinenbaugrube gesteuert.

Die möglichen Auswechsellängen werden vom Rohrdurchmesser, Nennweitemsprüngen und der Bodenart sowie von der Leistung der Rohrziehanlage bestimmt. Im Normalfall werden in Abständen von 15 m bis 50 m über die gesamte Ziehstrecke Zwischenbaugruben für Hausanschlüsse hergestellt. Die Auswechslung einer Rohrstrecke erfolgt dabei in gesamter Länge ohne Umsetzen der Zieheinheit, wobei die gesamte Baumaßnahme in mehrere, durch die Zwischenbaugruben unterbrochene Rohrabschnitte unterteilt wird. Die einzelnen Rohrabschnitte werden dann nacheinander kontinuierlich von einem in der Maschinenbaugrube positionierten Ziehgerät über den in die jeweiligen Zwischenbaugruben eingesetzten Spaltkeil gezogen und zerstört. In der Praxis haben sich Auswechsellängen je nach Bodenart und Rohrabmessung von 100 m bis 150 m als durchführbar erwiesen. Unter günstigen Bodenverhältnissen konnten Einzelziehstrecken (zwischen zwei Zwischenbaugruben) von über 100 m realisiert werden.

Die vom Technischen Überwachungsverein Berlin (TÜV) durchgeführten Lärmmessungen (in Übereinstimmung mit der Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zum Schutz gegen Baulärm – Geräuschimmission) ergaben in einem Abstand von 7 m Immissionswerte von 54,5 dB (A), so dass dieses Verfahren in Wohngebieten und im Nahbereich von Krankenhäusern, Kurgebieten usw. sowie im Schichtbetrieb eingesetzt werden kann.

Das hydros@PLUS-Verfahren ist das einzige in Deutschland zugelassene Verfahren zur Auswechslung von Rohrleitungen aus Asbestzement und vom Berufsgenossenschaftlichen Institut für Arbeitssicherheit (BIA) unter der Kennnummer BT 13 gemäß geprüfter Arbeitsverfahren mit geringer Exposition nach TRGS 519 geprüft und in das BIA-Verzeichnis aufgenommen.

#### **Neulegung von Versorgungsleitungen im hydros@STAR-Verfahren**

Mit dem hydros@STAR-Verfahren steht ein neuentwickeltes Verfahren zur grabenlosen Neulegung von Druckrohrleitungen bis zu einer Nennweite DN 600 zur Verfügung. Die Vorteile des Verfahrens sind eine geräuscharme und erschütterungsfreie Betriebsweise, eine wirtschaftliche Neulegung von Rohrleitungen insbesondere im Fahrbahnbereich sowie ein Unterfahren von Hindernissen und Bäumen.

In einem ersten Verfahrensschritt werden die Ziel- und Startbaugruben hergestellt. Anschließend wird mit einer handelsüblichen Pressbohranlage eine Pilotbohrung hergestellt. Mit Hilfe eines Steuerkopfes und einer Steuerung wird eine Zielgenauigkeit von  $\pm 1$  cm auf 20 m Bohrlänge realisiert. Nach dem Erreichen der Zielbaugrube wird das Pilotgestänge zurückgezogen, und gleichzeitig in die hergestellte Pilotbohrung das hochfeste Ankerzuggestänge der hydros@PLUS-Anlage eingezogen.

Im zweiten Verfahrensschritt wird an das Ankerzuggestänge ein Spülkopf angehängt. Am Spülkopf wird über einen Übergangsadapter das neu einzuziehende Rohr befestigt. Anschließend wird der Spülkopf mit dem neuen Rohr mit Hilfe einer hydros@ PLUS-Anlage und dem Ankerzuggestänge in die Startbaugrube zurückgezogen. Bei diesem Arbeitsvorgang wird das zu verdrängende Erdreich mechanisch in den Spülkopf gefahren und hydraulisch abgebaut. Das hydraulisch abgebaute Erdreich wird über eine Transportleitung als Zweiphasenströmung in die Zielbaugrube gespült. Hierbei verlaufen die Transportleitung sowie alle weiteren Versorgungsleitungen durch die neu einzuziehende Rohrleitung als ein Rohrbündel. Beim Einsatz in bindigen Böden (d.h. Böden mit hohen Tonanteilen) erfolgt der Bodenabbau im Spülkopf mit Wasserhöchst-Druck. Der Transport des Wasser-Boden-Gemischs wird mit einem zweiten Pumpenkreislauf durchgeführt. Bei längeren Transportstrecken wird der Förderprozess des Spülgutes durch eine Vakuumabsaugung unterstützt.

Mit Hilfe einer TV-Kamera im Spülkopf wird der Bodenabbau sowie der Ziehvorgang kontinuierlich kon-

trolliert und dokumentiert. Zur Minimierung des Wasserbedarfs wird der Transport der Spülung in einem geschlossenen Kreislauf betrieben, wobei die Separation des Wasser-Boden-Gemischs in einem Absetztank erfolgt.

Neben den Vorzügen der grabenlosen Bautechnik zeichnet sich das Verfahren durch folgende Vorteile aus:

- mittels gesteuerter Pilotbohrung wird eine sehr hohe Verlegenauigkeit erreicht
- durch hydraulischen Abtransport des Bohrkleins besteht keine Gefahr von Schäden an der Erdoberfläche
- durch den ausschließlichen Einsatz von Wasser werden keine trinkwassergefährdenden Reagenzien eingebracht, der Einsatz von Wasser ist gegenüber tonbasierten Spülflüssigkeiten in der Handhabung einfach
- der Einsatz der hydraulischen Spülflüssigkeit ist ausschließlich auf den Bereich des Spülkopfes beschränkt, so dass keine Gefahr von Auswaschungen im Trassenverlauf besteht
- durch den Einsatz von schallgeschützten Hydraulikkaggregaten (54,5 dB (A)) ist selbst in Wohngebieten ein Schichtbetrieb möglich
- Minimierung der Investitionskosten für das Verfahren durch den Einsatz der bewährten kompatiblen hydros@PLUS-Technik

Mit dem hydros@STAR-Verfahren kann neben der Rohrneulegung, auch eine Rohrauswechslung mit großen Dimensionssprüngen (z.B. DN 100 gegen DN 300) durchgeführt werden. Das Verfahren wird im Schichtbetrieb eingesetzt und die Bauzeit dadurch verkürzt.

#### **Bewertung und Zusammenfassung**

Der europaweite Einsatz der hydros-Technik hat gezeigt, dass sich dieses neue Verfahren voll bewährt hat und als ausgereiftes Verfahren dem Markt zur Verfügung steht. Durch den Einsatz kompakter, einfacher und effektiver Maschinenteknik in Verbindung mit gut geschultem Personal wird ein hoher Qualitätsstandard jeder Baumaßnahme gewährleistet. Die grabenlose Bauweise des Verfahrens verringert die notwendigen Tiefbauarbeiten um über 80 % gegenüber der konventionellen offenen Rohrauswechslung. Umwelt, Vegetation, Verkehr und Anwohner im innerstädtischen Raum werden in einem hohen Maße entlastet, langfristige Straßensperrungen entfallen und unvermeidliche Behinderungen werden durch den sehr schnellen Baufortschritt auf ein absolut notwendiges Minimum reduziert.

Eine strenge Umweltschutzgesetzgebung und ein gesteigertes Umweltbewusstsein hat zu einer erhöhten Sensibilität gegenüber den mit konventionellen offenen Rohrleitungsbaumaßnahmen verbundenen Lärmentwicklungen, Verkehrsbeeinträchtigungen und Schäden an Gewächsen geführt. Genehmigungen der zuständigen Behörden für geplante Bauvorhaben werden teilweise nur mit erheblichen Auflagen erteilt.



Tab. 4.39: Übersicht über hydros®-Verfahren

Verfahren	DN	Zuglängen	Zugkraft	Altrohr	Neurohr
hydros®-BOY	bis DN 60	bis 25 m und mehr	max 150 kN	GGG, GG, St, PE-HD, PVC	PE-HD, GGG, St, PVC
hydros®-LEAD	½ “ bis 2 “	bis 25 m und mehr	bis 120 kN	Pb, PE, Cu	PE-HD, GGG, St, PVC
hydros®-PLUS	60 bis 400	bis 150 m	bis 1200 kN	GG, AZ, PVC	PE-HD, GGG, St, PVC
hydros®-STEEL	bis 300	bis 150 m	bis 650 kN	GGG, St, PE-HD	PE-HD, GGG, St, PVC

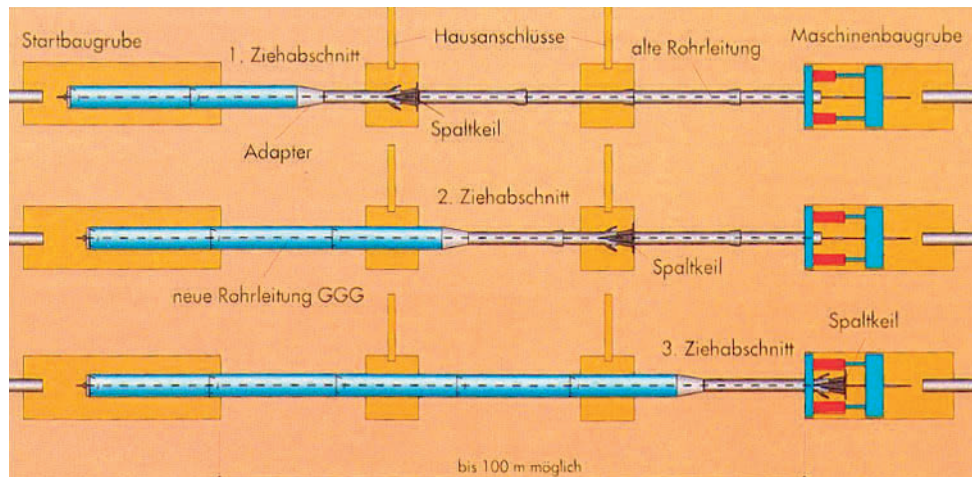


Abb. 4.80: Hydros-Verfahren in der Anwendung

Die Umsetzung dieser Auflagen führt bei der Bau-durchführung in der Regel zu erhöhten Gesamtbaukosten und längeren Ausführungszeiten. Diese Problematik kann durch den Einsatz neuartiger grabenloser Verfahren minimiert werden.

Mit dem hydros®-Verfahren wird allen gesetzlichen Verordnungen hinsichtlich Lärmschutzverordnung sowie der Grünflächenämter, aber auch des Abfallbeseitigungsgesetzes im vollen Umfang entsprochen. Somit kann dieses Verfahren, unter der Voraussetzung einer ordnungsgemäßen Entsorgung der Altrohre, ohne strafrechtliches Risiko angewendet werden.

### Das hydros@STEEL-Verfahren

Das hydros@ STEEL-Verfahren knüpft an das hydros@PLUS-Verfahren an, indem es einen wesentlichen Teil der maschinentechnischen Einrichtungen nutzt, findet aber für Versorgungsleitungen (DN 80 bis DN 300) vorzugsweise aus Stahl, aber auch Kunststoffen (z.B. PE-HD) Anwendung. Zurzeit ist ebenfalls die Auswechslung von 100 m-Abschnitten in einem Durchgang möglich.

Die maschinentechnische Ausrüstung wird ergänzt durch einen Schneid- und Aufweitkopf, der das zu erneuernde Rohr unten aufschneidet, einschließlich der Schellen bzw. Muffen, und dann aufweitet.

Folgender Verfahrensablauf wird angewendet:

- das Gestänge wird mit einem Seil eingezogen
- an das Gestänge wird der Schneid- und Aufweitkopf angekoppelt, vorzugsweise mit den Schneidrädern im Bereich von 5 und 7 Uhr
- mit der Zugeinrichtung wird der Schneid- und Aufweitkopf soweit in das Rohr gezogen, dass nur noch die Ankoppelstelle für das neue Rohr außerhalb des Rohres liegt
- an die Koppelstelle wird nun das neue PE-HD-Rohr (bei grabenlosen Verfahren das übliche Rohr mit Schutzmantel oder Schutzschicht) angekoppelt. Dazwischen kann auf Wunsch ein Messaufnehmer montiert werden, der die Belastungen des neuen Rohres dokumentiert und somit der Nachweis einer Nichtüberschreitung der Kräfte möglich ist
- nun wird der Schneid- und Aufweitkopf mit dem neuen Rohr in einem Arbeitsgang durchgezogen und somit das Rohr ebenfalls in einem Arbeitsgang erneuert.

Es wird keine Verformung oder Querschnittveränderung des neuen Rohres vorgenommen, sodass Standardverbindungselemente verwendet werden können.

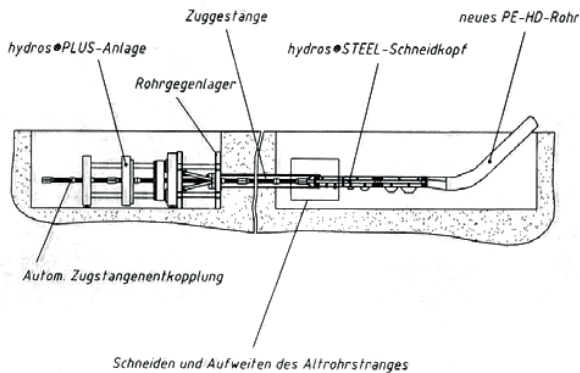


Abb. 4.81: Verfahrensprinzip mit Einziehen des Neurohres



Abb. 4.82: Rollenmesser



Abb. 4.83: Hausanschlussleitungen werden nachträglich eingebunden; dafür werden Standardbauteile und Armaturen verwendet



Abb. 4.84: Entfernen der Rohrumhüllung mit Topfbürste und Rohrspalt hydraulisch aufspreizen



Abb. 4.85: Schutzblech zwischen PE-Rohr und alter Stahlleitung einschieben, Anchnitt (80 % der Wanddicke) mit speziellem Winkelschleifer (mit Tiefenbegrenzer)



Abb. 4.86: durch weiteres hydraulisches Aufweiten wird die vorgeschrittene Sollbruchstelle gebrochen, Freier Rohrabschnitt nach Herausnehmen der aufgeweiteten Stahlhaube sowie beidseitig eingeführter Kantenschutz mittel Kunststoffschalen

#### 4.9.4.8 Hilfsrohrverfahren Verfahrensbeschreibung

Das Verfahren ist geeignet für die Entfernung von Altröhren aus Grauguss und Asbestzement. Ebenso ist es geeignet für die Auswechslung von alten Stahlrohrleitungen, da durch die Auswechslung in zwei Arbeitsgängen ein innenliegendes Gestänge entfällt.

Die Altröhrrleitung wird in zwei Arbeitsgängen trassen-gleich gegen die neue Rohrleitung ausgewechselt. Im ersten Arbeitsschritt erfolgt zunächst das Herauspressen der alten Rohrleitung mittels sog. Hilfsrohre, im zweiten Arbeitsschritt wird die neue Rohrleitung in die frei gewordene Trasse eingezogen.

Für Abzweige, Anschlüsse und Absperrreinrichtungen, werden im Abstand von 20 bis 50 m Zwischenbaugruben angelegt, die auch dem Einbau von Übergangsstücken zwischen Altröhrrleitungsabschnitten bzw. dem Bergen von Altröhrrleitungsabschnitten dienen können. In der Zielbaugrube wird das erste Hilfsrohr über einen Adapter an der Altröhrrleitung befestigt und in Richtung Startbaugrube gepresst. Weitere Hilfsrohre werden mit Gewinde oder über Bolzen angeschlossen und ebenfalls in die Richtung der Startbaugrube gepresst. Die herausgepressten Altröhrrleitungen werden in der Start- bzw. in der Zwischenbaugrube abschnittsweise geborgen.

Die möglichen Auswechsellängen hängen von folgenden Einflussfaktoren ab:

- Durchmesser der Alt-/Neurohre und Verbindungen (Nennweitensprünge)
- Bodenart
- Leistung des Auswechslungsgeräts
- Zustand der Altröhrrleitung (Übertragung der Presskräfte)
- zulässige Zugkräfte der Neurohre.

Nach bisherigen Erfahrungen sind ohne Umsetzen des Auswechslungsgeräts bis zu 150 m Auswechslungslänge realisierbar. Das Auswechslungsgerät ist mit einem oder mehreren hydraulischen Vorschubzylindern ausgerüstet, welche die Altröhrrleitung durch den Hilfsrohrstrang erschütterungsfrei und unter Vermeidung von dynamischer Energie in Richtung Startbaugrube schieben. Die größte Kraft erfordert gewöhnlich das Lösen der Altröhrrleitung. Diese wird je nach Zustand durch die Anordnung der Zwischenbaugruben in kräftemäßig beherrschbare Abschnitte unterteilt.

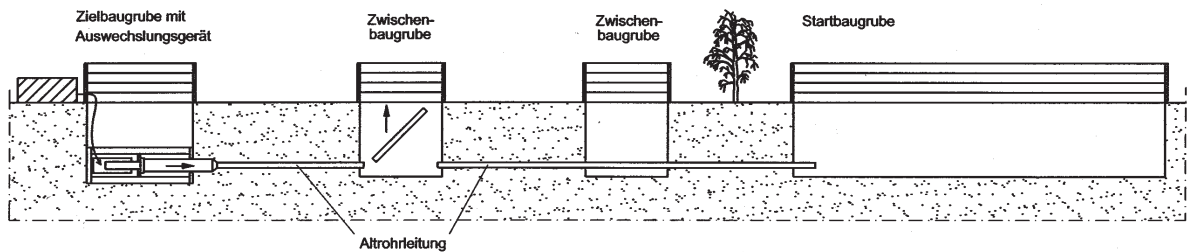


Abb. 4.87: Hilfsrohrverfahren Verfahrensschritte – Heraustrennen von Altrohrleitungsabschnitten in Zwischenbaugruben

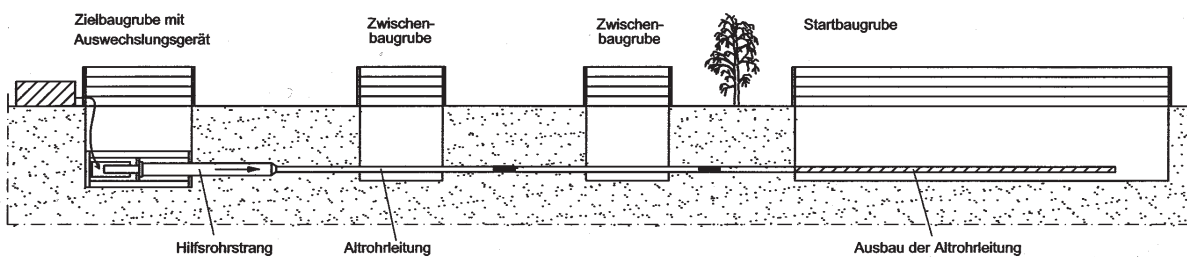


Abb. 4.88: Hilfsrohrverfahren Verfahrensschritte – Durchpressen der Altrohrleitung mit Übergangsstücken

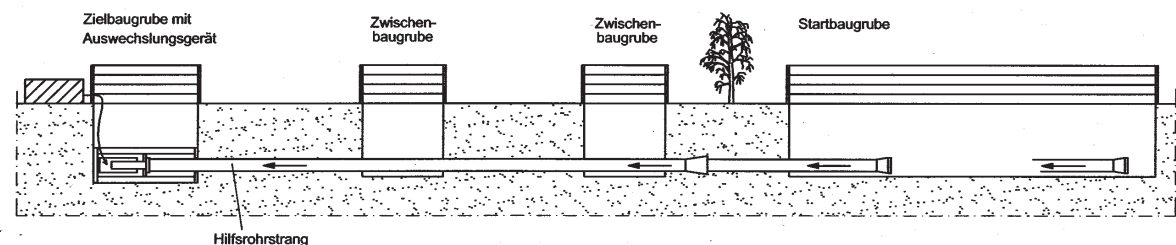


Abb. 4.89: Hilfsrohrverfahren Verfahrensschritte – Einzug der Neurohre aus der Startbaugrube

Zum Lösen der Altrohrleitungsabschnitte werden zwei Varianten eingesetzt.

Bei der ersten Variante werden die in den Zwischenbaugruben befindlichen, noch unbewegten Altrohrleitungsabschnitte herausgetrennt. Anschließend werden die zwischen den Baugruben befindlichen Altrohrleitungsabschnitte Zug um Zug mit dem Hilfsrohrstrang in die jeweils nächste Baugrube gepresst und dort herausgetrennt.

Bei der zweiten Variante werden in den Zwischenbaugruben zunächst noch nicht bewegte Altrohrleitungsabschnitte herausgetrennt. Dann wird der erste, nicht freigelegte Altrohrleitungsabschnitt gelöst und mit einem Übergangsstück am folgenden noch ungelösten Altrohrleitungsabschnitt angebunden, dieser wiederum gelöst usw.. Sämtliche mit Übergangsstücken verbundenen Altrohrleitungsabschnitte werden bis zur Startbaugrube durchgepresst und dort geborgen.

In der Startbaugrube wird anschließend das erste Neurohr über einen Zugkopf am ersten Hilfsrohr befestigt. Zug um Zug werden weitere Neurohre angeschlossen und Richtung Zielbaugrube durch Zurückziehen des Hilfsrohrstranges eingezogen.

Beim Herausschieben der Altrohrleitung ist eine axiale Einleitung der Presskräfte sicherzustellen. Beim Einpressen des Hilfsrohrstrangs ist zu beachten, dass die Altrohrleitung gleichzeitig im entsprechenden Ausmaß herausgepresst wird, um ein etwaiges Knicken der Altrohrleitung oder ein Ineinanderschieben von Altröhren zu erkennen. In diesem Fall können zusätzliche Entlastungsbaugruben erforderlich werden.

#### Anforderungen an Neurohre

An den Innen- und Außenschutz der Rohre sowie an die Verfahrensdurchführung werden hohe Anforderungen gestellt.

Der Außenschutz der Rohre darf beim Ziehen durch das Erdreich nicht beschädigt werden. Das Verfahren muss gewährleisten, dass die Innenauskleidung mit Zementmörtel bei Stahl- bzw. Duktulgussrohrleitungen nicht durch das Einziehen beschädigt wird. Eine Beanspruchung der neuen Rohre, die zu Abplatzungen des Zementmörtels an den Rohrenden führen, z.B. durch Druckbelastung von Muffenrohren, ist auszuschließen.

Auf Medienrohre aus PE wirkende Punktbelastungen und Kerben in dessen Oberfläche müssen ausgeschlossen werden. Während Kerbenbildung durch PE-Rohre



mit zusätzlicher Schutzschicht u.Ä. verhindert werden kann, ist die Vermeidung von Punktbelastungen bei PE-Rohren nur durch Zusatzmaßnahmen, wie z.B. Verlegung im Schutzrohr möglich.

Bereits im Planungszustand und bei Beginn der Bauausführung ist der Istzustand des auszutauschenden Leitungsabschnittes zu ermitteln. Anhand von Planunterlagen und/oder örtlicher Datenerfassung ggf. unterstützt durch TV-Inspektion sind zu erfassen und zu überprüfen:

- der Durchmesser der Alt-/Neurohre und Verbindungen (Nennweitensprünge)
- der Werkstoff des Altrohres und seine Festigkeit im Hinblick auf die Aufnahme der für die Auswechslung notwendigen Kräfte (Brüche, Risse, Wandschwächungen durch Korrosion oder Graphitierung)
- die Überdeckungshöhe sowie horizontale und vertikale Rohretagen
- die Richtungsänderungen/Kurvenradien (erforderlicher Mindestradius 150 m)
- die Abzweige oder Anschlüsse, Wassertöpfe (bei Gasleitungen), Armaturen
- die Betonwiderlager, Formstücke, Schellen (Anbohr- und Rohrbruchdichtschellen) usw.
- parallele und querende Leitungsanlagen (Abstände/Abweichungen)

Hindernisse, die sich aus der Bestandsaufnahme ergeben, sind vor Beginn der Rohrauswechslung zu entfernen. Eine Reinigung der Altrohrleitung ist nicht erforderlich. Es ist jedoch zu prüfen, ob die Altrohrleitung umweltrelevante Stoffe enthält, die vor der Rohrauswechslung fachgerecht zu entfernen sind (z.B. bei Gasleitungen Ablagerungen des Stadtgases).

Bei Dimensionserhöhungen sind die Auswirkungen von Bodenverschiebungen und den hieraus resultierenden Hebungen der Oberfläche abzuwägen. Daraus resultiert die Festlegung des Aufweitungsmaßes. Für ein zwängungsfreies Einziehen des Neurohrstrangs ist ein der Bodenart angepasster Überschchnitt von ca. 10 mm bis 20 mm einzustellen.

Bei parallel liegenden Leitungen zu den auszuwechselnden Rohrleitungen ist zu diesen ein Abstand von mindestens dem Dreifachen des Aufweitungsmaßes einzuhalten. Bei kritischen Abständen, z.B. zu querenden Leitungen, sind mit dem Betreiber dieser Leitungen besondere Schutzmaßnahmen wie z.B. Freilegen der kreuzenden Leitungen zu vereinbaren. Unabhängig davon sind die Mindestabstände nach DVGW G 462 (A), G 472 (A) bzw. W 400-1 (A) zu beachten.

Um sicherzustellen, dass der neue Rohrstrang während des Einziehvorgangs nicht überbeansprucht bzw. beschädigt wird, muss das Einbringen der neuen Rohrleitung unter definierten Bedingungen erfolgen:

- Durchmesser der Alt-/Neurohre und Verbindungen (Nennweitensprünge)
- maximaler Außendurchmesser des Neurohres DN 600, sofern der anstehende Boden ausreichend verdrängbar ist

- Vermeidung von Abweichungen zwischen Rohr- und Maschinenachse
- Vermeidung von dynamischen Energien durch erschütterungsfreie Betriebsweise
- restloses Entfernen der Altrohrleitung aus dem Boden
- Einhalten der zulässigen Zugspannung des Neurohres, die Zugkräfte sind kontinuierlich zu messen und aufzuzeichnen, einschließlich der Stillstandzeiten
- alternativ darf eine Zugkraftbegrenzung oder ein Überlastungsschutz eingesetzt werden (Die Zugkraftbegrenzung muss wirken bzw. der Überlastungsschutz reißen, bevor die zulässige Zugspannung des Neurohres nach GW 322-1 bzw. GW 322-2, Anhang A erreicht wird)
- Widerlager sind für die sichere Aufnahme schwelender Belastungen zu dimensionieren, z.B. durch eingerammte Doppel-T-Träger (zur Vermeidung von Grundbrüchen)
- die auf das Altrohr wirkende Presskraft muss vollflächig wirken
- keine Montage- und Hilfsarbeiten am Auswechslungsgerät oder Rohrstrang unter Last.

Für die Auswechslung von Rohrleitungen aus Asbestzement gilt TRGS 519 (siehe auch W 396 (H)).

#### 4.9.4.9 Rohre und Rohrverbindungen für Press-/Ziehverfahren und Hilfsrohrverfahren

Bei grabenlosen Verfahren ist in der Regel die Situation in der Rohrtrasse hinsichtlich Bodenart, Hindernissen, Wurzeln usw. meistens nur teilweise bekannt. Beim Neurohreinzug ist daher ggf. mit hohen Zugkräften zu rechnen. Bei sehr schwierigen Bodenverhältnissen können Riefenbildungen sowie in seltenen Einzelfällen auf die Rohroberfläche wirkende Punktlasten nicht völlig ausgeschlossen werden.

Die neuen Rohre und die Rohrverbindung müssen für die aus dem Verfahren resultierenden Belastungen geeignet sein und die Rohroberfläche mit einem Oberflächenschutz in Form einer zusätzlichen Umhüllung bzw. Ummantelung versehen sein. Um einer Schädigung des Rohrstranges schon beim Einbringen der neuen Rohre entgegenzuwirken, dürfen bei der Bauausführung die zulässigen Zugkräfte und Abwinkelungen/Biegeradien keinesfalls unterschritten werden. Diese Werte sind dimensions- und werkstoffabhängig im Anhang A von GW 322-2 angegeben.

Neben den betriebstechnischen Belangen müssen Material und Verfahren in ihrer Kombination sicherstellen, dass die neue Rohrleitung beschädigungsfrei eingebracht werden kann.

Hierzu zählen:

- die Einhaltung der zulässigen Zugbeanspruchbarkeit des verwendeten Rohrmaterials bzw. der jeweiligen Verbindungen und
- der geeignete Rohraußenschutz, mit dem mechanische Belastungen während des Einziehvorganges sicher vermieden werden müssen.

Tab. 4.40: Prinzipielle Unterschiede beim Einsatz von Stahl- und Gussrohren

	Stahlrohre	Duktilgussrohre
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> <li>keine zusätzlichen Aufweitkräfte für die Schaffung eines Hohlraumes für die Muffen</li> <li>kein Sicherungsgestänge erforderlich, maximal zulässige Zugkräfte des Rohrkörpers müssen berücksichtigt werden</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>keine Unterbrechungen für die Herstellung der Schweißverbindung, dadurch nahezu unterbrechungsfreier Einziehvorgang möglich</li> <li>bei längskraftschlüssigen Muffenverbindungen kann unter Beachtung der maximal zulässigen Zugkraft der Rohrverbindung auf das Sicherungsgestänge verzichtet werden</li> </ul>
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> <li>Herstellung der Schweißverbindung zeitaufwendig, daher bevorzugter Einsatz von 12 m langen Rohren</li> <li>lange Rohrbaugruben bei Verwendung von 12 m langen Rohren</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>zusätzliche Aufweitkräfte zur Schaffung des erforderlichen Querschnittes für den Muffenaussendurchmesser schränkt mögliche Nennweitenvergrößerung ein</li> </ul>

Es bieten sich zementmörtelummantelte Duktilgussrohre, zementmörtelummantelte Stahlrohre sowie auch PE-Rohre mit einem zusätzlichen Außenschutz an.

Ein besonderes Merkmal des Verfahrens ist die Möglichkeit der Dimensionserhöhung. Bei Rohren mit Muffenverbindungen hat sich die Vergrößerung um einen Nennweitensprung, d.h. Auswechslung von Rohren der Nennweiten DN 80 GG bzw. DN 100 GG gegen DN 150 GGG und DN 150 GG gegen DN 200 GGG, als sinnvoll erwiesen. Bei rolligen Böden empfiehlt es sich aufgemantelte Duktilgussrohre einzusetzen, da sonst das Rohr in der Trasse nach oben wandert (d.h. der Außenschutz wird auf das Außenmaß der Muffe erhöht).

Beim Einsatz von muffenlosen Rohren (St. bzw. PE) sind zwei Nennweitensprünge möglich, z.B. DN 100 GG gegen DN 200 St. bzw. DN 225 PE.

Neue Entwicklungen der Rohrhersteller haben zu Stahlrohren mit längskraftschlüssigen Muffenverbindungen geführt. Diese Rohre sind im vorgenannten Vergleich wie Duktilgussrohre zu betrachten. Die Längskraftschlüssigkeit der Stahlrohr-Muffenverbindungen wird durch reibschlüssige Halteringe, die sich in einer separaten Muffenkammer befinden, hergestellt. Die zulässigen Zugkräfte sind allerdings wesentlich geringer als die der Duktilgussrohre.

#### 4.9.4.10 Bodenarten

Der anstehende Boden ist, sofern dieser eine gewisse Standfestigkeit (Gewölbewirkung) aufweist, von untergeordneter Bedeutung. Durch Einsatz eines Adapters mit einem Überschnitt gegenüber dem größten Rohrdurchmesser des neuen Rohres ist es in derartigen Böden möglich, den Zugkraftbedarf durch Minimierung der Mantelreibung herabzusetzen.

Bei rolligen Böden ohne Kohäsionsverhalten werden wesentlich höhere Zugkräfte benötigt. In diesem Fall kann durch Verwendung von muffenlosen Rohren und Beschränkung der Dimensionserhöhung auf einen Nennweitensprung eine weiterhin wirtschaftliche Auswechsellänge in einem Arbeitsgang erreicht werden.

#### 4.9.4.11 Auswechsellängen

Die möglichen Auswechsellängen (max. ca. 150 m) werden grundsätzlich vom erforderlichen Kraftbedarf

bestimmt, der insbesondere vom Rohrdurchmesser, Nennweitensprüngen und Bodenart abhängt sowie vom Kraftangebot, d.h. der Leistung der Rohrziehanlage.

Im Normalfall werden Zwischenbaugruben im Bereich von Hausanschlüssen, Armaturen usw. angelegt. Dadurch ergeben sich Ziehabschnitte von 15 bis 30 m.

Als Neurohre kommen bei Anwendung der grabenlosen Auswechslung zum Einsatz:

- PE-Rohre mindestens nach GW 335-A2 (A) (PE 80 und PE 100) bzw. GW 335-A3 (A) (PE-Xa).

Die Verbindung von PE 80- oder PE 100-Rohren erfolgt mittels Heizelement-Stumpfschweißverfahren. Liegt ein erhöhtes Risiko in Bezug auf Beschädigung der Rohroberfläche vor, ist ein zusätzlicher Außenschutz des Rohres notwendig; Nicht standfeste Böden erfordern zusätzlich ein Abarbeiten der Schweißwülste.

Für PE-Xa Rohre sollte nur Ringbundware verwendet werden, da ein Verschweißen dieser Rohre nur mittels Heizwendelschweißmuffen zulässig ist und die Rohrleitung durch diesen erhöhten Widerstand zerstört werden könnte. Rohre aus PE-Xa benötigen keinen zusätzlichen Außenschutz.

- Stahlrohre für Wasser nach DIN 10224 in Verbindung mit DIN 2460, ggf. mit Muffenverbindung nach GW 368 (A) und für Gas nach DIN 10208-1 in Verbindung mit DIN 2470-1 (DIN EN 12007-3) und G 462 (A).

Schweißverbindungen nach GW 350 (A).

Stahlrohre müssen gegen mechanische Belastungen beim Einzug mit einem Außenschutz (Umhüllung oder Ummantelung) versehen sein. Hierbei kann es sich um eine verstärkte PE- bzw. PP-Umhüllung handeln die ggf. als weitere Schutzmaßnahme mit einer Zementmörtelummantelung, mit einer gerippten PE-Schicht oder einem GFK-Laminat versehen ist. Ebenfalls zu schützen sind die Nachumhüllungsbereiche. Dies kann erfolgen mit wärmeschrumpfenden oder kalt zu verarbeitenden Materialien nach DIN 30672 bzw. DIN EN 12068 oder bei ZM-Ummantelungen mit Materialien nach GW 340 (A). Auch Lamine auf Kunstharzbasis sind möglich.

- Duktilgussrohre (für Wasser nach DIN EN 545, für Gas nach DIN EN 969) mit längskraft- und

formschlüssigen Verbindungen nach GW 368 (A) und VP 545; als mechanischer Außenschutz beim Einzug ist eine ZM-Umhüllung nach DIN 30674-2 oder eine verstärkte PE-Umhüllung nach DIN EN 14628 (V) einzusetzen. Ebenfalls zu schützen sind die Verbindungsbereiche mit beispielsweise wärmeschrumpfenden Umhüllungen oder Gummimanschetten in Verbindung mit einem mechanischen Schutz. Reibschlüssige längskraftschlüssige Verbindungen sind nur nach Rücksprache mit den Rohrherstellern einzusetzen!

Die zulässigen Zugkräfte und Abwinkelungen/Biegeradien sind dimensions- und werkstoffabhängig im Anhang A von GW 322-2 dargestellt. Zur Verdeutlichung sind exemplarisch die zulässigen Zugkräfte in Abhängigkeit der Nennweiten DN 100, DN 150 und DN 200 für Stahl und Guss-eisen sowie der Rohraußendurchmesser da 110, 160 und 225 für PE dargestellt.

#### 4.9.4.12 Verfahrenstechnische Gütesicherung bei der Durchführung

In Abhängigkeit von der Örtlichkeit ist die Gesamtauswechselstrecke zwischen Start- und Zielbaugrube festzulegen. Abstände von maximal 150 m gelten als zweckmäßig. Eine Unterteilung in Abschnitte ergibt sich durch das Anlegen von Zwischenbaugruben im Bereich von Hindernissen und Entlastungsbaugruben.

Danach erfolgt die Leitungstrennung und Außerbetriebnahme gemäß G 465-2 (A) bzw. W 400-2 (A). Dem Auftraggeber obliegt dabei die Entscheidung, ob eine Ersatzversorgung notwendig ist (für Wasserrohrleitungen siehe W 400-3 (A)).

Der beim Einziehen der Neurohre notwendige Zugkopf ist so auszubilden, dass er alle auftretenden Zugkräfte sicher aufnimmt und dass der Neurohrstrang vor Eindringen von Schmutz geschützt ist. Wird ein vorgefertigter Neurohrstrang eingezogen, so sind zur Vermeidung von Beschädigungen der Rohre insbesondere beim Übergang in die Startbaugrube und in die freiwerdende Rohrtrasse Hilfsmittel wie Rollenblöcke und Umlenkrollen zu verwenden. Bei längeren Unterbrechungen ist sicherzustellen, dass die zulässigen Biegeradien insbesondere im Bereich der Startbaugrube nicht unterschritten werden. Ein mögliches Aufschieben bzw. Beschädigung der Rohroberfläche unmittelbar nach dem Aufweitungskopf ist zu verhindern.

Rohre aus Stahl und Duktiguss werden üblicherweise in der Startbaugrube montiert wobei bei Muffenrohren das Einsteckende in Zugrichtung gerichtet ist. Bei einer Nennweitenverkleinerung entsteht verfahrensbedingt ein Hohlraum, der gegebenenfalls in Abstimmung mit dem Auftraggeber zu verfüllen ist. Anwendung finden für bindige Böden Wasser-Zement-Suspensionen, für nicht bindige kapillarbrechende Bodenarten Verfüllmaterialien, die ein Wegfließen des Wasseranteils in das umgebende Erdreich verhindern, wie z.B. Bentonit.

Eine ausreichend lange Abbindezeit ist sicherzustellen, damit im Schadensfall in die neugelegte Rohrleitung oder benachbarte Hohlräume und Anlagen eingedrungenes Verfüllmaterial noch vor der Aushärtung entfernt

werden kann. Der Vorgang der Ringraumverfüllung ist hinsichtlich Material, Menge und Verfülldruck zu dokumentieren.

Bei PE-Rohren ist die zulässige Beulfestigkeit zu beachten (siehe Anhang B von GW 322-2). Sofern bei Gasleitungen ein Ringraum verbleibt, sind in Abstimmung mit dem Auftraggeber ggf. Vorkehrungen für eine Leckgasüberwachung zu treffen.

Nach Beendigung des Rohreinzuges und bestandener Druckprüfung erfolgen das spannungsfreie Einbinden der neuen in die vorhandene weiterführende Rohrleitung und die Einbindung der Anschlussleitungen.

#### 4.9.4.13 Dokumentation und Rückverfolgbarkeit

Art und Umfang der Dokumentation sind vor Beginn der Baumaßnahme zwischen Auftraggeber und Auftragnehmer abzustimmen. Dadurch wird sichergestellt, dass für jede durchgeführte Rohrauswechslung durch das beauftragte und dem Auftraggeber zu benennende Personal eine lückenlose Dokumentation sämtlicher relevanter Prozessschritte angefertigt wird. Diese ist 10 Jahre aufzubewahren.

Die Dokumentation muss mindestens folgende Unterlagen umfassen:

- Baustellenprotokoll mit mindestens den Angaben zu
  - Ausführendes Unternehmen, verantwortliche Fachkraft, Datum
  - Altrrohrleitung (Ort, Trasse, Boden, Länge, Nennweite und Werkstoff)
  - neue Rohre (Länge, Nennweite, Druckstufe und Werkstoff)
  - sonstige neue Rohrleitungsteile und Verbindungen (Art und Lage)
  - Aufzeichnung der direkt auf den Neurohrstrang wirkenden Zugkräfte
  - Identifikationsnummer des eingesetzten Auswechslungsgerätes
- Bautagesprotokolle
- alle sonstigen Protokolle

Eine erfolgreiche Durchführung der Baumaßnahme beinhaltet eine Reihe von Prüfungen und Überwachungen, die auch zu protokollieren sind. Diese beginnen mit der Wareneingangsprüfung aller gelieferten Rohrnetzbauteile mit beispielsweise Überprüfung der Kunststoffumhüllung der Rohre mittels Umhüllungstest bzw. bei einer Zementmörtelumhüllung über eine visuelle Beurteilung.

Nach dem Einzug sind freiliegende Teile des neuen Rohrleitungsabschnittes einer Sichtkontrolle auf Deformation bzw. Schäden zu unterziehen (Druckprüfung nach G 469 (A) bzw. W 400-2 (A)). Falls vereinbart, ist eine TV-Inspektion durchzuführen).

Alle verwendeten Prüf-, Mess- und Regeleinrichtungen, die dem dokumentierten Nachweis der Qualität des neuen Rohrleitungsabschnittes dienen, müssen in festgelegten Intervallen, jedoch mindestens einmal jährlich, einer Überprüfung mit geeigneten Verfahren oder Hilfsmitteln unterzogen werden.



## 4.9.5 Berstliningverfahren

### 4.9.5.1 Zur Verfahrensentwicklung

Das Berstliningverfahren wurde Anfang der 80er Jahre entwickelt und hat im nicht begehbaren Nennweitenbereich seine Praxistauglichkeit zur Genüge unter Beweis gestellt.

Bei diesem Verfahren handelt es sich um die grabenlose Erneuerung von Rohrleitungen in gleicher Trasse. Dabei wird das Altrrohr zerstört und in das umgebende Erdreich verdrängt. Zeitgleich wird das neue Rohr mit gleichem bzw. größerem Durchmesser eingezogen.

Das Berstliningverfahren kann für die Erneuerung von Gas- und Wasserrohren sowie für Abwasserleitungen eingesetzt werden.

Grundsätzlich werden heute zwei Verfahren unterschieden:

- das dynamische Berstliningverfahren
- das statische Berstliningverfahren

### 4.9.5.2 Dynamisches Berstliningverfahren

Beim dynamischen Berstliningverfahren wird der eigentliche Berstvorgang durch eine Winde unterstützt. Die dynamische Rammenergie wird durch eine Berstmaschine in Rohrlängsrichtung eingebracht. Dabei wird das Altrrohr zerstört und in das umgebende Erdreich verdrängt, zeitgleich wird das neue Rohr mit gleicher oder größerer Nennweite eingezogen.

Das dynamische Berstliningverfahren findet seine Anwendung vor allem bei stark verdichteten Böden und Altrrohren aus spröden Materialien.

### 4.9.5.3 Statisches Berstlining mit Schnellklingengestänge

#### Verfahrensbeschreibung

Über eine hydraulisch angetriebene Zuglafette wird ein Berstgestänge in die Altleitung eingeschoben. Die Verbindung der Berstgestänge erfolgt über eine Schnell-Klinkenverbindung. (auch Leitergestänge genannt). Die leiterförmige Ausbildung ermöglicht ein einfaches Einhängen bzw. Einklinken der Gestänge und eine sichere Übertragung der Schub- und Zugkräfte.

Beim Einschubvorgang sorgt ein birnenförmiges Führungskaliber für die sichere Führung im Altrrohr und schließt ein Verkanten aus. In der Einziehbaugrube werden der Berstkörper mit Aufweitung sowie das Neurohr angehängt. Anschließend zieht die Zuglafette den Gestängestrand in die Maschinenbaugrube zurück. Gleichzeitig wird das Altrrohr geborsten, in das umgebende Erdreich verdrängt und das neue Rohr in die gleiche Trasse eingezogen.

Je nach Maschinengröße stehen hierbei für die verschiedensten Nennweiten Zuglafetten zwischen 200 und 2.500 kN Zugkraft zur Verfügung. Der größte Teil dieser Zugkraft wird für das Bersten und Schneiden des Altrrohrmaterials (inkl. Muffen und Reparaturschellen), sowie für das Verdrängen desselben in den umgebenden Boden benötigt.

Tab. 4.41: Einteilung von Berstlafetten nach Rückzugskraft [Rameil und Naujoks, 2006] auszugswise

Maximale Rückzugskraft	Arbeitsbereich
200 kN	DN 50 - DN 150
400 kN	DN 50 <sup>a</sup> - DN 300
770 kN	DN 65 - DN 450
1.250 kN	DN 150 - DN 600
2.500 kN	DN 300 - DN 1000

a. mit Sondergestänge bei max. 200 kN Rückzugskraft (Zugkraftbegrenzung)

#### Anwendungsgebiete

Das Verfahren wird sowohl bei Abwasser-Freispiegelleitungen als auch im Druckrohrbereich für die Erneuerung von Trinkwasser- und Gasversorgungsleitungen sowie bei Abwasserdruckrohren angewendet. Dabei können Rohre des Nennweitenbereiches DN 65 bis DN 1.000 erneuert werden. Ebenso ist es möglich schwierig zu sanierenden Hangleitungen mit Steigung zu erneuern. Durch die fortgeschrittene Technik im Schneiden (Polyethylen-, Stahl-, Blei- und Duktulgussrohre) und Bersten (Asbest- bzw. Faserzement-, Grauguss-, Beton- und PVC-Rohre) können mittlerweile fast alle gängigen Altrrohrwerkstoffe im Druckrohrbereich erneuert werden. Je nach den örtlichen Bedingungen werden bei der Erneuerung im Druckrohrbereich mittlerweile Tagesleistungen von 150 m und mehr erreicht.

#### Vorbereitende Maßnahmen und Baustelleneinrichtung

Während des Berstvorganges wird der zu erneuernde Leitungsabschnitt außer Betrieb genommen und die Anlieger über eine Ersatzversorgung mit Trinkwasser versorgt. Nicht berstbare Leitungseinbauten wie Hydranten, Schieber usw. werden ausgebaut, die Hausanschlüsse freigelegt sowie die Maschinen- und Einziehbaugruben hergestellt und verbaut. Die Größe der Maschinenbaugrube wird nach dem Maschinentyp dimensioniert, die Einziehbaugruben abhängig von Rohrmaterial, Durchmesser, Temperatur und Tiefenlage berechnet (im Trinkwasserbereich durchschnittlich ca. 4 m Länge).

Die Anordnung der Baugruben erfolgt wechselseitig. Von der Startbaugrube kann in beide Richtungen geborsten werden, so dass die Zuglafette nur mit einem Hebegerät gedreht wird. Die örtlichen Verhältnisse sind entscheidend für die optimale Anordnung der Baugruben.

Mittlerweile ist es möglich bei geradem Trassenverlauf während des Berstvorganges das Gestänge gleich in die nächste Teilstrecke einzuschieben, so dass ein erneuter Einschub entfällt. Dabei können wie beim Einschubvorgang auch, je nach Gestängentyp und -durchmesser Radien ab 35 m durchfahren werden. Starke Bögen, Abzweige und Knotenpunkte erfordern Zwischenbaugruben.

Tab. 4.42: Mindestbaugrubengrößen beim statischen Berstverfahren [Rameil und Naujoks, 2006]

Statische Berstlafette	Mindestlänge Maschinengrube	Mindestbreite (ohne Arbeitsraum) Maschinenbaugrube
400 G	2,20 m	0,60 m
800 G	3,40 m	0,80 m
1250 G	6,00 m	2,00 m
1250 CP	7,50 m	2,00 m
2500 G	9,00 m	2,00 m

Zu erneuernde Leitungsabschnitte müssen vor dem Einzug des Berstgestänges nicht gereinigt bzw. von Inkrustationen befreit werden. Es kann jedoch erforderlich sein, die Altleitung zu reinigen, um das Einschieben der Berstgestänge zu gewährleisten (ggf. TV-Inspektion).

Vor dem Berstvorgang ist die Lage kreuzender oder parallel verlaufender Leitungen zu ermitteln und ggf. sind Suchschlitze anzulegen, um das Vorhandensein und die Lage von Fremdleitungen festzustellen.

Ebenso ist die Ermittlung des Aufweitungsmaßes erforderlich, wobei unter Aufweitungsmaß die Differenz zwischen Außendurchmesser des Aufweitungskörpers minus dem Innendurchmesser der Altrohrleitung zu verstehen ist. Mit diesem werden die erforderlichen Mindestabstände zu benachbarten Leitungen sowie die erforderliche Überdeckungshöhe errechnet.

Die Mindestabstände zu benachbarten Leitungen sind abhängig von der Bodenbeschaffenheit und der Art der benachbarten Leitungen. Bei bindigen Böden sollte der lichte Abstand zu parallel verlaufenden Leitungen das 3-fache des Aufweitungsmaßes, mindestens jedoch 40 cm betragen.

Bei nichtbindigen Böden sind die Mindestabstände zu anderen Ver- und Entsorgungsleitungen hinsichtlich deren Bruchgefährdung besonders zu betrachten. Sind die benachbarten Leitungen spröde und bruchgefährdet (z.B. Steinzeug, Grauguss), sollte der Mindestabstand das 5-fache des Aufweitungsmaßes betragen, jedoch nicht weniger als 40 cm.

Sind spröde und bruchgefährdete Nachbarleitungen DN 200 mm oder größer, so sollte der Mindestabstand ebenfalls das 5-fache des Aufweitungsmaßes, jedoch mindestens 1,0 m betragen.

Sind die Abstände, auch die Abstände kreuzender Fremdleitungen, kritisch, sollte die Altrohrleitung während der Bauausführung an gefährdeten Stellen durch Handschachtung freigelegt werden.

Zur Vermeidung von Hebungen oder Setzungen der Oberfläche soll die Überdeckung der Altrohrleitung mindestens das 10-fache des Aufweitungsmaßes betragen. Je nach Bodenverhältnissen kann im Einzelfall eine größere Überdeckung erforderlich sein.

Beim Berstlining spielen wie bei jeder Baumaßnahme die örtlichen Verhältnisse eine entscheidende Rolle für den geplanten Bauablauf. Dabei ist darauf zu achten,

dass zum Beispiel beim Langrohreinzug genügend Platz zum Auslegen des Rohrstranges vorhanden ist, wobei der Einzug vom Rohrbundwagen eine wirtschaftliche Alternative darstellt.

Ebenso ist die Verkehrssituation vor Ort ist zu berücksichtigen und es sind verkehrsrechtliche Genehmigungen einzuholen. In der Regel reicht eine kurzfristige Sperrung bei der Ausführung des Berstliningverfahrens im Straßenbereich aus. Ist der Gehwegbereich betroffen, so muss der Fußgängerverkehr über die gegenüberliegende Straßenseite geführt werden.

#### Arbeitsablauf:

- Zunächst erfolgt das Ausheben der Maschinen- und Einziehbaugruben sowie das Absperren des zu erneuernden Leitungsabschnittes und Erstellen der Ersatzversorgung. Es folgen:
- Abtrennen der Hausanschlüsse und Anbindung an Ersatzversorgung
- Installieren der Zuglafette in die Maschinenbaugrube und Einschieben der Berstgestänge
- nach Ankunft der Berstgestänge in der Einziehbaugrube Anbinden des Berstwerkzeuges sowie Aufweitung mit anhängendem Langrohrstrang
- Starten des Einziehvorganges bzw. Berstvorganges
- nach dem Einziehen des Neurohrstranges in der Maschinenbaugrube erfolgen die Druckprobe und Desinfektion sowie das Anschließen der Hausanschlüsse und die Anbindung des neuen Rohres in das Trinkwassernetz unter Einhaltung der gültigen Regelwerke.
- Wiederverfüllung der Baugruben und Wiederherstellung der Oberfläche in den ursprünglichen Zustand

#### Geräteeinsatz für statisches Berstliningverfahren

Für das Berstlining sind folgende Geräte erforderlich:

- Bersteinrichtung
- Zuglafette
- Hydraulikstation
- Schnellklinkengestänge
- Berstwerkzeuge (z.B. Rollenschneidmesser, Berstkopf, Aufweitkörper)
- Zugkraftmessvorrichtung bzw. Überlastungsschutz
- LKW zum Transport der Bersteinrichtung
- Hebegerät

#### Rohre

Beim Berstliningverfahren können als Produktrohre PE-Werkstoffe, Duktulgussrohre und Stahlrohre eingesetzt werden.

Sie müssen den aus dem Berstliningverfahren resultierenden Belastungen aus Einziehungskräften und Biegekräften standhalten. Die neuen Rohre und Rohrverbindungen müssen einen geeigneten Außenschutz gegen unzulässige Riefenbildung (Rohraußenseite) haben und Punktlasten widerstehen können.

### Polyethylen-Rohre (PE)

GW 323 enthält genaue Anforderungen an die Werkstoffe, Rohrkonstruktion und Rohrverbindungen, wie:

- Verwendung von PE 100 Rohren nach GW 335-A2 „Kunststoff-Rohrleitungssysteme in der Gas- und Wasserverteilung; Anforderungen und Prüfungen - Teil A2: Rohre aus PE 80 und PE 100“
- Riefentiefe maximal 10% der Rohrwanddicke, aber nicht mehr als 2 mm (bezieht sich bei Schutzmantelrohren auf das Kernrohr, jedoch nicht den Schutzmantel)
- PE 100-Rohre müssen einen geeigneten Außenschutz aufweisen, der auch im Bereich der Rohrverbindungen vorhanden sein muss. Für das Bersten von Graugussrohren und Einziehen von PE-Rohren definiert GW 323 darüber hinaus besondere Schutzzeigenschaften, die vom Rohrhersteller nachzuweisen sind. Für die Spannungsrissbeständigkeit ist ein „Full Notch Creep Test“ (FNCT-Test) mit besonders hohen Anforderungen durchzuführen und nachzuweisen.
- Rohre aus PE 100 sind durch Heizelement-Stumpfschweißverfahren miteinander zu verbinden.
- Rohre aus PE 100 RC (RC = Resistance to Crack) sind besonders hochwertig und daher gut für den grabenlosen Einbau im Berstliningverfahren geeignet.

### Vernetzte Polyethylen-Rohre (PE-Xa)

Folgenden Anforderungen müssen PE-Xa Rohre nach GW 323 und GW 325 in der Trinkwasserversorgung genügen:

- Es dürfen nur PE-Xa Rohre nach GW 335-A3 „Kunststoff-Rohrleitungssysteme in der Gas- und Wasserverteilung; Anforderungen und Prüfungen - Teil A3: Rohre aus PE-Xa“ verwendet werden.
- Bei PE-Xa Rohren kann aufgrund der Werkstoffeigenschaften auf zusätzliche Rohraußenschutzmaßnahmen verzichtet werden.
- PE-Xa Rohre können nur durch Heizwendelmuffen miteinander verbunden werden.

### Duktilgussrohre

Duktilgussrohre sind für den Einbau im Berstliningverfahren gut geeignet. GW 323 und GW 325 fordern beim Einbau von duktilen Gussrohren insbesondere:

- Duktilgussrohre nach DIN EN 545 „Rohre, Formstücke, Zubehörteile aus duktilem Gusseisen und ihre Verbindungen für Wasserleitungen - Anforderungen und Prüfverfahren“ sowie Verbindungen nach GW 368 „Längskraftschlüssige Muffenverbindungen für Rohre, Formstücke und Armaturen aus duktilem Gusseisen“ und VP 545 „Rohre, Formstücke und Zubehörteile aus duktilem Gusseisen für die Gas- und Wasserversorgung; Anforderungen und Prüfungen“
- Zum Schutz vor mechanischen Belastungen und Beschädigungen des Außenschutzes beim Einzug müssen Duktilgussrohre eine Zementmörtelum-

hüllung nach DIN 30674-2 erhalten oder eine verstärkte PE-Umhüllung (nur Anschlussleitungen) nach DIN EN 14628 (V) „Rohre, Formstücke und Zubehör aus Duktilgusseisen-Polyethylenumhüllung von Rohren in stark aggressiven Böden - Anforderungen und Prüfverfahren“ haben.

- Die Rohrverbindung muss durch eine Kombination aus wärmeschrumpfender Umhüllung für bewegliche Muffen nach DIN 30672 „Organische Umhüllungen für den Korrosionsschutz von in Böden und Wässern verlegten Rohrleitungen für Dauerbetriebstemperaturen bis 50 °C ohne kathodischen Korrosionsschutz - Bänder und schrumpfende Materialien“ bzw. einer Gummimanschette sowie einem Schutzkonus aus Stahlblech geschützt werden.
- Rohre mit Zink-Überzug und Deckbeschichtung nach DIN 30674-3 „Umhüllung von Rohren aus duktilem Gusseisen - Teil 3: Zink-Überzug mit Deckbeschichtung“ sowie reibschlüssige, längskraftschlüssige Muffenverbindungen wie z.B. Tyton-SIT sollten nur nach Abstimmung mit dem Rohrhersteller verwendet werden.

Bei duktilen Gussrohren haftet die aus faserverstärktem Zementmörtel bestehende äußere Armierung so fest, dass sie ihre Schutzfunktion auch bei ungünstigen Bodenverhältnissen erfüllt, z.B. wenn Graugusscherben Riefen hervorrufen.

### Stahlrohre

GW (M) 323 fordert beim Einbau von Stahlrohren insbesondere:

- Wasserleitungen aus Stahl müssen DIN 2460 „Stahlrohre und Formstücke für Wasserleitungen“ entsprechen, Gasleitungen aus Stahl müssen DIN EN 10208-1 „Stahlrohre für Rohrleitungen für brennbare Medien - Technische Lieferbedingungen - Teil 1: Rohre der Anforderungsklasse A“ in Verbindung mit DIN 2470-1 „Gasleitungen aus Stahlrohren mit zulässigen Betriebsdrücken bis 16 bar; Anforderungen an Rohrleitungsteile“, entsprechen.
- Schweißverbindungen müssen nach GW (A) 350 „Schweißverbindungen an Rohrleitungen aus Stahl in der Gas- und Wasserversorgung - Herstellung, Prüfung und Bewertung“ ausgeführt werden. Die Schweißnahtbereiche sind so zum Umhüllen, dass ein konstanter Außendurchmesser entsteht.
- Zum Schutz vor mechanischen Belastungen und Beschädigungen des Außenschutzes beim Einzug müssen Stahlrohre eine Zementmörtelumhüllung in Sonderausführung S nach DVGW GW (A) 340 „ZM-Ummantelung zum mechanischen Schutz von Stahlrohren und -formstücken mit Polyolefinumhüllung Anforderungen und Prüfung, Nachumhüllung und Reparatur, Hinweise zur Verlegung und zum Korrosionsschutz“, haben, falls der Auftraggeber es wünscht, können auch glasfaserverstärkte Lamine auf Kunstharzbasis verwendet werden.
- Die Nachumhüllungsbereiche sind mit wärmeschrumpfenden oder kalt zu verarbeitenden Mate-



rialien nach DIN 30672 bzw. DIN EN 12068 „Kathodischer Korrosionsschutz - Organische Umhüllungen für den Korrosionsschutz von in Böden und Wässern verlegten Stahlrohrleitungen im Zusammenwirken mit kathodischem Korrosionsschutz - Bänder und schrumpfende Materialien, mit glasfaserverstärktem Kunstharz“ bzw. bei ZM-Ummantelungen mit Materialien nach DVGW GW 340 (A) zu schützen.

Als nachteilig erweist sich bei Stahl- und auch duktilen Gussrohren unter Umständen die Verwendung angeformter Muffen, da diese je nach Altrohr und umgebenden Boden zusätzlichen Widerstand gegen den Rohreinzug aufbauen können. In geringen Tiefen reicht evtl. die Überdeckung nicht aus, da aufgrund der angeformten Muffe eine größere Aufweitung verwendet werden muss.

Tab. 4.43: Einsatzbereiche und -grenzen des statischen Berstliningverfahrens [Rameil und Naujoks, 2006]. (Die Angaben in der Tabelle stellen nur grobe Richtwerte dar. Ausschlaggebend sind immer die Baustellenverhältnisse vor Ort)

Altrohrmaterial	Nennweite DN	erforderliche Mindestzugkraft [kN]	
Grauguss (GG)	50 - 200	400	als Berstwerkzeug i.A. konischer Berstkopf, ggf. in Kombination mit Rollenschneidmesser
	200 - 400	800	
	400 - 600	1.250	
	600 - 1000	2.500	
Duktilguss (GGG)	100 - 150	400	als Berstwerkzeug i.A. Rollenmesserschzug bestehend aus mehreren Einzelrollen Bersten von GGG Rohren gehört zu den anspruchsvollsten Aufgabenstellungen und erfordert große Sorgfalt und Know-how!
	150 - 300	800	
	300 - 600	1.250	
	> 600	2.500	
Stahl (St)	50 - 200	400	als Berstwerkzeug i.A. Rollenschneidmesser
	200 - 400	800	
	400 - 600	1.250	
	600 - 1000	2.500	
Asbestzement (AZ)	50 - 250	400	Zulassung als Verfahren mit geringer Exposition nach Nr. 2.10, Abs. 8 TRGS 519/BT16 als Berstwerkzeug i.A. konischer Berstkopf
	250 - 400	800	
Faserzement (FZ)	400 - 600	1.250	
	600 - 1000	2.500	
Polyethylen (PE)	50 - 250	400	als Berstwerkzeug i.A. 2- oder 4-schneidiges Messer
	250 - 400	800	
	400 - 600	1.250	
	600 - 1000	2.500	
PVC	50 - 250	400	als Berstwerkzeug i.A. konischer Berstkopf
	250 - 400	800	
	400 - 600	1.250	
	600 - 1000	2.500	
	250 - 400	800	
	400 - 600	1.250	
	600 - 1000	2.500	

**Überwachung der auf das Neurohr wirkenden Zugkräfte**

Die neuen Produktrohre dürfen während des Rohreinzuges nicht über die jeweils zulässigen Zugspannungen belastet werden (Nachweis durch Aufzeichnung und Dokumentation von Zugkräften, Auswertung mit PC und über eine Software).

Die Daten können auch direkt zur Zuglafette übertragen werden, wodurch Spannungsüberschreitungen vermieden werden können.

**Besonderheiten beim Bersten von Altrohren aus Grauguss**

Graugussrohre brechen aufgrund ihrer Materialstruktur spröde und weisen in der Regel kantige Scherben auf. Vereinzelt Schäden durch unsachgemäße Durchführung dürfen nicht dem Verfahren angelastet werden, da Vorkehrungen möglich sind, z.B.:

- Verwendung hochwertiger Neurohrqualitäten
- Verwendung geeigneter Rollenschneidmesser und Berstköpfe, welche die Scherbengröße minimieren
- Verwendung eines ausreichend langen Aufweirkörpers, damit eine gleichmäßige Verdrängung der Scherben in den umgebenden Boden gewährleistet ist
- Verwendung eines Überlastschutzes
- Wahl eines geeigneten Überschnitts (10–20 %), damit sich die Scherben im möglichst kleinen Ringraum zwischen Neurohr und Boden nicht verankern können
- sofortiges Entfernen der Scherben aus Zwischenbaugruben
- kontinuierlicher, unterbrechungsfreier Rohreinzug

**Besonderheiten beim Bersten von Altrohren aus Asbestzement**

In Deutschland (Dt. Reich sowie auch später in der BRD und der ehemaligen DDR) wurden Asbestzementrohre ab ca. 1930 bis etwa 1990 eingebaut. Noch heute zählt die Gesamtlänge der Asbestzementrohrleitungen in den deutschen Netzen mehrere 10.000 Kilometer. Teilweise beträgt ihr Anteil an einzelnen Netzen noch bis zu 10 %. Aufgrund der Gesundheitsgefährdung durch Einatmen von Asbestfasern (Krebsrisiko) besteht seit dem 01.11.1993 ein generelles Herstellungs- und Verwendungsverbot für Asbestprodukte. Lediglich Druckrohre waren im Tiefbaubereich bis Ende 1994 hiervon ausgenommen. Seit dem 01.01.1995 dürfen Asbestzementrohre auch für diesen Bereich nicht mehr hergestellt und verwendet werden.

**Zur Wirtschaftlichkeit des Berstliningverfahrens**

Die Wirtschaftlichkeit des Berstliningverfahrens ist der offenen Bauweise gegenüber nachzuweisen. Bei letzterer fallen allein für Aufbruch und Wiederherstellung der Oberflächen sowie Grabenverbau, Erdarbeiten und Entsorgung des Aushubes je nach Tiefe des Leitungsgrabens ca. 70–80 % der Gesamtkosten an. Die Kosten für Rohrmaterial und Montage der Rohrleitungen betragen 15–20 %. Unberücksichtigt sind dabei indirekte

Kosten wie Oberflächenfolgekosten, Kosten für Schädigungen des Bewuchses sowie Kosten durch Beeinträchtigungen des öffentlichen Verkehrs und Störungen der Produktivität und ein ungleich größerer Ausstoß an Emissionen bei Lärm, Staub und Erschütterungen.

Beim Berstlining betreffen diese Positionen dagegen nur den Bereich der Start- und Zielgrube sowie eventuelle Zwischengruben für die Anbindung von Abgängen oder Zuleitung, deren Anzahl sich durch geschickte Planung oft reduzieren lässt.

Ein weiterer Faktor bei der Kostenermittlung sind Rüstzeiten von ca. 2,5–3 Stunden für Montage und Demontage der Berststation, Ansetzen des Berstkopfes vor Durchführung des Gestängevorschubes sowie dessen Bergung nach Ausführung des Berstvorganges. Als Richtgröße für die Dauer des Gestängeeinschubes sind 100 m/h ermittelt worden. Der eigentliche Berstvorgang ist bei Druckrohrleitungen in erster Linie von der Materialbeschaffenheit des Altrohres abhängig und kann mit ca. 10–50 m/h angesetzt werden. Voraussetzung für eine hohe Tagesleistung bei Langrohren ist, dass die vorgeschweißte Stangenware bzw. die Bundware vorgestreckt und einziehbar ausgelegt ist.

Wesentlich ist auch hier eine gute und intensive Arbeitsvorbereitung, damit unproduktive Rüstzeiten auf das Notwendige beschränkt bleiben und die hohe Leistungsfähigkeit und Zuverlässigkeit der eingesetzten Bersttechnik realisiert werden kann. Diese spiegelt sich auch in der ermittelten durchschnittlichen Abschreibungsdauer von 7 Jahren (TRACTO-TECHNIK G 400) wieder.

Aufgrund der Vielzahl der Parameter ist es daher immer unerlässlich - auch bei gering erscheinenden Grubenabständen oder parallel zu erneuernden Leitungen - für jede Maßnahme einen ausführlichen Kostenvergleich durchzuführen. Nachkalkulationen durchgeführter Baumaßnahmen zeigten, dass mit der Erneuerung durch Berstlining Einsparungen von bis zu 30 Prozent gegenüber der offenen Bauweise erzielbar sind.

**Einsatzgrenzen**

- Die zu erneuernde Leitung muss ggf. für die Dauer des Berstvorganges außer Betrieb genommen werden.
- Der Verlauf der Alrohrleitung muss für die neue Leitung nutzbar sein. Stark inkrustierte Leitungen müssen so weit gereinigt werden, dass die Berstgestänge (statisch) hindurchgeschoben werden können bzw. das Windenseil (dynamisch) eingezogen werden kann.
- Der die Alrohrleitung umgebende Boden muss verdrängbar sein.
- Starke Bögen, Etagen, Flanschverbindungen bei Stahl- und duktilen Gussrohren, usw. erfordern je nach zur Verfügung stehenden Berstwerkzeugen Zwischengruben, ein Mindestabstand zu parallel verlaufenden und querenden Leitungen sowie ein ausreichende Überdeckung (bei befestigten Oberflächen) muss eingehalten werden.

#### 4.9.6 Abbruch-, Sanierungs- und Instandhaltungsarbeiten an Wasserrohrleitungen mit asbesthaltigen Bauteilen und Beschichtungen

(Anm.: gekürzte Fassung von W 396 (M) [DVGW, 2011b] Abbruch-, Sanierungs- und

#### Instandhaltungsarbeiten an Wasserrohrleitungen mit asbesthaltigen Bauteilen und Beschichtungen)

##### 4.9.6.1 Gefahrenstoffverordnung

Seit dem 1. November 1993 gilt durch die Novellierung der Gefahrenstoffverordnung (GefStoffV) ein generelles Herstellungs- und Verwendungsverbot für Asbestzementprodukte (ab 1. Januar 1995 eingeführt). Ausgenommen von diesem sind Abbruch-, Sanierungs- und Instandhaltungsarbeiten an bestehenden Anlagen. Von unbeschädigten Asbestzementprodukten geht bei Kontakt mit Wasser, das der Trinkwasserverordnung entspricht, keine Gefahr aus.

Demzufolge können Rohrleitungen aus Asbest saniert bzw. erneuert (gegen andere Rohrmaterialien ausgetauscht) werden. Jedoch dürfen dabei Arbeitnehmer dem als krebserzeugend geltenden Stoff nicht ausgesetzt sein. Es dürfen nur noch asbestfreie Materialien verwendet werden.

Bei den Arbeiten müssen die nach GefStoffV erforderlichen Schutzmaßnahmen und organisatorischen Voraussetzungen für Abbruch-, Sanierungs- und Instandhaltungsarbeiten eingehalten werden (siehe dazu TRGS 519). Die Einhaltung der Arbeitsabläufe und Anwendungsbereiche der geprüften Arbeitsverfahren stellt sicher, dass eine Konzentration von 15.000 Asbestfasern/m<sup>3</sup> am Arbeitsplatz (Grenze für geringe Exposition) unterschritten wird und damit von bestimmten Schutzmaßnahmen abgesehen werden kann. Hierzu zählen der Verzicht auf Atemschutzgeräte und Schutanzüge, die Bereitstellung einer Dusche am Arbeitsort sowie die Errichtung einer Abschottung und Freigabemessung.

Abbruch-, Sanierungs- und Instandhaltungsarbeiten verlangen eine geeignete personelle und sicherheitstechnische Ausstattung (einschließlich Nachweise). Auch unbeteiligte Dritte dürfen nicht gefährdet werden. Die für den Umgang mit Asbest verantwortlichen Sachkundigen müssen sich detailliert mit den einschlägigen Bestimmungen und möglichen aktuellen Ergänzungen auseinandersetzen (z.B. im Hinblick auf noch nicht erfasste Arbeitsverfahren).

##### 4.9.6.2 Meldepflichten und Gefährdungsbeurteilung

Die TRGS 519 nennt folgende Pflichten und enthält einschlägige Musterformulare:

- Mitteilung an die Behörde und den Träger der gesetzlichen Unfallversicherung
- Erstellen einer Gefährdungsbeurteilung
- Leitung und Beaufsichtigung der Arbeiten durch Sachkundige
- Aufstellen eines Arbeitsplans

- Erstellen einer Betriebsanweisung
- Sicherheitstechnische Maßnahmen
- Persönliche Schutzausrüstungen
- Arbeitsmedizinische Vorsorgeuntersuchungen
- gefahrstoffgerechte Entsorgung asbesthaltiger Teile

Die Arbeit ist der zuständigen Behörde und dem Träger der gesetzlichen Unfallversicherung unverzüglich, spätestens 7 Tage vor Arbeitsbeginn, mitzuteilen. Für Anbohrarbeiten ist eine Ausnahmegenehmigung vom Expositionsverbot einzuholen.

Vor Arbeitsbeginn ist eine Gefährdungsbeurteilung durchzuführen. Die Gefährdungsbeurteilung muss insbesondere folgende Punkte beinhalten:

- Ausmaß und Dauer der inhalativen Exposition
- Arbeitsbedingungen und Verfahren einschließlich der Arbeitsmittel und der Menge des Asbestprodukts
- erforderliche Schutzmaßnahmen
- Festlegung der Wirksamkeitsprüfung

Vor Arbeitsbeginn muss ein Arbeitsplan erstellt werden. Der Arbeitsplan sollte zusammen mit der Gefährdungsbeurteilung erstellt werden. Der Arbeitgeber muss nach TRGS 519 eine Betriebsanweisung erstellen, in der auf die mit dem Umgang mit Gefahrstoffen verbundenen Gefahren hingewiesen wird.

##### 4.9.6.3 Leitung und Beaufsichtigung der Arbeiten durch Sachkundige und Durchführung durch fachkundiges Personal

Gemäß TRGS 519 ist ein Sachkundiger als Aufsichtsführender mit Weisungsbefugnis schriftlich zu beauftragen. Er muss bei Arbeiten mit geringer Exposition während der Arbeitsausführung nicht ständig anwesend sein.

Das ausführende Personal muss in ausreichender Zahl zur Verfügung stehen sowie besonders unterwiesen und fachkundig sein.

##### 4.9.6.4 Sicherheitstechnische Maßnahmen (Geprüfte Arbeitsverfahren)

Gemäß TRGS 519 sind Arbeitsverfahren so zu gestalten, dass Asbestfasern nicht frei werden und die Ausbreitung von Asbeststaub verhindert wird, soweit dies nach dem Stand der Technik möglich ist. Kann dies durch technische Maßnahmen nicht sichergestellt werden, sind entsprechende persönliche Schutzausrüstungen vorzusehen. BGI 664 berücksichtigt bislang folgende geprüfte Arbeitsverfahren, einschließlich zugehöriger Arbeitsvorschriften:

- Anbohren von AZ-Rohren mittels Anbohrarmaturen (BT 1)
- Ausbau von AZ-Rohren mittels Halbschalenverfahren (Rohrkapsel) (BT 2)
- Ausbau von AZ-Rohren mittels Rohrknacken (BT 3)
- Ausbau von AZ-Rohren mittels Sägeverfahren (BT 4)



- Ausbau von asbesthaltigen Flachdichtungen (AT 1)
- grabenlose Auswechslung von AZ-Rohren im Press-/Ziehverfahren gemäß GW 322-1 (A) (BT 13)
- grabenlose Auswechslung von AZ-Rohren im Hilfsrohrverfahren gemäß GW 322-2 (A) (BT 21)
- grabenlose Erneuerung von AZ-Rohren im Berstverfahren gemäß GW 323 (M) (BT 16)

Für den Betrieb und die Instandhaltung von im Berstverfahren erneuerten Leitungsabschnitten ist zu beachten, dass der Gefahrstoff aufgrund der im Boden verbleibenden Bruchstücke der Altrohrleitung nicht beseitigt wird. Deshalb ist das Vorhandensein dieser Bruchstücke durch den Leitungsbetreiber in der Bestandsdokumentation festzuhalten und Betroffenen bei zukünftigen Erdarbeiten im Leitungsbereich mitzuteilen.

#### 4.9.6.5 Arbeitsmedizinische Vorsorge

Wird am Arbeitsplatz die Konzentration von 15.000 Asbestfasern/m<sup>3</sup> überschritten, so dürfen Arbeitnehmer dort nur beschäftigt werden, wenn sie nach ArbMedVV einer Vorsorgeuntersuchung unterzogen worden sind. Bei Anwendung geprüfter Arbeitsverfahren mit geringer Exposition müssen entsprechende Vorsorgeuntersuchungen zumindest angeboten werden.

#### 4.9.6.6 Gefahrstoffgerechte Entsorgung asbesthaltiger Teile

Ausgebaute Bauteile oder Entschichtungsabfälle sind entsprechend TRGS 519 zu behandeln, sie dürfen nicht geworfen, geschüttet, zerkleinert oder geschreddert werden. Sie sind entsprechend den Annahmebedingungen des örtlichen Abfallbeseitigers unter Beachtung der gefahrgutrechtlichen Bestimmungen zu verpacken. Für die Bereitstellung zum Transport sind Behältnisse oder Verpackungen nach TRGS 519 zu kennzeichnen und vor dem Zugriff Dritter zu sichern.

Für die Entsorgung gelten die Anforderungen des LAGA-Merkblatts. In den meisten Bundesländern sind speziell eingerichtete Landesabfallgesellschaften zuständig. Über diese Landesabfallgesellschaften ist zu erfahren, welche Unternehmen für die Entsorgung in Frage kommen (Andienungspflichten).

Asbestzement-Rohre fallen als asbesthaltige Baustoffe nach AVV seit 15.07.2006 unter gefährliche Abfälle mit der Abfallschlüsselnummer (EAK) 170605. Die Abfälle dürfen nach TgV nur mit Genehmigung der zuständigen Behörde eingesammelt oder transportiert werden. Gemäß NachwV sind für die Entsorgung auf Deponien (Monodeponien der Klasse I oder II) Entsorgungsnachweise und Begleitscheine zu führen.

#### 4.9.7 Steuerbarer grabenloser Vortrieb

Für die Erneuerung von Rohrleitungen in neuer Trasse kann der steuerbare grabenlose Vortrieb angewendet werden. Der Einsatz dieses Verfahrens ermöglicht es, in stark befahrenen Straßen neue Rohrleitungen und Kabel in Bereiche einzuordnen, die noch verfügbar sind, z.B. in Fußwege, Grünstreifen und selbst unter Baum-

und Strauchpflanzungen (im Gegensatz zum Berstling-Verfahren oder Preß-Zieh-Verfahren, bei denen die Trasse des Altrohres genutzt wird).

Bei letzteren wird schonend mit dem Wurzelbereich umgegangen, da nur ein geringer unterirdischer Bauraum beansprucht wird (vgl. *Kap. 1.2.5 Offene Bauweise und geschlossene Bauweise im Vergleich*).

Abb. 4.90 zeigt die Anwendung dieses Verfahrens in der Innenstadt von Hamburg.



Abb. 4.90: Prinzip steuerbarer, grabenloser Vortrieb

Vorteile dieser Neueinordnung liegen insbesondere darin, dass Folgeschäden an Straßen vermieden werden können, da Armaturen (Absperreinrichtungen, Hausanschlussgarnituren) nicht mehr in der Straße liegen.

- Wegfall von Setzungen
  - a) bei Verlegung in offenen Gräben
  - b) Baugruben bzw. Kopflöcher
- Wegfall von Anpassungen der Armaturendeckel bei Erneuerungsarbeiten an Straßen

Nachteilig ist, dass die Altrohrleitung im unterirdischen Bauraum verbleibt (Altlasten), während beim hydros-Verfahren die Altrohrleitung aus dem unterirdischen Bauraum entfernt wird. Allerdings ist die Trasse zu einem späteren Zeitpunkt wieder bei einer Neuordnung des unterirdischen Bauraums verfügbar.

Die Bilder zeigen ein Praxisbeispiel des Spülbohrverfahrens mit Stahlrohrleitungen, welches mit freundlicher Genehmigung der Hamburger Wasserwerke entstand.

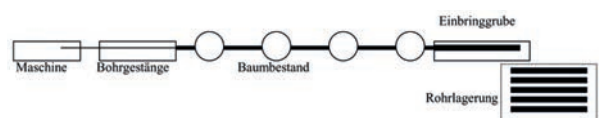


Abb. 4.91: Schema steuerbarer grabenloser Vortrieb

Folgender Verfahrensablauf kam zur Anwendung:

1. Herstellung der Pilotbohrung
2. Einbau der Stahlrohre (DN 100 von 6 m Länge mit PE-Außenkorrosionsschutz; längskraftschlüssigen Verbindungen und Aufbringen von Schrumpfmuffen als Korrosionsschutz)
3. taktweises Ziehen der Rohre in Richtung Startgrube (Baufortschritt 3 Rohre/Stunde entspricht 18 m/Stunde)

Die Abb. 4.92a zeigt die Neuverlegung einer Wasserrohrleitung DN 100 aus Stahl im Radweg/Grünstreifen. Man erkennt, dass der Verkehr ungehindert „fließt“. Lediglich der Radweg ist im unmittelbaren Baustellenbereich nicht benutzbar Abb. 4.92b. In der Abb. 4.92c ist der Maschinenkomplex mit Gestängemagazin und in der Abb. 4.92d zusätzlich die Stützflüssigkeit zu erkennen.



4. Sanierung und Erneuerung von Wasserversorgungsnetzen



Abb. 4.92: Neuverlegung einer Wasserrohrleitung



Abb. 4.93: Einbringen der Stahlrohre in die Baugrube





Abb. 4.94: Aufbringen der Schrumpfmuffe zum Korrosionsschutz



Abb. 4.95: Absaugen der Stützflüssigkeit in der Startgrube



Abb. 4.96: Werkzeuge (Bohrkopf, Kupplungen zum Ankoppeln des ersten Rohres)

#### 4.9.8 Rehabilitationsverfahren Hausanschlussleitungen nach GW 325 und [Rameil und Naujoks, 2006]

##### 4.9.8.1 Zur Lage der Hausanschlussleitungen und den früher eingesetzten Rohrmaterialien

Hausanschlussleitungen liegen im öffentlichen Straßenraum im Bereich der Fahrbahn und der Gehwege sowie z.T. auf den Grundstücken der Gebäudeeigentümer. Sie

verbinden die Versorgungsleitung mit dem Wasserzähler und nachfolgend der Gebäudeinstallation. Bei großem Abstand der Grundstücke vom Straßenraum werden unmittelbar hinter der Grundstücksgrenze Schächte mit den Wasserzählern angeordnet.

Für Hausanschlussleitungen wurde bis 1945 Blei wegen seiner leichten Verarbeitbarkeit eingesetzt (welche bis 2013 auszuwechseln waren, so dass deren Auswechslung nachfolgend nicht behandelt wird). Daneben kamen Grauguss (größere Nennweiten) und Stahl anfänglich als verzinktes Gewinderohr, später bituminiertes Gewinderohr („Habitrohr“) und anschließend verzinktes außen PE-ummanteltes Gewinderohr zum Einsatz. Seit ca. 50 Jahren werden vorzugsweise Kunststoffrohre für Hausanschlussleitungen verwendet.

##### 4.9.8.2 Verfahren zur Auswechslung von Hausanschlussleitungen

Parallel zur Entwicklung der grabenlosen Sanierung und Neuverlegung von Rohrleitungen wurden folgende Verfahren entwickelt (siehe GW 325):

- PE-Reling (Wasser und Gas)
- Dynamisches Auswechselverfahren
- Press-/Ziehverfahren
- Schneid-/Ziehverfahren
- Innendruckgestütztes Aufwickelverfahren
- Bodenverdrängungsverfahren und das
- Horizontalspülverfahren.

Diese Verfahren erfordern im Straßenraum an der Versorgungsleitung große Baugruben, so dass nachfolgend fast immer an den Straßendecken Risse und Setzungen eintreten und damit die Qualität der Straße beeinträchtigt wird.

Deshalb war es naheliegend nach Möglichkeiten zu suchen, von einer möglichst kleinen „Baugrube“ aus die Hausanschlussleitungen auszuwechseln bzw. neu zu verlegen (ff. Bohrloch- im amerikanischen Sprachgebrauch keyhole-Schlüsselloch). Entwickelt wurde in der BRD die Maschinenteknik durch die Firma TRACTO-TECHNIK [Rameil und Naujoks, 2006].

Die Keyhole-Technik wird in den USA für Gasleitungen bereits seit mehreren Jahren angewendet (geringe Tiefenlage der Gasleitungen!).

Ziel dieses Verfahrens ist die Baukosten für die Erneuerung bzw. Neuverlegung von Hausanschlussleitungen zu senken.



#### 4.9.8.3 Bestandsaufnahme, Auswahl und Anwendung des Verfahrens(nach GW 325)

Vor Beginn der Arbeiten sind unter Nutzung von Bestandsunterlagen und vor Ort folgende Randbedingungen zu erfassen:

- Länge
- Werkstoff
- Durchmesser
- Richtungsänderungen
- Abzweige und Anschlüsse
- Wassertöpfe (nur bei Gas)
- Armaturen
- Formstücke
- Schellen
- Verbindungen (Schweißwurzeldurchhänge)
- Zustand (Innen-/Außenkorrosion, Ablagerungen)
- ggf. bestehende(s) Mantelrohr und Hausein-/Mauerdurchführung (Zustand)

Die Auswahl des Verfahrens ist unter Berücksichtigung folgender Gesichtspunkte vorzunehmen:

- der Eigenschaften der Altanschlussleitung und ihrer verbleibenden Standsicherheit
- der Mindestüberdeckung (10 x Aufweitungsmaß/Verdrängungsdurchmesser, 5 x Bohrkanaldurchmesser)
- Eigenschaften des/der bestehenden Mantelrohrs bzw. Hausein-/Mauerdurchführung
- der möglichen Reinigung und Beseitigung von Hindernissen
- der fachgerechten Entsorgung der durch Baumaßnahmen anfallenden Stoffe
- der Baugrundverhältnisse (parallele/kreuzende Leitungen, sonstige Fremdanlagen, Geologie)
- der Platzverhältnisse für den Personal-, Arbeitsmittel- und Materialeinsatz (Baugruben, Anschlussräume)
- der Hygiene/Sauberkeit des Neurohrs (Erdreich, anstehendes Wasser, Druckluftschlauch, Abluft)
- der einzuleitenden und reaktiven Kräfte und der Belastbarkeit von Kellerwänden.

Die mit der Ausführung der Arbeiten beauftragten Unternehmen (und Personen) müssen die erforderliche Befähigung besitzen und diese dem Auftraggeber nachweisen. Die Befähigung für das jeweilige Verfahren gilt z.B. als nachgewiesen, wenn das Unternehmen über ein DVGW-Zertifikat nach GW 301 (A) bzw. GW 302 (A) in der entsprechenden Zusatzgruppe verfügt. Die Durchführung der Arbeiten ist nach GW 325 zu dokumentieren.

#### 4.9.8.4 Produktrohre und Verbindungen

Produktrohre und Verbindungen (Wasser bzw. Gas) müssen für die Belastungen während der Bauphase geeignet sein. Das Neurohr muss ggf. Punktlasten ausreichend widerstehen.

Die auf das neue Rohr beim Einzug aus der Mantelreibung resultierenden Zugkräfte müssen sowohl vom

Neurohr als auch von den Rohrverbindungen schadlos aufgenommen werden können (zulässige Zugkräfte und Biegeradien/Abwinkelbarkeiten siehe GW 325 Anhang A).

Folgende Neurohre können eingesetzt werden:

- PE 80- und PE 100-Rohre nach GW 335 A2 (A), PE-Xa-Rohre GW 335-A3 (A).
- PE 80- und PE 100-Rohre sind nach DVS 2207-1 mit dem Heizelementstumpfschweißverfahren zu verbinden; bei der Erneuerung ist zusätzlich die äußere Schweißwulst zu entfernen. Abkühlungszeiten sind einzuhalten, ein geeigneter Rohraußenschutz ist erforderlich
- PE-Xa-Rohre dürfen nur ohne Verbindungen eingesetzt werden. Ein zusätzlicher Rohraußenschutz ist aufgrund der hohen Vernetzung und Zähigkeit des Werkstoffs nicht erforderlich.
- Stahlrohre für Wasser nach DIN EN 10224 in Verbindung mit DIN 2460, ggf. mit Muffenverbindungen nach DVGW GW 368 (A), für Gas sind Stahlrohre nach DIN EN 10208-1 in Verbindung mit DIN 2470-1 (DIN EN 12007-3) und DVGW G 462 (A) zu verwenden. Schweißverbindungen sind nach DVGW GW 350 (A) auszuführen. Als Außenschutz gegen mechanische Belastungen beim Einzug sind Umhüllungen bzw. Ummantelungen mit folgenden Anforderungen vorzusehen (verstärkte PE-Umhüllungen nach DIN 30670 oder PP-Umhüllungen nach DIN 30678. Als zusätzliche Schutzmaßnahme können diese Umhüllungen mit einer Zementmörtelummantelung in der Sonderausführung S nach GW 340 (A), mit einer gerippten PE-Schicht oder einem GFK-Laminat versehen werden).
- Rohre aus Duktilgusseisen (Wasser) ausschließlich nach DIN EN 545 mit längskraft- und formschlüssigen Verbindungen nach GW 368 (A) und VP 545. Zum Schutz vor mechanischen Belastungen und Beschädigungen des Außenschutzes beim Einzug, sind Rohre mit einer Zementmörtelumhüllung nach DIN 30674-2 oder einer verstärkten PE-Umhüllung nach DIN EN 14628 M einzusetzen.

#### 4.9.8.5 Bettung und Überwachung der Zugspannungen

Für mit Berstlining zu erneuernde Altanschlussleitungen aus Grauguss bzw. bei Bettungsbedingungen mit vergleichbarer Punktbelastung der neuen Anschlussleitung gelten, sofern keine Mantelrohre eingesetzt werden, folgende Einschränkungen:

- PE 80- und PE 100-Rohre dürfen nicht verwendet werden (nur PE-Xa-Rohre).
- Stahlrohre müssen eine Zementmörtelummantelung aufweisen, glasfaserverstärkte Lamine auf Kunstharzbasis sind alternativ zulässig. Schweißnahtbereiche sind außenbündig, d.h. im Hinblick auf einen konstanten Außendurchmesser zu umhüllen.
- Rohre aus Duktilguss müssen eine Zementmörtelumhüllung aufweisen. In nichtbindigen, rolligen

Böden mit der Gefahr des Zurückfallens von Altrohrscherben und dem daraus resultierenden Festsitzen des einzuziehenden Rohrstrangs kann eine Verstärkung der Zementmörtelumhüllung bis zum Außendurchmesser der Muffen in Betracht gezogen werden. Reibschlüssige, längskraftschlüssige Muffenverbindungen wie z.B. Tyton-SIT dürfen nicht eingesetzt werden.

Die zulässige Zugspannung des Produktrohrs darf nicht überschritten werden. Die Zugkräfte sind kontinuierlich zu messen und aufzuzeichnen (alternativ Zugkraftbegrenzung oder Überlastungsschutz). Da bei PE die Reißfestigkeit 2,5 mal so hoch ist wie die zulässige Zugspannung, kann z.B. folgendermaßen vorgegangen werden: Die Querschnittsfläche eines als Überlastungsschutz eingesetzten Rohrstücks darf maximal 40 % der Querschnittsfläche des einzuziehenden Rohrs betragen, sofern die Werkstoffe des Überlastungsschutzes und des einzuziehenden Rohrs identisch sind. Seine Länge muss mindestens dem Außendurchmesser des einzuziehenden Rohrs entsprechen.

#### 4.9.8.6 Baugruben und Hausein-/Mauerdurchführung, Außerbetriebnahme, Leitungstrennung und -ersatzversorgung

Zu berücksichtigen sind bei Baugruben (Start-, Zwischen-, Zielgruben) die Mindestbiegeradien bzw. Abwinkelbarkeiten der Rohre und Verbindungen und die verfahrensbedingt notwendigen Arbeitsmittel (Schweiß-, Schneid-, Schäl-, Bohrgeräte, Bodenverdrängungshammer, Schub-, Zugvorrichtungen etc.) sowie deren Bedienung und sonstige Rahmenbedingungen.

Bei unmittelbar vor der Kellerwand befindlichen Baugruben ist die Hausein-/Mauerdurchführung konventionell einzubauen, sofern sie nicht bereits G 459-1 (A) bzw. W 404 (M) entspricht.

Bei Relining, Erneuern und Auswechseln sollte soweit möglich die bestehende Hausein-/Mauerdurchführung entfernt und der verbleibende Mauerdurchbruch (Kernbohrung) für die neue Hausein-/Mauerdurchführung wieder verwendet werden.

Eine Hausein-/Mauerdurchführung darf ohne Baugrube vom Keller aus eingebaut werden, sofern die Anforderungen von G 459-1 (A) bzw. W 404 (M) berücksichtigt werden. Hierbei ist unabhängig vom Medium besonders auf die Dichtheit zu achten, um eine Verschleppung von Leckgas aus der Versorgungs- oder Anschlussleitung in den Keller auszuschließen (Gas-Hauseinführungen müssen VP 601 entsprechen. DIN 18195-6 ist ggf. hinsichtlich der Bauwerksabdichtung zu berücksichtigen).

Außerbetriebnahme, Leitungstrennung und Ersatzversorgung müssen nach G 465-2 (A) bzw. W 400-3 (A) erfolgen.

#### 4.9.8.7 Verfahren nach GW 325

Die Altanschlussleitung ist außer Betrieb zu nehmen und wird zum durchgängigen Montagerohr. Die Hauseinführung ist hinsichtlich ihrer weiteren Eignung zu

bewerten. Hindernisse und Rückstände sind zu beseitigen, eventuelle Hohlräume sind zu verfüllen.

Das PE-Rohr ist mit der Sanierungskapsel zu verbinden und nach dem Einzug, ggf. vor dem Verpressen, auf Dichtheit zu prüfen. Danach erfolgt das Relining, die Verpressung mit der überstehenden Altanschlussleitung, Ringraumdichtung, Ringraumverfüllung, Wanddichtung, Kantenschutz etc..

Alternativ kann die Altanschlussleitung zusätzlich in einer Baugrube vor der Hauswand getrennt werden (wird so zum nicht durchgängigen Montagerohr, s.o.). Der Ringspalt ist bei Bedarf (zur Vermeidung von Drainagewirkungen oder unzulässigen Gasansammlungen in sonstigen Hohlräumen und zur Fixierung des PE-Rohrs; siehe auch GW 320-1 (A)) zu verfüllen. Dafür darf auch ein hydraulisch abbindernder, fließfähiger Mörtel eingesetzt werden.

#### PE-Relining (Wasser)

Es ist nach GW 320-1 (A) zu verfahren.

#### Berstlining

Die Altanschlussleitung ist beidseitig zu trennen (Versorgungsleitung/Kellerwand). Mit einer Kernbohrung in der Kellerwand kann auch im Keller gestartet bzw. gezogen werden.

Dynamisches Berstlining eignet sich für verdichtete und steinige Böden sowie Altröhre aus spröden Werkstoffen, nicht jedoch für Neurohre aus duktilem Gusseisen und Stahl. Statisches Berstlining eignet sich für gut verdrängbare, homogene Böden sowie Altröhre aus spröden und zähen Werkstoffen.

Beim **dynamischen Berstlining** ist die Zugvorrichtung in oder oberhalb der Zielgrube an der Versorgungsleitung (siehe Kap. 4.9.5.2 *Dynamisches Berstliningverfahren* nicht ersichtlich, welches Bild gemeint ist) oder an der Hauswand/im Keller einzubauen. Das Zugseil ist von der Zielgrube mit Hilfe einer Rohrahle (z.B. Glasfibrerstab) bis zur Startgrube zu ziehen. Dort ist der Berstkörper (modifizierte Erdrakete) mit Aufweitung für das nachzuziehende Neurohr zu montieren.

Beim **statischen Berstlining** ist die Zugvorrichtung in der Zielgrube an der Versorgungsleitung oder an der Hauswand/im Keller einzubauen. Das Gestänge ist von der Zielgrube bis zur Startgrube bis zu schieben. Dort ist der Berstkörper mit Aufweitung für das nachzuziehende Neurohr zu montieren.

Der Berstkörper schneidet Altröhre aus zähen Werkstoffen bzw. zertrümmert Altröhre aus spröden Werkstoffen und verdrängt deren Fragmente radial in den angrenzenden Baugrund. Das Aufweitungsmaß (d.h. Außendurchmesser der Aufweitung minus Innendurchmesser des Altrohrs) ist abhängig von den Bodenverhältnissen im Hinblick auf mögliche Erschütterungen, Bodenverschiebungen und hieraus resultierende Hebungen an der Oberfläche zu wählen. Die Abstände zwischen Berstkörper, Aufweitung und Neurohr sind zu minimieren, um Scherbeneinfall zu vermeiden. Der Überschneid (d.h. Außendurchmesser der Aufweitung minus Außendurchmesser des Neurohrs) ist so zu wäh-

len, dass eine Scherbenverkantung minimiert wird. Der Außendurchmesser der Aufweitung kann in der Regel so gewählt werden, dass er dem maximalen Außendurchmesser der nächstgrößeren Nennweitausführung des Neurohrs entspricht (maßgeblich ist der größte Durchmesser, der z.B. an Muffenverbindungen auftritt). Der Boden muss zur Übertragung der Schneidkräfte eine ausreichende Haftreibung aufweisen.

Der lichte Abstand zu parallelen Leitungen muss mindestens das 3-fache des Aufweitungsmaßes betragen. Je nach Bodenverhältnissen bzw. Werkstoff und Art der parallelen Leitungen sind gegebenenfalls größere Abstände zu wählen. Bei kritischen Abständen, z.B. zu kreuzenden Leitungen, sind mit dem Betreiber dieser Leitungen besondere Schutzmaßnahmen (z.B. Freilegen) zu vereinbaren.

Für Asbestzement muss eine Anerkennung als standardisiertes Arbeitsverfahren mit geringer Exposition nach TRGS 519 vorliegen. Andernfalls sind besondere Schutzmaßnahmen nach TRGS 519 einzuhalten.

#### **Dynamisches Auswechselverfahren**

Die Altanschlussleitung ist beidseitig zu trennen (Versorgungsleitung/Kellerwand). Mit einer Kernbohrung in der Kellerwand kann auch im Keller gestartet werden. Der Bodenverdrängungshammer ist an der Altanschlussleitung zu montieren. Er rammt die Altröhre in die Zielgrube, wo sie sukzessive abzutrennen und zu entnehmen sind. Gleichzeitig wird das Neurohr in den aufgeweiteten freien Querschnitt eingezogen. Die Kraffeinleitung muss der Korrosion und Länge der Altanschlussleitung sowie der Bodenhaftung Rechnung tragen.

#### **Press-/Ziehverfahren**

Die Altanschlussleitung ist beidseitig zu trennen (Versorgungsleitung/Kellerwand). Mit einer Kernbohrung in der Kellerwand kann auch im Keller gezogen werden. Die Zugvorrichtung ist mit Widerlagerplatte in der Baugrube an der Versorgungsleitung oder im Keller vor einer Kernbohrung im Durchfahrbereich der Kellerwand zu installieren. Das Gestänge mit der Zugvorrichtung ist einzubringen und der Presskopf mit Aufweitung zu montieren. Der Presskopf schiebt die Altröhre in die Zielgrube, wo sie sukzessive abzutrennen und zu entnehmen sind. Gleichzeitig wird das Neurohr in den aufgeweiteten freien Querschnitt eingezogen. Stahlrohre können auch ohne Zuggestänge und Druckplatte, somit ohne Mindestnennweite, mit äußeren Greifbacken herausgezogen werden. Die Kraffeinleitung muss der Korrosion, Länge und ggf. Zugfestigkeit der Altanschlussleitung sowie der Bodenhaftung Rechnung tragen.

#### **Schneid-/Ziehverfahren**

Die Altanschlussleitung ist beidseitig zu trennen (Versorgungsleitung/Kellerwand). Mit einer Kernbohrung in der Kellerwand kann auch im Keller gezogen werden. Zur Erfassung ferromagnetischer Bauteile ist ggf. eine Sonde einzuführen. Die Zugvorrichtung ist in oder oberhalb der Zielgrube an der Versorgungsleitung oder

an der Kellerwand zu montieren. Das Zugseil ist manuell von der Startgrube zur Zielgrube zu schieben. In der Startgrube ist der Schneid-/Aufweitkopf an das Zugseil zu montieren. Das Altröhr wird in zwei Hälften geschnitten, vom Erdreich gelöst und herausgezogen. Gleichzeitig werden ein weiteres Seil und anschließend das Neurohr eingezogen.

#### **Innendruckgestütztes Aufwickelverfahren**

Die Altanschlussleitung ist beidseitig zu trennen (Versorgungsleitung/Kellerwand). Mit einer Kernbohrung in der Kellerwand kann auch im Keller gezogen werden.

Die Zugvorrichtung ist in oder oberhalb der Baugrube an der Versorgungsleitung oder an der Kellerwand aufzubauen. Der Spezial-Zugschlauch ist manuell von der Startgrube zur Zielgrube zu ziehen. Durch Innendruckbeaufschlagung ist eine kraftschlüssige Verbindung mit der Rohrwand herzustellen. Das Altröhr ist mit dem Adapter, Aufweitkopf und nachzuziehenden Neurohr zu verbinden, am anderen Ende herauszuziehen und aufzuwickeln.

#### **Bodenverdrängungsverfahren**

Im Verfahren mit ungesteuertem Bodenverdrängungshammer ist dieser mit einem längsbeweglichen Stufenkopf in einer Startgrube an der Versorgungsleitung oder außerhalb der Kellerwand zu montieren. Er kann mit einer Kernbohrung in der Kellerwand auch aus dem Keller heraus gestartet werden. Er stellt eine Erdröhre her, in die er das Neurohr nachzieht.

Wird am Bodenverdrängungshammer ein asymmetrischer, drehbarer Bohrkopf mit Sender angebracht, kann das Verfahren auch begrenzt steuerbar über größere Längen durchgeführt werden

Im Verfahren mit Pilotgestänge ist die Schub- bzw. Zugvorrichtung in einer Baugrube an der Versorgungsleitung oder außerhalb der Kellerwand zu montieren. Sie kann nach einer Kernbohrung in der Kellerwand auch im Keller arbeiten. Nach der Pilotbohrung ist der Bohrkopf gegen eine Aufweitung zu wechseln und damit das Neurohr einzuziehen. Bei der ungesteuerten Variante wird das Pilotgestänge abschnittsweise ohne Rotation durchgeschoben. Die gesteuerte Variante basiert auf einem asymmetrischen, drehbaren Bohrkopf mit Sender. Optische Verfahren ermöglichen eine besonders genaue Richtungskontrolle.

Bodenverdrängungshämmer und Pilotgestänge können in verdrängbaren Böden (Sand, Lehm, auch mit Steineinschlüssen, Kies etc.) eingesetzt werden, nicht jedoch im Fels. In zu weichen Böden (Moor, Schlick etc.) kann das jeweilige Eigengewicht Abweichungen nach unten bewirken.

Bei ungesteuerten Verfahren sind im Hinblick auf mögliche Abweichungen von der vorgesehenen Trasse die Baugrundverhältnisse besonders zu berücksichtigen.

#### **Horizontalspülverfahren**

Die Pilotbohrung ist an der Versorgungsleitung zu beginnen (Zielgrube für Neurohreinzug) und vor dem



Haus zu beenden, sonst ist nach einer Kernbohrung in der Kellerwand im Keller zu beginnen. Das Bohrgestänge muss flexibel, die Bohrlanze (Bohrkopf) asymmetrisch ausgebildet sein und über einen Sender fortlaufend räumlich geortet und gesteuert werden. Bei der Aufweitbohrung, ggf. mit einem Felsaufweitungskopf (Hole-Opener), ist das Neurohr nachzuziehen.

Bentonit- und/oder Polymerspülungen sind im Lockergestein einzusetzen. Die Bohrsuspensionsstrahlen aus der Bohrkopfspitze bzw. der Aufweitung (Backreamer) lösen das Bodenmaterial hydromechanisch (erforderlichenfalls schlagunterstützt). Das gelöste Material wird zum Teil über den Rückfluss der Bohrspülung entlang des Bohrgestänges ausgetragen, zum Teil wird das Lockergestein im Umgebungsbereich der Bohrung umgelagert, wobei dort eine neue dichtere Lagerung mit Verlust an Porenraum entsteht. Zugleich kann eine weitere stabilisierende Porenraumauffüllung mit Bentonit und/oder Polymeren erfolgen. Im Festgestein kommen zusätzlich Bohrlochmotoren (Mudmotoren) zum Einsatz.

Die Druckluftspülung ist für mittel bis dicht gelagerte, teilweise bindige, auch steinige verlagerbare Böden sowie Festgestein einzusetzen. Die Druckluft treibt den Schlagkolben eines Hammers an, welcher hinter dem Bohrkopf bzw. der Aufweitung angebracht ist. Eine weitere Funktion der Druckluft ist der Austrag des Bohrkleins. Eine stetige Druckentspannung im Bohrkanal ist sicherzustellen, besonders nach jedem Gestängewechsel. Zusammensetzung und Menge des ausgetragenen Bohrkleins sind ständig zu beobachten. Flüssigkeitsspülung und Druckluftspülung können kombiniert werden (Aerosol).

Der Bohrkanal ist für einen schadfreien Neurohreinzug auszubilden, der Überschnitt des Bohrkanales entsprechend zu wählen (maßgeblich ist der größte Durchmesser, der z.B. an Muffenverbindungen auftritt) und der Abtransport des Bohrkleins sicherzustellen. Der durch den Überschnitt entstandene Ringraum ist mit Bohrspülung und, wenn eine Abströmung im Boden möglich ist, mit einem zusätzlichen Dämmstoff vollständig zu verfüllen. Der Verfülldruck muss die Beulfestigkeit des Neurohrs berücksichtigen. Die Bohrspülung darf nicht aus dem Bohrkanal abfließen. Bei Grundwasserdurchströmung sind geeignete Spülungszusätze einzusetzen. Polymere dürfen höchstens der Wassergefährdungsklasse 1 entsprechen (siehe Verwaltungsvorschrift für wassergefährdende Stoffe – VwVsS).

Der Auftraggeber muss die Trasse mit Beachtung von Mindeststrahlen und Ausweichtoleranzen vorgeben. Der tatsächliche Verlauf ist aufzuzeichnen. Für die Gütesicherung auf der Baustelle, Prüfung und Überwachung ist GW 321 (A) zu beachten. Geräteführer sind in Anlehnung an GW 329 (A) Ausbildungsstufe A zu schulen und zu prüfen.

#### 4.9.9 Straßen-Folgeschäden im Bereich der Hausanschlussgruben

Grabenlose Erneuerungen von Wasser- und Gasleitungen gehören heute zum Standard der Tiefbaubranche, haben sich bewährt und sind wirtschaftlich.

Gleichzeitig verursachen Hausanschlüsse durch große Hausanschlussgruben und den Straßendeckenschluss relativ hohe Kosten. Bisher treten bei grabenlosen Sanierungs- und Erneuerungsverfahren infolge der Verfüllung und des Straßendeckenschlusses der Hausanschlussgruben durch Setzungserscheinungen der wieder „instand gesetzten“ Straßen Folgeschäden auf.

Ein bisher unzureichend gelöstes Problem ist bei grabenlosen Sanierungs- und Erneuerungsverfahren die Ausführung der Hausanschlüsse, für die große Baugruben erforderlich sind und bei denen Setzungserscheinungen der wieder „instand gesetzten“ Straßen und Rissbildungen in den Fahrbahndecken als Folgeschäden auftreten.

#### 4.9.10 Bohrloch-Verfahren (Keyhole-Bohrtechnik) [Roscher et al., 2012]

##### Zur Verfahrensentwicklung

Unter der „Keyhole-Bohrtechnik“ ist zu verstehen, dass Hausanschlüsse für Wasser- oder Gasversorgungsleitungen in der Straße oder im Gehweg aus einem kleinstmöglichen Bohrloch direkt bis ins Haus verlegt werden.

Mit einem Bohrtechnik-Gerät wird in der Straße oder im Fußweg ein Bohrloch bis zur Alt- oder Neurohrleitung hergestellt. Dabei werden mit einem Kernbohrer Bohrkern bei Beton- bzw. Asphaltstraßen mit einer ausreichenden Stärke entnommen.

Es muss jedoch unbedingt beachtet werden, dass Straßen und Fußwege in Deutschland einen anderen Deckenaufbau haben als im Ausland und somit der „Idealfall - runder Bohrkern“ nicht immer realisiert werden kann. Straßen mit Pflasterdecken erfordern eine andere Vorgehensweise. Der Boden aus dem Bohrloch wird mittels Saugbagger entnommen. Die notwendigen Arbeiten in der Baugrube für die Herstellung des Hausanschlusses werden mit speziellen Werkzeugen von der Oberfläche aus durchgeführt. Nach dem Verfüllen des Bohrloches kann bei Betonstraßen der ausgebohrte Beton- bzw. Asphaltbohrkern wieder eingesetzt werden.

Die Herstellung der Hausanschlussleitung kann sowohl vom Haus aus als auch vom Bohrloch her erfolgen. Dafür stehen zurzeit folgende Verfahren zur Verfügung:

- grabenlose Verlegung der Hausanschlussleitungen mittels steuerbarer Micro-Drillanlage
- Sanierung von bestehenden Hausanschlussleitungen mit Austausch der Altleitung mittels Seilzuggerät
- Sanierung von bestehenden Hausanschlussleitungen mittels ortbarer Erdraketen aus dem Keller heraus

##### Herstellung des Bohrloches mit Kronenbohrgerät und Einsatz eines Saugbaggers

Für die Herstellung des Bohrloches wurde von TRACTO-TECHNIK der GRUNOPIT K entwickelt, mit dem das Bohrloch mit einem Durchmesser von 65 cm hergestellt wird. Mit einem Saugbagger kann das gelöste Bodenmaterial aus dem Bohrloch entfernt werden. Dabei werden bei der Freilegung der Versorgungs-

leitung einige Hilfsgeräte (Spaten usw.) eingesetzt und zugleich das Bodenmaterial abgesaugt, um die Leitung nicht zu beschädigen.

Danach können mit unterschiedlichen Verfahren die Hausanschlussleitungen für die Wasser- bzw. Gasversorgung zwischen Bohrloch und Gebäude eingebaut werden und nachfolgend die Armatur von der Geländeoberfläche aus installiert werden.

**Montage der Anbohrarmatur im Bohrloch auf der Hauptleitung mittels EWE-Armatur**

Für die Verbindung der Hausanschlussleitung mit der Versorgungsleitung hat das Unternehmen EWE aus Braunschweig die oben beschriebene Gerätetechnik entwickelt. Das Unterteil der Anschlussarmatur wird von der Geländeoberfläche aus mit einer Vorrichtung eingebracht und anschließend das Oberteil mit der Armatur aufgesetzt.

Mit den EWE-Armaturen ist der Anschluss an Versorgungsleitungen unterschiedlicher Rohrmaterialien möglich (siehe oben).

**Reinigung von Altleitungen im Bohrloch zum Anschluss neuer Hausanschlussleitungen**

Zur Vorbereitung des Anschlusses neuer Hausanschlussleitungen gehört die Reinigung der Altleitungen.

Für die Reinigung außen verschmutzter und noch zulässig korrodierter metallischer Altleitungen (mit ausreichender statischer Sicherheit) können Reinigungsbänder verwendet werden, welche umlaufend um das Altrohr bewegt werden.

Alte Armaturen können ebenfalls mit Schneidgeräten von oben entfernt werden. Danach kann der Anschluss der Armaturen wie oben beschrieben erfolgen.

**Anschluss an neu verlegte Kunststoffrohrleitungen durch Anschweißen von Kunststoffarmaturen**

Ebenfalls möglich ist das Anschweißen von Kunststoffarmaturen. Dafür muss mit einem Schälgerät die Oxidschicht der Kunststoffrohrleitung entfernt werden. Das Bohrloch mit 65 cm Durchmesser lässt das Schälen zu, so dass auch diese Anschlussvariante realisiert werden kann.

**Verfüllen der Baugrube und Einkleben des Bohrkerns**

Im „Idealfall – runder Bohrkern“ ist bei Beton- bzw. Bitumendecken (Mindeststärke 15 cm) das Einsetzen des Bohrkernes nach vorausgegangener Verfüllung des Bohrloches möglich. Der Zwischenraum zwischen Straßendecke und Bohrkern kann mit einer Vergussmasse, welche dauerhaft frostbeständig und gering schrumpfend sein muss, gefüllt werden.

**Wirtschaftlichkeitsbetrachtung**

Entscheidende Kriterien für die Wirtschaftlichkeit des Verfahrens sind:

- die Baugrubengröße und Tiefenlage der Leitung (1) und

- die Hausanschlussdichte (2).

**Zu (1) Baugrubengröße und Tiefenlage der Leitung**

Aufgrund der in der Bundesrepublik zu berücksichtigenden Frosttiefe (regional unterschiedlich) werden Wasserleitungen in unterschiedlicher Tiefenlage bzw. mit unterschiedlicher Überdeckung (weitere Faktoren: Dimension der Leitung, Durchfluss usw.) eingebaut. Daraus folgt, dass die Baugruben für die Hausanschlüsse mit unterschiedlichen Tiefen ausgeführt werden müssen.

Eine Verkleinerung der Baugruben bzw. die Reduzierung der „Baugrube“ auf ein Bohrloch würde die gleichen Vorteile wie die o.g. Vorteile der grabenlosen Bauweise bieten, wie:

- erhebliche Reduzierungen von Erdarbeiten und Oberflächenaufbrüchen sowie damit einhergehende Kostenreduzierungen,
- geringere Deponiebelastung durch Aushub- und Straßenaufbruchmaterial (weniger Bedarf an Austauschmaterial zum Wiederverfüllen) usw.

Ein wesentliches Kriterium für die Wirtschaftlichkeit der Erneuerung der Leitungssysteme in grabenloser Bauweise sind die Hausanschlüsse, da sie z.Z. noch große Baugruben erfordern – z.B. bei Wasserrohrleitungen 1 m · 1,5 m und Baugrubensohltiefen von 1,0 bis 1,5 m in Abhängigkeit von der Frosttiefe, dem Durchmesser der Leitung, dem Durchfluss bzw. der Fließgeschwindigkeit usw.

In der Bundesrepublik Deutschland kann von folgenden Werten der Armaturendichte und der versorgten Einwohner pro km Wasserrohrnetz ausgegangen werden:

<u>Armaturen</u>	<u>Stück/km Rohrnetz</u>
Hydranten	6 - 9 Stück
Absperrarmaturen	7 - 11 Stück
Hausanschlüsse	35 - 50 Stück

<u>Versorgte Einwohner</u>	<u>pro km Rohrnetz</u>
in Großstädten	300 - 450 Personen
in Kleinstädten	100 - 220 Personen
großräumige Versorgung	20 - 80 Personen

Eine Überschlagsrechnung zeigt die mögliche Reduzierung des Aushub- und Einbaumaterials eindeutig. Pro 1000 ausgewechselter Hausanschlüssen ist z.Z. mit ca. 2.000 m<sup>3</sup> Aushub- und Einbaumaterial zu rechnen und damit mit den entsprechenden Deponie-, Transport- und Materialkosten.

Erforderlicher Grabenaushub bei 1,0 bzw. 1,5 m Baugrubensohle:

$$1,5 \text{ bis } 2,25 \text{ m}^3 (1 \text{ m} \cdot 1,0 \text{ m} \cdot 1,5 \text{ m bzw. } 1 \text{ m} \cdot 1,0 \text{ m} \cdot 1,5 \text{ m})$$

Erforderlicher Aushub eines Bohrloch (D) 1,0 bzw. 1,5 m Baugrubensohle:

$$D = 0,65 \text{ m } (0,3 \text{ m}^3 \text{ bzw. } 0,5 \text{ m}^3)$$



**Zu (2) Hausanschlussdichte**

Als Maßstab für Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen kann die **Anzahl der Hausanschlüsse/100 m Leitungs-trasse** und die Größe der Hausanschlussgruben und die Tiefenlage der Rohrleitungen herangezogen werden.

Bebauungen aus der sog. Gründerzeit (zwischen 1870 und dem Beginn des 2. Weltkrieges) haben Hausanschlussdichtewerte von 8 bis 12 HA/100 m Leitungs-trasse.

Abb. 4.97 zeigt einen Ausschnitt einer Bestandskarte mit einer Leitungslänge von Netzknoten zu Netzknoten

von 181 m mit insgesamt 17 Hausanschlüssen (beidseitig), woraus sich eine Hausanschlussdichte von 10,64 HA/100 m ergibt.

In Außenstadtgebieten mit Einzelhausbebauung und Grundstücksgrößen von 500 m<sup>2</sup> bis 1.000 m<sup>2</sup> (20 m x 25 m bzw. 20 m x 50 m, d.h. Frontlängen von 20 m) sinken die Hausanschlussdichtewerte auf 2,5 bis 10 HA/100 m bei beidseitiger Bebauung. Villengrundstücken mit Grundstücksgrößen von 1.000 m<sup>2</sup> und mehr haben noch niedrigere Hausanschlussdichten.

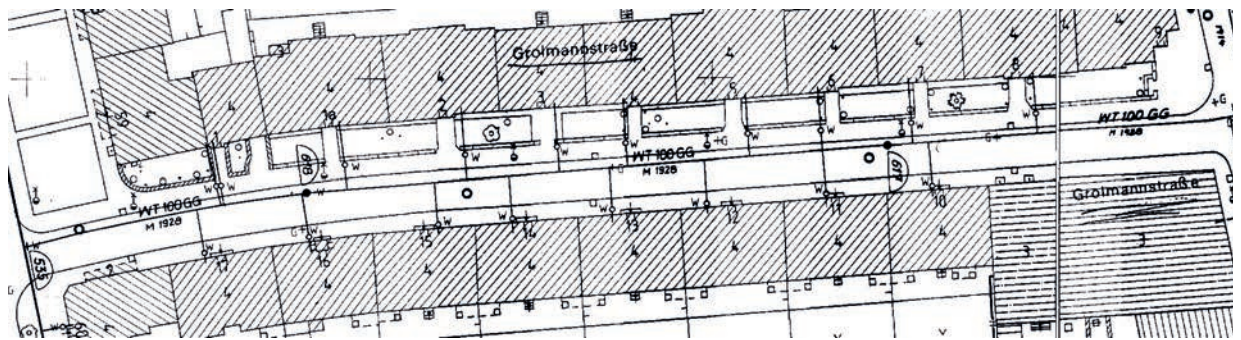


Abb. 4.97: Ausschnitt einer Bestandskarte mit insgesamt 181 m mit 17 Hausanschlüssen (Gründerzeitbebauung beidseitig)

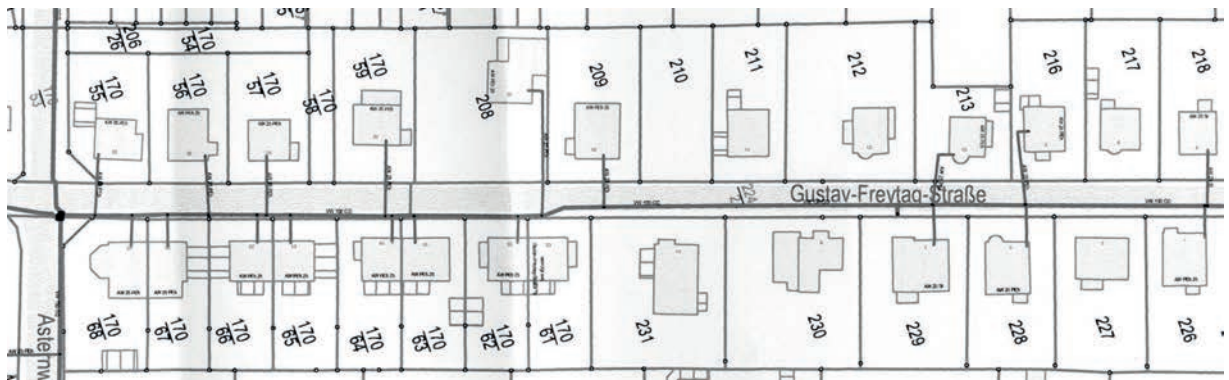


Abb. 4.98: Einzelhausbebauung mit hoher Anschlussdichte

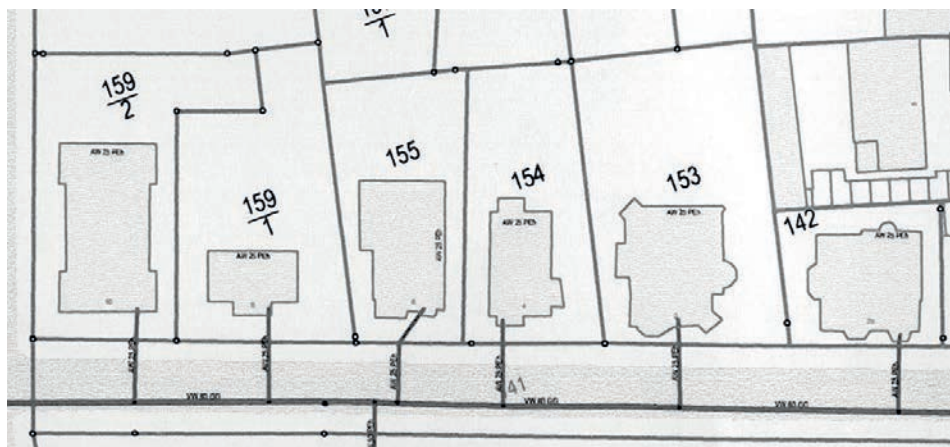


Abb. 4.99: Villenbebauung einseitig Bebauung und große Grundstücke



Tab. 4.44: Hausanschlussdichte bei ein- und beidseitiger Bebauung

	Hausanschlussdichte (HA/100 m)				
	Gründerzeitbebauung 4- bis 5-geschossig	Einfamilienhausbebauung		Villenbebauung	
		z.B. 20 · 25 [m <sup>2</sup> ]	z.B. 40 · 25 [m <sup>2</sup> ]	z.B. 40 · 25 m <sup>2</sup>	z.B. 50 · 50 [m <sup>2</sup> ]
Frontlänge in m*	10	20	40	40	50
Einseitige Bebauung	10	5	2,5	2,5	2
Zweiseitige Bebauung	20	10	5	5	4
Richtwerte	8 - 12	2,5 - 10		2,0 - 5,0 und kleiner	
Einwohnerdichte	120 - 200 E/ha				
Zweiseitige Bebauung	abhängig von Grundstücksgröße und Pers./Wohnung	80 - 40 E/ha (4 Pers./Einf.)		40 - 20 E/ha (4 Pers./Einf.)	

\*Unter Frontlänge ist die Grundstückslänge an der Straße zu verstehen.

### Straßenbau und Deckenschluss

Ein wesentliches Problem ist der Deckenschluss nach Herstellung der Hausanschlüsse. Bei herkömmlicher Ausführung der Hausanschlüsse, sollte der Deckenschluss in der Bauweise erfolgen, in der die Straßendecke gebaut worden ist, d.h. als Betonbauweise, bituminöser Bauweise oder als Pflasterdecke.

Bei den rechteckig ausgeführten Baugruben treten bei Beton- und Bitumendecken trotz Einbau von Fugenbändern nachfolgend Setzungsschäden und Risse auf.

Bei Pflasterdecken ist die Wiederherstellung des ursprünglichen Spannungszustandes nicht möglich, da die Pflasterdecken bei Neupflasterung durch das Quergefälle im Bereich der Baugruben diesen Spannungszu-

stand verlieren. Hinzu kommt noch ein weiterer Aspekt. Beim Überfahren der „verschlossenen Baugrube“ bzw. Straßendecke wird durch den Sog der Fahrzeugreifen der Sand herausgesaugt, nachfolgend tritt Regen- oder Tauwasser in die Fugen ein und die Setzungserscheinungen werden verstärkt.

Die folgenden Bilder zeigen Einsenkungen im Pflaster von Hausanschlussbaugruben bzw. bei offener Grabenverlegungen den Straßenzustand, z.B. von Pflasterdecken mit Pfützen nach Regen und Setzungen bzw. von Asphaltstraßen mit Fugen und Rissen.

### Straßendecken werden schließlich zu Flickendecken



Abb. 4.100: Pflasterdecken



Abb. 4.101: Bitumendecke Weimar (trotz Fugenband Riss und Setzungen)



Abb. 4.102: Straßenschäden mit Rissen in den Ecken bei rechteckigem Aushub

### Verfahrenstechnik

#### Varianten für die Realisierung

- **Variante 1** sieht vor aus einer sehr kleinen Baugrube heraus zu arbeiten. Die Einsatzgebiete für eine solche Anlage liegen unter anderem im Bereich der Erhöhung der Anschlussdichte in vorhandenen Gasnetzen, aber auch zukünftig im Bereich der Neuverlegung von Wasser-Hausanschlussleitungen.
- **Variante 2** für die Sanierung von Hausanschlussleitungen sieht vor, bereits vorhandene Hausanschlussleitungen zu nutzen. Dabei ist die vorhandene alte Hausanschlussleitung aufzuschneiden, aufzuweiten und im gleichen Arbeitsgang ein neues Produktrohr bzw. Schutzrohr einzuziehen.

Die Arbeitsweise ist vergleichbar mit dem Berstlining für Versorgungsleitungen, allerdings sind hierfür spezielle der Aufgabenstellung angepasste Werkzeuge notwendig.

Aus diesen Anforderungen sind schließlich zwei unterschiedliche Maschinen entstanden, das **Bohrgerät GRUNDOPIT K** und das **Seilzugerät GRUNDOTUGGER II.**, die eine wichtige Gemeinsamkeit aufweisen.

Beide Anlagen arbeiten aus einem Keyhole heraus, welches lediglich einen Durchmesser von 650 mm besitzt. Für beide Aufgabenstellungen ist es notwendig, eine entsprechende Hausanschlussarmatur im Keyhole montieren zu können.

#### Vorteile grabenloser Techniken im Hausanschlussbereich und Vergleich zur konventionellen Rohrlegung

Bei der Auswechslung von Hausanschlüssen in der offenen Bauweise nehmen erfahrungsgemäß die Tiefbaukosten den größten Anteil an den Gesamtkosten eines Hausanschlusses ein. Dagegen ergeben sich beim Einsatz der grabenlosen Verfahren neben dem kostenmäßig exakt zu erfassenden Vorteil des Wegfalls von Fahrbahn- und Gehwegaufbruch sowie Aufgrabung in Gar-

tenanlagen eine Reihe von weiteren Vorzügen, die wertmäßig nur schlecht zu beurteilen sind, aber einen immer größer werdenden Stellenwert einnehmen.

Durch den Einsatz der grabenlosen Techniken für die Auswechslung von Hausanschlussleitungen ergeben sich gegenüber der konventionellen offenen Bauweise folgende Vorteile:

- Minimierung des Tiefbauaufwandes
- Verringerung des Fahrbahn- und Gehwegaufbruchs sowie des Aufbruchs von Grundstückseinfahrten, Terrassen usw.
- Reduzierung der Arbeiten für die Oberflächenwiederherstellung
- Minimierung der Beeinträchtigung des Verkehrs und der Bürger
- Verringerung der während der Bauphase durch Maschinen hervorgerufenen Umweltbelastungen wie Baustellenlärm, Erschütterungen und Schadstoffe (Abgase)
- Auswechslung von Hausanschlussleitungen mit einem Minimum an Aufwand auch im Winter
- Erhalt der natürlichen Umwelt durch Unterfahren von Bäumen und Sträuchern bei überpflanzten Leitungstrassen
- Reduzierung der Bauzeiten und der Baukosten

## 4.10 Fernwasserversorgungssysteme

### 4.10.1 Zum Bau von Fernwassersystemen in Deutschland

Fernwassersysteme wurden in Deutschland im 20. Jahrhundert aus unterschiedlichen Gründen gebaut

- a) Wassermangel (Wasserüberschuss in Ballungsgebieten, für Wassermangelgebiete),
- b) gestiegene Güteanforderungen bzw. nicht mehr ausreichende Güte örtlicher Vorkommen,
- c) Versorgungszuverlässigkeit durch Verbund
- d) wirtschaftliche und technische Aspekte.

So erfolgte der Bau der sog. Harzwasserleitung für die industrielle Entwicklung im Raum Wolfsburg bereits vor dem 2. Weltkrieg [Naber, 1996]. Das mitteldeutsche Verbundsystem Elbaue-Ostharz wurde für die Industrie in Sachsen-Anhalt und Sachsen errichtet und sollte nach Planungen in der DDR-Zeit mit den Nordthüringer Fernwassersystem verbunden werden.

Von Fernleitungen spricht man in der Regel bei

Leitungen	$\geq$ DN 300,
täglicher Transportmenge	$\geq$ 100.000 m <sup>3</sup> und einer
Transportentfernung	$\geq$ 50 km.

Fernwasserversorgungssysteme wurden in Deutschland vor allem nach dem 2. Weltkrieg gebaut, Planungen lagen in vielen Gebieten jedoch bereits aus der Zeit vor dem 2. Weltkrieg vor, so gab es erste Konzepte in Thüringen bereits vor dem 1. Weltkrieg [Wurster, 1979] und ebenso in anderen Teilen Deutschlands [Schmidt und Priebe, 1984].



Beispielhaft seien folgende Fernwasserversorgungssysteme genannt:

#### **Fernwasserversorgungssysteme vor dem 2. Weltkrieg**

- Frankfurt/Main, 1879 und 1911 aus dem Vogelsberg und Spessart
- München, Fernleitungen 1879 und 1911 aus dem Mangfallgebiet
- Zweckverband Landeswasserversorgung Donau-niederung 1917 [Wurster, 1979],
- Harzwasserversorgung - Bremen, Wolfsburg, [Schmidt und Priebe, 1984]
- Großräumige Wasserversorgung im Ruhrgebiet

#### **Fernwasserversorgungssysteme nach dem 2. Weltkrieg**

- Baden-Württemberg/Bayern (Bodensee-Wasserversorgung 1954 [Naber, 1996])
- Thüringen (Nordthüringen, Ostthüringen Südthüringen - 60er und 70er Jahre [Roscher, 2006])
- Sachsen-Anhalt und Sachsen (Rappbode-Elbaue; Rappbode-Talsperre 1954 [FWV, o.J.]
- Sachsen (Talsperre Eibenstock für Chemnitz und Zwickau) [Klemm et al., 1994]

Eingesetzt wurden unterschiedliche Rohrwerkstoffe:

- metallischen Rohrwerkstoffe
  - Grauguss,
  - Duktulguss und
  - Stahl.
- Spannbetonrohre nach unterschiedlichen Herstellungsverfahren und mit unterschiedlichen Rohrverbindungen sowie
- Asbestzementrohre im kleineren Nennweitenbereich.

Schäden an Fernwasserversorgungsleitungen sind demzufolge ebenso unterschiedlicher Art, wie

- Abtrag des bituminösen Innenschutzes in der Betriebszeit und
- Korrosionsschäden bei metallischen Rohrleitungen sowie
- undichte Muffen und Werkstoffschäden an Spannbetonrohrleitungen.

### **4.10.2 Zum Einsatz von Rohrmaterialien**

#### **4.10.2.1 Kriterien für die Auswahl der Rohrwerkstoffe**

##### **Grundsätze - allgemein**

Für die Wahl des Rohrmaterials können Rohrdurchmesser und Innendruck entscheidend sein, Kostenvergleiche dürfen sich nicht nur auf bloße Baumaßnahmen erstrecken (Rohrlieferung, Verlegung, Tiefbau), sondern müssen auch auf die Wartung und Unterhaltungsmaßnahmen einschließen. Besonders hoch zu bewerten ist die langfristige betriebliche Sicherheit. Bei großer Auslastung der Fernleitung und späterem Versagen der Fernleitung können gravierende Versorgungsengpässe entstehen.

#### **4.10.2.2 Zum Einsatz von Grauguss-, Duktulguss- und Stahlrohren**

Entscheidende Kriterien für die Auswahl des Rohrmaterials im Fernleitungsbau waren und sind bei metallischen Leitungen die Dimension der Leitung, der Korrosionsschutz und die Rohrverbindungen. Als Rohrmaterialien kamen vor dem 2. Weltkrieg Grauguss und Stahl, nach dem 2. Weltkrieg Duktulguss, Stahl und Spannbeton zum Einsatz.

**Graugussrohre** wurden bis in die 70er Jahre des vorigen Jahrhunderts eingesetzt, aber in den 70er Jahren durch Duktulgussrohre (GGG 1. Generation) bei Neuanlagen abgelöst.

**Stahlrohre** (längs- oder spiralgeschweißt) wurden seit Anfang des 20. Jahrhunderts eingesetzt, mussten aber bereits wie bei der Harzwasserleitung mit Zementmörtel ausgekleidet werden, ebenso wie gegenwärtig die Fernwasserleitung von Eibenstock nach Chemnitz (die Planer dieser Leitung hatten bereits berücksichtigt, dass der innere Korrosionsschutz mit Bitumen nicht dauerhaft sein würde und vor den Hochbehältern der Wasserbehälter in Chemnitz Bitumenauffangbehälter vorgesehen).

Rohre aus zähem Stahl sind für alle Drücke und Durchmesser bestens geeignet (Stumpfschweißung, innere Zementmörtelaukleidung äußerer Korrosionsschutz aus Kunststoffen sowie aktiver kathodischer Schutz).

#### **4.10.2.3 Zum Einsatz von Spannbetonrohren und Stollen**

**Spannbetonrohre** boten wirtschaftliche Vorteile bei Anstehen geringer Drücke und bei größerem Durchmesser. Dichtungen waren und sind besonders wichtig. In der Regel war keine Innenisolierung und meist kein äußerer Schutz erforderlich. Für Abzweige sind Gusseisenformstücke erforderlich. Hauptproblem bei Spannbetonleitungen sind die Rohrverbindungen und an diesen auftretende Undichtigkeiten.

Spannbetonrohre werden in der Bundesrepublik seit mehr als 20 Jahren nicht mehr produziert und stehen heute zur Rehabilitation an. Rohrstrecken der Elbaue-Ostharzleitung und auch der Bodenseewasserversorgung mussten bereits rehabilitiert werden. In eine Rohrstrecke der Elbaue-Ostharzleitung wurden z.B. Duktulgussrohre eingezogen

**Stollen** kommen im Fernleitungsbau bei geeigneter Geologie in zunehmendem Maße zur Ausführung, begünstigt durch die Entwicklung moderner Vortriebstechnik, andererseits wegen wachsender Schwierigkeiten bei der Benutzung von Grundstücken (Ausführungstechnisch sind zu unterscheiden: Rohrstollen begehbar bzw. unausgekleidet betonierte).

Den höheren Baukosten stehen Vorteile wie gestreckte Linienführung, größerer bautechnisch bestimmter Querschnitt mit stark verringertem Energiehöhenverlusten gegenüber (Einsparung von Planungskosten).



#### 4.10.2.4 Inspektion, Wartung und Betriebsüberwachung von Fernwasserverteilungsanlagen [DVGW, 2011a]

Die Instandhaltung gemäß W 400-3 und DIN 31051 umfasst die Inspektion, Wartung und Instandsetzung/Verbesserung des Zustandes der Fernleitung einschließlich der Bauwerke, Messeinrichtungen usw.

##### Inspektion

Zur Inspektion der Fernwasserversorgungssysteme gehören nach W 392 Maßnahmen zur turnusmäßigen Prüfung des Zustandes von Anlagenteilen und Betriebseinrichtungen, neben den Rohrleitungen sind das: Schächte, Armaturen, und Schutzstreifen.

Art, Umfang und zeitliche Durchführung der Inspektionsmaßnahmen werden bestimmt durch:

- Größe, Bedeutung und Ersatzversorgungsmöglichkeit des angeschlossenen Versorgungsgebietes,
- vom Anlagenteil ausgehendes Gefährdungspotenzial (Risikominimierung),
- Art und Anzahl der eingerichteten Rohrnetzüberwachungseinrichtungen (z.B. für Druck, Durchfluss, Wasserqualität),
- Umfang von Fernüberwachung und Fernsteuerung,
- Alter und Material der Leitung,
- Bodenart und -beschaffenheit,
- Beanspruchung der Rohrleitungen durch Verkehr und Bodenbewegung,
- Bauarten und Funktionen von Armaturen und Mess-, Steuer- und Regeleinrichtungen.

##### Wartung

Zur Wartung wird aufgrund der großen räumlichen Ausdehnung empfohlen diese gemeinsam mit der Inspektion durchzuführen.

##### Betriebsüberwachung und Schadenserkenkung

Im Gegensatz zu Ortsnetzen werden Rohrleitungen bezüglich von Leckagen fernüberwacht. Dazu heißt es in W 392:

*„Wenn vom Prozessleitsystem Über- oder Unterschreitungen von vorgegebenen Sollwerten festgestellt werden, müssen automatische Reaktionen durch das System erfolgen. Die gewünschte Reaktion kann von einer einfachen Störmeldung beim einfachen Überwachungskonzept bis zu einer automatischen Abschottung des betroffenen Bereichs beim komplexen Überwachungskonzept reichen. Unabhängig davon gilt DVGW GW 1200 (A).“*

*Die Entscheidung über die Behebung von Leckagen muss unverzüglich erfolgen. Daher sind die Meidezeiten gering zu halten. Dazu sind Überwachungsabschnitte zu bilden, die sich an den bestehenden Leitungsabschnitten orientieren. Durch die Bildung von Durchflussmesswerten sind Schäden möglichst genau den betroffenen Leitungsabschnitten zuzuordnen.*

*Druckmessungen können bei kontinuierlicher Aufzeichnung Aufschluss über den Schadensort geben. Entsteht ein signifikanter instationärer Druckabfall, z.B. durch das Bersten einer Leitung, kann über ein entsprechendes Berechnungsverfahren der Schadensort eingegrenzt werden.*

*Bei kathodisch geschützten Stahlrohrleitungen empfiehlt sich der Einsatz einer KKS-Fernüberwachung. Damit können Mängel (z.B. unzulässige Kontakte mit anderen Objekten) frühzeitig erkannt und beseitigt werden bevor es zum Schadensereignis kommt. Hinweise zu Planung und Betrieb einer KKS-Fernüberwachung gibt das DVGW-Arbeitsblatt GW 16“.*

Aufgrund folgender Vorkommnisse können zusätzliche Inspektionen erforderlich werden:

- Unregelmäßigkeiten im Betrieb, z.B. wenn Druck- oder Durchflussmessungen signifikant unzulässige Differenzen zeigen, die Leistungsaufnahme eines Pumpwerkes zunimmt oder eine Trassenbegehung Hinweise auf einen Wasseraustritt oder eine Absenkung im Bereich der Rohrleitungsstrasse gibt,
- das Füllen oder Entleeren eines Leitungsabschnittes,
- Havarien (größere Störungen am Leitungssystem),
- Leitungsspülungen,
- Bauarbeiten am Leitungssystem und im Bereich der Leitungen (z.B. Freilegungen),
- sonstige Arbeiten im Trassenbereich (z.B. Änderung der Erdüberdeckung),
- sicherheitsrelevante Aspekte, z.B. in Krisensituationen (siehe DVGW W 1002 (H)),
- starke witterungsbedingte Veränderungen (Hochwasser, Orkan, usw.),
- Beeinträchtigung der Wassergüte,
- Kundenreklamationen,
- Veränderungen in der Trasse, wie Risse, Setzungen in der Geländeoberfläche und in Verkehrswegen.

Je nach Anlass ist zu entscheiden, welchen Umfang die zusätzliche Inspektion umfassen muss. Diese kann eine Kontrolle und Überprüfung aller Betriebseinrichtungen in Abgabestationen/Übergabebauwerke, Be- und Entlüftungseinrichtungen, Entleerungen, Verteilerstationen/Absperrstationen und Abzweigen sowie Messschächten umfassen.

#### 4.10.3 Rohrleitungsschäden

Rohrleitungsschäden sind als Informationsquelle zu nutzen, um Aussagen über weitere zu erwartende Schäden, die Lebensdauer des Materials und das Ausfallrisiko von Leitungsabschnitten zu erhalten. Auf der Grundlage dieser Informationen sind die Häufigkeit und der Umfang von Inspektion und Wartung ggf. anzupassen. Für die Datenerfassung gilt DVGW W 402 (A). DVGW W 403 (M) gibt Hinweise zur Rehabilitation.

4. Sanierung und Erneuerung von Wasserversorgungsnetzen

Tab. 4.45: Rohrleitungswerkstoffe und Kriterien für zusätzliche Inspektions- und Wartungsmaßnahmen zur Lokalisierung von Schäden

Rohrleitungswerkstoff	Kriterien für zusätzliche Inspektions- und Wartungsmaßnahmen		Lokalisierung des Schadens
	Schadensart	zu erwartende Folge des Schadens	
<b>Grauguss</b> (GG)	Lochkorrosion	schleichende Wasserverluste	akustisch, visuell
	Schalenbruch	abrupte Wasserverluste	visuell
	Spongiose	schleichende Wasserverluste	akustisch, visuell
	Innenkorrosion (ohne Zementmörtelauskleidung)	Färbung, Austrag von Feststoffen (gelöste Inkrustierung)	Spülung, Befahrung
	Rissbruch	abrupte Wasserverluste	visuell
<b>Duktilguss</b> (GGG)	Lochkorrosion	schleichende Wasserverluste	akustisch, visuell
	Spongiose		
	Innenkorrosion (ohne Zementmörtelauskleidung)	Färbung, Austrag von Feststoffen (gelöste Inkrustierung)	Spülung, Befahrung
<b>Stahl</b> (St)	örtliche Korrosion	schleichender Wasserverlust	akustisch, visuell
	Flächenkorrosion	Wasserverluste	
	Innenkorrosion (ohne Zementmörtelauskleidung)	Färbung, Austrag von Feststoffen (gelöste Inkrustierung)	Spülung, Befahrung
	Verformung	Erhöhung Fließwiderstand, Stabilitätsverlust	Befahrung
	Wechselstromkorrosion als punktuelle Korrosion (z.B. bei Parallelführung von Hochspannungsleitungen)	schleichende Wasserverluste	akustisch, visuell z.B. bei Parallelführung von Hochspannungsleitungen
<b>Polyvinylchlorid</b> (PVC)	Rissbildung Sprödbbruch	abrupte Wasserverluste	akustisch, visuell
	undichte Klebmuffen	schleichende Wasserverluste	
<b>Asbestzement</b> (Az)	Rissbildung	abrupte Wasserverluste	akustisch, visuell
	Sprödbbruch		
	Auflösung der Zementmatrix (bei Rohrwasserleitungen)	Festigkeitsverlust herausgelöste Asbestfasern	chemisch-physikalische Wasseraanalyse
<b>Spannbeton</b> (Sp)	Rissbildung	abrupte Wasserverluste	akustisch, visuell
	Schalenbruch		
	Bewehrungskorrosion		
<b>Stahlbeton</b> (Sb)	Muffenundichtigkeit	schleichende Wasserverluste	akustisch, visuell
	Muffenbruch	abrupte Wasserverluste	
<b>Polyethylen</b> (PE)	Verformung	Erhöhung Fließwiderstand, Stabilitätsverlust	Befahrung
	Rissbildung infolge Punktlast	schleichende Wasserverluste	akustisch, visuell

Weitergehende Maßnahmen zur Instandhaltung sind in DVGW W 400-3 (A), DVGW W 403 (M) enthalten.

Ergänzend sollten folgende räumlichen Aspekte berücksichtigt werden:

- Rohrleitungsschäden durch Materialmängel sind möglicherweise auf bestimmte Produktions- bzw. Lieferungschargen beschränkt und können deshalb einzelnen Leitungsabschnitten zugeordnet werden,
- Korrosionsschäden durch Beschädigung der Rohre bei der Verlegung können ggf. auf einzelne Verlegeabschnitte eingegrenzt werden,
- der Außenkorrosionsfortschritt kann oftmals auf die Bereiche korrosiver Bodenarten begrenzt werden.
- Leckagen durch Muffenschub bei nicht zugfesten Muffenverbindungen können auf Steilhänge, die Umgebung von Krümmern oder Bereiche mit Bewegung des Erdreichs begrenzt werden.
- Rohrleitungswerkstoff

Bei der Planung von Inspektion und Wartung ist hinsichtlich der Werkstoffeigenschaften der Rohrleitungen zu beachten, dass Graugussleitungen und duktile Gussleitungen der ersten Generation (nur Bitumenüberzug

innen und außen) größere und häufigere Korrosionsschäden aufweisen als duktile Gussleitungen der zweiten Generation mit Zementmörtelumhüllung und Zementmörtelauskleidung, Zink-/Bitumenbeschichtung, Zink-Aluminium-Epoxidbeschichtung oder PE-Umhüllung.

Bei der Festlegung des Umfangs von Inspektion und Wartung bei Rohrleitungen aus

- Grauguss,
- Asbestzement,
- PVG sowie
- Spann- und Stahlbeton

ist zu berücksichtigen, dass durch Rissbildungen und Schalenbrüche große Wasseraustritte mit schwerwiegenden Folgen auftreten können. Bei Spann- und Stahlbetonleitungen können darüber hinaus vermehrt Schäden an den Rohrverbindungen auftreten. In der Tab. 4.45 sind Kriterien für zusätzliche Inspektions- und Wartungsmaßnahmen in bezug auf den Rohrleitungswerkstoff aufgeführt.

#### 4.10.4 Inspektion und Wartung von Rohrleitungen

Die Inspektion und Wartung von Rohrleitungen von außen ist nur an freiliegenden Leitungen möglich. Deshalb muss das Freiliegen einer Leitung unabhängig für die notwendige Inspektion und Dokumentation genutzt werden. Dazu ist die Lagebestimmung zur Bestandsdokumentation und die Dokumentation der Zustands- und Umgebungsdaten vorzunehmen. Ergeben sich Hinweise auf mögliche Zustandsverschlechterungen der Leitungen ist das Befahren mittels Kamera oder Molch und bei größeren Nennweiten das Begehen durchzuführen.

Bei Stahl (St) und Gusseisen (GG, GGG) steht meist das Korrosionsverhalten im Vordergrund. Bei Rohrleitungsabschnitten mit korrosionsanfälligen Rohrleitungswerkstoffen oder die in aggressiven Böden verlegte Rohrleitungen sowie in geologisch kritischen Bereichen sind weitere Untersuchungen vorzunehmen, um den Gefährdungszustand in Bezug auf kommende Rohrschäden zu beurteilen oder konkrete Anhaltspunkte für eine Verminderung von Restnutzungsdauer zu erhalten.

Die Messergebnisse des kathodischen Korrosionsschutzes (KKS) liefern wichtige Datengrundlagen zu Funktion, Wirksamkeit und Zustandsbeurteilung (siehe dazu DVGW GW 10). Ergeben sich aus der Inspektion freigelegter Rohrleitungsabschnitte oder der Inneninspektion Hinweise auf Zustandsverschlechterungen, sollte eine weitergehende Überprüfung erfolgen.

Die Prüfung auf Dichtheit (Volumenermittlung) ist erforderlich, um eine vollständige Bilanzierung zu erreichen. Bei größeren Nennweiten ist die Prüfung auf Dichtheit durch Volumenmessungen und Durchflussbilanzierung allerdings ungenau, da kleinere Wasseraus-

tritte (Leckagen) in Relation zu den oft großen Durchflüssen messtechnisch kaum feststellbar sind. Verfahren zur Prüfung auf Dichtheit bzw. für die Feststellung von Leckagen bei größeren Nennweiten enthält die Richtlinie.

#### 4.10.5 Wasserqualität

Korrosionsangriffe bei metallischen Leitungen von innen können in Verbindung mit den daraus entstehenden Ablagerungen und Inkrustationen sowie deren mikrobiologischer Besiedelung zu einer hygienischen Beeinträchtigung der Wasserqualität führen. Diese sind bei der Planung der Inspektions- und Wartungsmaßnahmen (z.B. Wasseranalysen, Trübungsmessung, Spülung) zu berücksichtigen.

#### 4.10.6 Rehabilitation von Fernwasserleitungen - Beispiele

Eine der ersten Fernleitungen, die rehabilitiert werden mussten, war die Fernwasserleitung der Harzwasserwerke [Schmidt und Priebe, 1984], welche vor ca. 80 Jahren gebaut und in Betrieb genommen wurde. Diese Leitung mit bituminierten Innenschutz wurde mit Zementmörtel ausgekleidet. Dieses Verfahren wurde auch im Zweckverband Fernwasser Südsachsen angewandt [Gernke und Rink, 2009].

##### 4.10.6.1 Rehabilitation mit Hilfe von Interimsleitungen [Gernke und Rink, 2009]

Zwischen dem Wasserwerk Burkertsdorf und dem Wasserbehälter Steinberg in Chemnitz wurde von 1976 bis 1981 eine 32 km lange Leitung DN 1200 aus Stahlrohren gebaut. Diese Leitung ist im Verbund von überragender Bedeutung und versorgt etwa 400.000 Menschen in Südsachsen mit Trinkwasser.



Abb. 4.103: Interimsleitung mit längskraftschlüssiger BLS-Steckmuffenverbindung



Die für diese Rohrleitung verwendeten Stahlrohre waren mit Bitumen ausgekleidet und außen mit Bitumenbinden ummantelt. Schon kurz nach der Inbetriebnahme der Rohrleitung im Jahr 1982 begann sich die innere Bitumenschicht abzulösen. Zudem rissen Opferanoden an den Schweißnähten ab. Zur Sicherstellung einer einwandfreien Trinkwasserqualität wurden Einrichtungen installiert die das Bitumen auffangen sollten.

Der Zweckverband Fernwasser Südsachsen erstellte für die Erhaltung der Rohrleitung ein technische Gesamtkonzept und begann mit der abschnittsweisen Erneuerung der Leitung. Auf einer Länge von 4 km war die Stahlrohrleitung durch Korrosion dermaßen geschädigt, dass eine Rehabilitation durch Neubau erforderlich wurde. Für weitere 28 km kam als wirtschaftlich günstigste Lösung die Zementmörtelauskleidung in Betracht.

Die Rohrinnenfläche wurde mechanisch mittels Metallkratzern und Wasserhöchstdruck gereinigt, wodurch die losen Bestandteile der Auskleidung sowie Inkrustationen und Korrosionsprodukte entfernt wurden. Anschließend erfolgte maschinell die Zementmörtelauskleidung mit einer Schichtdicke von mindestens 8 mm.

Parallel zu den zu sanierenden Bauabschnitten wurde jeweils eine Interimsleitung aus Duktulguss nach DIN 545 mit längskraftschlüssigen BLS-Steckmuffen-Verbindungen verlegt (siehe *Abb. 4.103*). Diese Rohre besitzen außen einen Zinküberzug und eine Epoxidharz-Deckbeschichtung und innen eine Zementmörtelauskleidung. Diese Rohre wurden nach der Fertigstellung des Sanierungsabschnittes abgebaut auf dem nächsten Streckenabschnitt wieder verlegt. Mit dieser Verfahrensweise kann die gesamte Leitung saniert werden.

#### 4.10.6.2 Zementmörtelauskleidung [Berkel, 2012]

Das Verfahren der Zementmörtelauskleidung wird in *Kap. 4.9.1 Zementmörtelauskleidung* beschrieben. Für Großrohrleitungen  $> DN 600$  und Tunnel sind weiterführende Gesichtspunkte zu beachten.

Großrohrleitungen  $> DN 600$  sind bekriech- bzw. befahrbar, so dass die Anschleudermaschine mit dem Maschinenführer in die Leitung einfahren und den Arbeitsablauf kontrollieren kann. Für den Mörtel und Zuschlagstoffe usw. gilt ebenfalls W 343 (siehe *Kap. 4.9.1 Zementmörtelauskleidung*). Nachfolgend werden einige ergänzende Angaben gemacht.

Für die Reinigungs- und Auskleidungsarbeiten müssen werden die jeweiligen Rohrleitungsabschnitte außer Betrieb genommen. Am Anfang und am Ende der Sanierungsabschnittes werden Baugruben hergestellt, die Leitung freigelegt und geöffnet. Die mögliche Länge der Sanierungsabschnitte (Entfernung zwischen zwei Baugruben oder anderen Zugängen) beträgt bei geraden Leitungen mit Nennweiten  $> DN 600$  bis ca. 600 m. Zwangspunkte stellen u.a. den Arbeitsablauf störende Durchmesseränderungen, Bögen und Rohrversätze dar. Vorhandene Anschlüsse sind bei diesem Verfahren unproblematisch.

Die Rohröffnung mit einer Länge von 2,00 m kann sowohl als Halbschale als auch als Rohrstück ausgeführt werden. Die Reinigung der Leitung umfasst die Entfernung der Inkrustationen, Korrosionsprodukte oder nicht haftende Teile von Tauchteer- und Bitumenschichten, wobei keine metallisch blanke Oberfläche erreicht werden muss. Das einzusetzende Reinigungsverfahren hängt von der Art, Dicke und chemischen Zusammensetzung der Inkrustationen sowie von den jeweiligen örtlichen Gegebenheiten ab.

Als übliche Reinigungsverfahren sind zu nennen:

- Mechanische Reinigung entweder von Hand ( $> DN 600$ ) oder Reinigungswinden mit Reinigungsgeräten wie Kratzern und Gummischeiben,
- Hochdruckreinigung mit Drücken bis zu 1.000 bar.

Danach folgt die Zementmörtelauskleidung, wobei pro Arbeitsgang in Abhängigkeit von der Nennweite und vom Beschichtungsmaterial Schichtdicken von 3 bis 12 mm aufgebracht werden. Die Versorgungsleitungen für Strom und Mörtel werden von einer Seilwinde durch die Leitung gezogen und ein Maschinenführer beobachtet die sonst automatisch ablaufenden Arbeiten im Rohr.

In [Berkel, 2012] wird die Auskleidung großer Leitungen bzw. Tunnel wie folgt beschrieben. Für Auskleidungen von Leitungen größer DN 1800 und sehr langen Bearbeitungslängen (bis zu 5.000 m) kann gleislos mit einem im Rohr fahrender Zubringer- und Mischzug erfolgen, der das Material getrennt in Trockenmischung und Wasser vom Startschacht aus zur Auskleidungsmaschine bringt. Der Auskleidungszug besteht aus einer Akkulok, einem Bunkerwagen, einem Durchlaufmischer und der Auskleidungsmaschine.

Die Zubringereinheit besteht aus Trockenmörtelbunker und Wasserbunker. Der Trockenmörtelbunker wird mittels einer Förderschnecke durch ein Abförderrohr entleert. Der Wasserbunker ist im Fahrwerk integriert und wird mit Kreiselpumpen entleert.

Der Durchlaufmischer wird von dem zuvor gezeigten Zubringerwagen mit Trockenmörtel und Wasser beschickt und fördert den Mörtel in einen Bunkerwagen mit integrierter Nachmischung. Der Bunkerwagen mit einer Nachmischfunktion dosiert die Übergabe durch eine Förderschnecke an die Anschleudermaschine.

Akkulok und Zubringerwagen besitzen ein spurtreues und schlingerfreies Fahrverhalten durch schräggehende Räder und tief liegende Schwerpunkte. Dadurch kann auch der beladene Bunkerwagen mit etwa 10 km/h im Rohr geschoben werden.

Mit der Auskleidung einer Leitung wird in der Mitte zwischen zwei Startschächten begonnen. Der Zug, der im Startschacht der Rohrleitung beladen wird, bringt Material für ca. 20 m Auskleidung zur Auskleidungsmaschine. Dieses wird kontinuierlich gemischt, der Auskleidungsmaschine zugeführt und von dieser auf die Rohrwand aufgetragen. Dabei fährt der gesamte Zug mit 1 m/min in Arbeitsrichtung auf den Startschacht zu. Nach Entleerung des Bunkerwagens wird der Auskleidungsvorgang unterbrochen und neues Material vom Startschacht geholt. Die gesamte Einheit ist

für Rohrdurchmesser von 1.800 bis 2.200 mm konzipiert, kann aber auch für größere Rohrdurchmesser umgerüstet werden.

Mit der beschriebenen Maschineneinheit steht damit ein Gerät zur Verfügung, das in der Lage ist selbst bei extrem langen Streckenabschnitten von 5.000 m und mehr, eine hochwertige Zementmörtel-Auskleidung zu gewährleisten.

Das DVGW Arbeitsblatt W 343 enthält die Anforderungen, die Gütesicherung und die Prüfungen für die nachträgliche Zementmörtelauskleidung für die Trinkwasserversorgung zusammen. Für die Verfahrensdurchführung und die damit beauftragten Unternehmen müssen die erforderliche Qualifikation besitzen und dem Auftraggeber nachweisen. Der Nachweis wird mit dem DVGW-Zertifikat in der Gruppe R 4 erbracht.

Folgende Anforderungen sind zu erfüllen:

- Zement nach DIN EN 197-1,
- feuergetrockneter Quarzsand mit einem Größtkorn von 1 mm,
- Wasser in Trinkwasserqualität als Anmachwasser
- Mischungsverhältnis 1:1,
- W/Z-Wert < 0,35,
- Betonzusatzmittel dürfen nicht verwendet werden,
- Mindestfestigkeiten des Mörtels nach 28 Tagen,
- Druckfestigkeit 50 N/mm<sup>2</sup>
- Biegezugfestigkeit 5 N/mm<sup>2</sup>
- Mindestschichtdicken der Zementmörtelauskleidung in Abhängigkeit vom Rohrmaterial und -durchmesser

Eine besondere Eigenschaft der ZM-Auskleidung besteht in einer sowohl passiven als auch in einer aktiven Schutzwirkung. Die passive Schutzwirkung wird durch die rein mechanische Abschirmung der metallischen Rohrwand durch die Mörtelschicht erzielt. Diese Wirkung ist natürlich umso besser, je dichter das Mörtelgefüge ist. Dies wird beim Ausschleuderverfahren einerseits durch den sehr niedrigen W/Z-Wert von ca. 0,35 der Ausgangsmischung und andererseits durch die große Aufprallgeschwindigkeit des Mörtels auf die Wandung, verbunden mit einer hohen Verdichtung, erreicht.

Die Zementmörtelschicht ist nicht völlig wasserundurchlässig, d.h. im Laufe der Zeit gelangen geringe Mengen Wasser an die ursprüngliche Rohrinnefläche. Hier setzt der aktive Korrosionsschutz ein. Trotz des zwar geringen Wasserdurchtritts findet aufgrund der alkalischen Reaktion des Zementmörtels kein Korrosionsangriff auf den (niedrig legierten) Eisenwerkstoff statt.

#### 4.10.6.3 Reliningverfahren mit duktilen Gussrohren [Haupt, 2008a], [Haupt, 2008b]

##### Einschieben von Duktulgussrohrleitungen

###### Netzzustand und Rohrwerkstoff

Netzzustand und Rohrwerkstoff stellen ein wesentliches Kriterium dar. Die Trasse verläuft zum Teil über

landwirtschaftlich genutzte Flächen, aber auch durch ein später übersiedeltes Gebiet. Die Leitung wurde dort 1966 in der Nennweite DN 1000 verlegt und besteht aus Spannbetonrohren des Rohrwerks Laußig (ehem. DDR), „Variante 5a“, Baulänge 3 m. Sie wird mit einem mittleren Systemdruck (SP) von 12-14 bar betrieben. Einige Bereiche dieses Leitungsabschnitts waren in den letzten Jahren bereits erneuert worden, weil Umverlegungen in Folge eines großräumigen Straßenausbauvorhabens dieses erforderten. Dabei wurde der Rohrwerkstoff Spannbeton durch Stahl ersetzt. Auf einer Länge von 760 m bestand die Trinkwasserleitung noch im Altzustand. Von 1982 bis 1992 wurde die auch hier existierende Parallelleitung (in Stahl) gebaut. Dies stellt natürlich eine wesentliche Randbedingung für die Planung und Durchführung von Rehabilitationen dar.

##### Technische Angaben und Entscheidungsprozess

Die Fernwasserversorgung Elbaue-Ostharz GmbH beschloss den Planungsbeginn der Sanierungsmaßnahme im Jahr 2005. In einer ersten Studie eines externen Ingenieurbüros wurde die Machbarkeit verschiedener dem Stand der Technik entsprechender Technologien und Materialeinsätze erörtert. Inhalt der technischen und wirtschaftlichen Abwägungen in dieser Planungsphase war auch die Gegenüberstellung teilweiser oder vollständiger offener oder geschlossener Bauweisen. Natürlich war für das übersiedelte Gebiet nur eine grabenlose Sanierung denkbar. Im übrigen Bereich der un bebauten Ackerfläche war das Verfahren jedoch frei wählbar. Die hydraulische Betrachtung des Versorgungssystems ergab, dass eine Reduzierung der Nennweite bis zu einer Mindestgröße möglich war. Hier war das Vorhandensein der Parallelleitung ausschlaggebend. Erste Ergebnisse und Festlegungen innerhalb der Vorplanung stellten sich wie in *Tab. 4.46* dar.

Bewusst offen hielten wir zu diesem Zeitpunkt folgende Entscheidungen:

Tab. 4.46: Technische Angaben

<b>Baulänge gesamt:</b>	760 m
<b>Medienrohr „alt“ wird Mantelrohr „neu“:</b>	DN 1000, Spannbeton
<b>Medienrohr „neu“:</b>	DN 800-900, metallisch, statisch selbst tragendes System
<b>Druckstufe:</b>	MDP 16 (Maximal Design Pressure)
<b>Prüfdruck:</b>	STP 21 (System Test Pressure)

- vollständig grabenlose oder offene Bauweise (auch anteilig)?
- Rohrmaterial (mit Auswirkungen auf die endgültige Nennweite)?
- Technologie der Rohrverlegung (z.T. materialabhängig)?
- Stahlrohr einziehen
- Gussrohr (GGG) einziehen (längskraftschlüssig), nur DN 800
- Gussrohr (GGG) einschieben (nicht längskraftschlüssig), nur DN 800.



#### 4. Sanierung und Erneuerung von Wasserversorgungsnetzen

Das Fernwasserversorgungsunternehmen favorisierte das Verfahren des Einschieben einer Gussrohrleitung DN 800.

##### Einziehen von Duktulgussrohrleitungen

In [Rink, 2004] wird das Langrohrrelining mit duktilen Gussrohren DN 800 bei den Berliner Wasserbetrieben beschrieben. Die neue Leitung wurde in ein Altrohrleitung AZ DN 1000 mit BLS-Steckmuffen-Verbindungen eingezogen. Das Einziehen erfolgte mit den Maschinenkomponenten hydros.

Im ersten Arbeitsschritt wurden mittels Seilzug Zugstangen (DN 36 mm) in die AZ-Altrohrleitung eingezogen. Parallel dazu wurde die Zugmaschine in die Maschinenbaugrube eingebracht. In zweiten Arbeitsschritt der Zugkopf am ersten einzuziehenden Rohr montiert. Danach konnten die 6 m langen Duktulgussrohre eingezogen, wobei die Muffe durch eine Blechkonus vor Beschädigungen geschützt. Um die Reibungskräfte zu verringern, kann ein Gleitmittel verwendet werden. Das Verfahren wurde auf einer 950 m langen Strecke durchgeführt.



Abb. 4.104: Einziehen von Duktulgussrohrleitungen



#### 4.10.6.4 Großrohrsanierung von Trinkwasserleitungen mit Kunststoffrohren bzw. -auskleidungen [Meyer, 2012]

Für die Großrohrsanierung mit Kunststoffmaterialien kommen folgende Relining-Verfahren mit in Frage:

- Swagelining (Reduktionsverfahren Rohrstrang DN 100 - DN 1200, SDR 11 - SDR 26),
- Rolldown (Reduktionsverfahren Rohrstrang DN 100 - DN 500, SDR 11 - SDR 26),
- C-Liner bzw. U-Liner (Verformungsverfahren Trommelbund DN 150 - DN 400, SDR 17 - SDR 26),

- Subline (Verformungsverfahren Rohrstrang DN 150 - DN 1500).

Die genannten Verfahren sind in *Kap. 4.9 Rehabilitationsverfahren* beschrieben. Kennzeichnend für diese Verfahren ist das Einbringen von verformten Kunststoffrohren, welche nach dem Einbringen rückverformt werden – unter Wasserdruck oder durch Heißluft bzw. Heißwasser. Damit entsteht das innenliegende Transportrohr in einem nach tragfähigen aber durch Korrosion geschädigten Altrohr bzw. undichten Muffen.

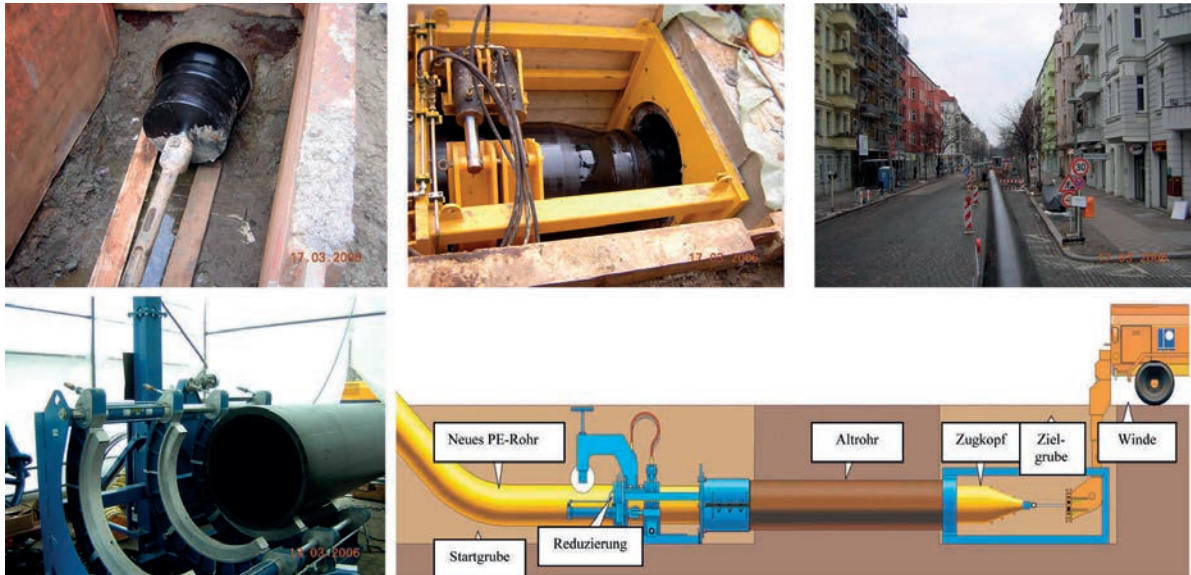


Abb. 4.105: Swagelining-Verfahren



Abb. 4.106: Subline-Verfahren



## 5 Sanierung und Erneuerung von Gasrohrnetzen

### 5.1 Zur Entwicklung der Gasversorgung in Deutschland

#### 5.1.1 Erdgaseinsatz und Rehabilitation der Gasrohrnetze [Cerbe, 1999]

Ende des 19. Jahrhunderts hatten fast alle großen Städte Deutschlands Gaswerke, welche Stadtgas produzierten und dieses in eigenständigen Leitungsnetzen aus Grauguss mit Stemmuffenverbindungen den Abnehmern zuführten.

Die Umstellung von Stadtgas auf Erdgas erfolgte in den 80er Jahren; Anfang bis Mitte der 90er Jahre wurde auch in den neuen Bundesländern das Stadtgas durch das umweltfreundliche Erdgas vollständig abgelöst.

Während es sich beim Stadtgas um ein sog. „nasses“ (oder feuchtes) Gas handelte, wird dem Erdgas durch Gastrocknung der Wasserdampf entzogen, so dass es auch als „trockenes“ Gas bezeichnet wird. Weiterhin wird das Erdgas entschwefelt und damit  $H_2S$  entzogen und durch Mischung mit stickstoffarmen Wasserstoffgas bei zu niedrigem Brennwert konditioniert.

Hauptbestandteil des Erdgases ist Methan, daneben sind Ethan, Propan, Butan und weitere Kohlenstoffverbindungen sowie Stickstoff und Kohlendioxid enthalten.

Das früher eingesetzte Stadtgas wurde durch Entgasung von Steinkohle (Erhitzung unter Luftabschluss bis auf ca. 1.000 °C) bzw. in der DDR auch durch Braunkohlenvergasung gewonnen. In der Gasaufbereitung wurde dem Stadtgas beim Steinkohlengas Teer, Ammoniak und Benzol und beim Braunkohlengas Teer, Teeröl und Leichtöl entzogen.

Demzufolge findet man in Rohrnetzen, in welchen Stadtgas transportiert wurde, Ablagerungen von Teer, so dass bei der Rehabilitation von Rohrnetzen aus dieser Zeit diese entfernt werden müssen.

Als weiterer Unterschied zwischen Stadt- und Erdgas ist der höhere Brennwert des Erdgases zu nennen, so dass bei der Umstellung von Stadt- auf Erdgas selbst bei höherem Energieverbrauch vielerorts die Gasverteilung mit gleichen Nennweiten möglich war. Hinzu kam außerdem der Betrieb der Rohrnetze mit sog. „erhöhtem Niederdruck“, der es ermöglichte durch die höhere Dichte (und damit höherem Brennwert) den gestiegenen Energiebedarf insbesondere für die Heizung und Warmwasserbereitung zu decken.

Die Umstellung von „nassem“ Stadtgas auf „trockenes“ Erdgas bereitete bei Rohrnetzen aus Grauguss- und Stahlrohren mit Stemmuffen durch die Austrocknung der Muffen Schwierigkeiten, so dass die Innendichtung erfolgen musste (siehe dazu auch unten sog. Graugussprogramm – eine Lösung auf Zeit). Hinzu kam bei Graugussleitungen kleiner Nennweiten ihre Bruchanfälligkeit bei Verkehrsbelastung. Stemmuffenverbindungen und Schraubmuffenverbindungen – Verbindungen sind nur noch bei älteren Rohrnetzteilen

anzutreffen. Flanschverbindungen werden nur bei Formstücken und Armaturen benötigt.

Gegenwärtig beginnt mit der Einspeisung von Biogas und Biomethan in die Gasrohrnetze eine neue Phase der Gasversorgung, welche zugleich auch zu einer Erweiterung des Gaseinsatzes in Deutschland führen wird [Krause, 2014].

Der derzeitige stabile Energieträger Erdgas wird durch die Gaseinspeisung seine Beschaffenheit ändern. Die Erzeugung von Biogas und Biomethan (erzeugt durch Biomassevergasung und Methanisierung – synthetische Gase) und die Einspeisung in das Erdgasnetz wird dazu führen, dass Gas mit unterschiedlicher Qualität verteilt werden muss. Es wird demzufolge ein regional unterschiedlicher Gasmix vorhanden sein.

Die Erzeugung von Biomethan ist in Deutschland allerdings durch Nachhaltigkeitsaspekte begrenzt, d.h. den Schutz von Boden und Wasserressourcen.

Eine weitere Möglichkeit des erhöhten Gaseinsatzes ist die Erzeugung von Wasserstoff und nachfolgend Methan auf der Grundlage von erneuerbaren Energien (Wind, Photovoltaik usw.).

#### 5.1.2 Rohrmaterialien und Schlauchliner [Cerbe, 1999], [Hüning und Homann, 1997], [DVGW, 1999a]

(Rohrmaterialien - Herstellung, Rohrverbindungen und Korrosionsschutz siehe *Kap. 3.1 Zur Entwicklung der Rohrleitungstechnik in 5 Jahrtausenden* [Roscher])

Als Rohrmaterialien werden heute **Stahlrohre, Duktulgussrohre und Kunststoffrohre** eingesetzt. Die Zunahme des Kunststoffrohreinsatzes ist insbesondere auf die niedrigen Materialpreise bei kleinen Nennweiten und die Möglichkeiten der Verlegung in schmalen Rohrgräben (vom Rohrbund oder auch als Langrohr) zurückzuführen.

**Graugussrohre** werden heute nicht mehr in der Gasversorgung eingesetzt (in den alten Bundesländern bis etwa 1967), haben aber bei der Rehabilitation von Gasrohrnetzen ihre Bedeutung noch nicht verloren. In sie werden PE-Rohre nach verschiedenen Verfahren und Schlauchliner bei entsprechenden statischen Voraussetzungen eingezogen. In diesen sind deshalb auch die o.g. Stemmuffenverbindungen und Schraubmuffenverbindungen anzutreffen.

In den 50er-Jahren wurden in der Gasversorgung anstelle der Graugussrohre Duktulgussrohre eingesetzt (1967 Vereinbarung zwischen DVGW und Fachgemeinschaft Gusseiserne Rohre anstelle Grauguss- Duktulgussrohre einzusetzen), deren Nachteil aber gegenüber Stahlrohren in der größeren Wanddicke und damit höheren Massen sowie in den geringeren Herstellungslängen besteht.

Bei Stahlrohren werden längskraftschlüssige Schweißverbindungen und gummigedichtete Muffenverbindungen angewandt. Als äußeren Korrosionsschutz erhalten Stahlrohre Beschichtungen aus Epoxidharz-Primer,



Haftvermittler, Polyethylen und Faserzementmörtel (letztere für die Rohrlegung auch in steinigten Böden, wenn man auf eine Sandbettung verzichtet).

Innen bleiben Gasleitungen entweder unbehandelt (heute „trockenes“ Gas) oder werden zur Erhöhung der Transportleistung mit Epoxidharz beschichtet. Korrosive Einflüsse vom zu transportierenden Medium sind nur in Ausnahmefällen zu erwarten.

Bei Kunststoffrohren kommt PE-Rohr als PE 80 oder PE 100 zum Einsatz, wobei PE 100 bessere mechanische Eigenschaften als PE 80 besitzt. Als neue Kunststoff-Werkstoffe sind in den letzten Jahren PE-Xa und SLM-Rohre hinzugekommen.

Tab. 5.1: Gasverteilung - SDR-Reihen – zulässige Bauteilbetriebsdrücke

	PE 80	PE 100	PE-Xa
SDR 11	4 bar	10 bar	8
SDR 17	1 bar	4 bar	-
SDR 17,6	1 bar	-	-
farbliche Kennzeichnung	gelb oder schwarz mit gelben Streifen	orange-gelb oder schwarz mit orangegelben Streifen	gelb

Das in der Gasversorgung anfangs eingesetzte PVC-Rohrmaterial (ab 1949 – gegenwärtig ca 15.000 km in Deutschland ([Bilsing et al., 2014]) besitzt eine begrenzte Widerstandsfähigkeit gegenüber Kohlenwasserstoffen sowie schlechtere mechanische Eigenschaften als PE-Rohre und wurde Ende der 60er-Jahre von Rohrmaterialien aus PE-HD abgelöst. Hauptschadensursache sind oftmals die Klebe-Rohrverbindungen.

Tab. 5.2: Kriterien, die zur Rehabilitation (Sanierung, Erneuerung) oder Außerbetriebnahme von Graugussleitungen führen können [DVGW, 2012]

Kriterien	Abstufung der Kriterien <sup>1)</sup>			
	DN ≤ 80	DN > 80 ≤ 100	DN ≥ 125 ≥ 150	DN ≥ 200
Durchmesser <sup>2)</sup>	DN ≤ 80	DN > 80 ≤ 100	DN ≥ 125 ≥ 150	DN ≥ 200
Bodenarten	gestört bindig	gestört nicht bindig	homogen bindig	homogen nicht bindig
Leitungslage	Fahrbahn mit Schwerlastverkehr	Fahrbahn in Wohnstraßen	Geh-/Radweg neben Schwerlastverkehr	Geh-/Radbahn Wohnstraßen
Verlegetiefe	Bei Verlegetiefen < 1 m und gleichzeitigem Auftreten von Belastungen durch den Verkehr entstehen zusätzliche Spannungen am Rohr; ein abgestufte Bewertung ist nicht möglich			
Baumaßnahmen	Nachträgliche Tiefbaumaßnahmen im Umfeld der Leitungstrasse können die Bettungsbedingungen der Leitung negativ beeinflussen; eine abgestufte Bewertung ist nicht möglich.			
Abstand zu Gebäuden	≤ 3 m	3 – 10 m	10 – 20 m	> 20 m
Schadensrate	≥ 1 Bruch bzw. Anzeige pro km und Jahr Einzelner Leitungsabschnitt	≥ 0,2 und < 1 Brüche bzw. Anzeigen pro km und Jahr Leistungsgruppe <sup>3)</sup>	≥ 0,2 und < 1 Brüche bzw. Anzeigen pro km und Jahr Leistungsgruppe <sup>3)</sup>	≥ 0,2 und < 1 Brüche bzw. Anzeigen pro km und Jahr Leistungsgruppe <sup>3)</sup>

<sup>1)</sup> Der Rehabilitationsbedarf nimmt von links nach rechts ab.

<sup>2)</sup> Zwischenmaße sind der nächst kleineren Nennweite zuzuordnen.

<sup>3)</sup> Nur GG-Leitungen nach Netzteilen oder Nennweiten zusammengefasst.

Da Kunststoffe bei Temperaturunterschieden große Längenänderungen aufweisen, muss sowohl bei der Rohr-Neuerlegung als auch bei der Rehabilitation auf diese geachtet werden. Beim PE-Rohreinzug ist die Rückstellung auf die Ausgangslänge zu berücksichtigen und es müssen längskraftschlüssige Schweißverbindungen eingesetzt werden. Kunststoffrohre sollten wegen der Alterung nicht im Freien gelagert werden.

Die Materialeigenschaften von Kunststoffrohren aus PE begünstigen ihren Einsatz bei der Rehabilitation von Rohrnetzen. Kunststoffrohre können sowohl als tragende als auch nicht tragende Rohrleitungen in Altröhre eingezogen werden (bei der Bemessung der Wandstärken zu beachten!).

Die zweite verfahrensbedingte Entwicklung im Kunststoffrohrbereich sind Schlauchliner, mit denen heute das Gewebeschlauchreliningverfahren (früher auch Folien-Relining) durchgeführt wird.

Voraussetzung für das Gewebeschlauchverfahren ist ein statisch tragfähiges Altrrohr, in das nach dem sog. Umstülperverfahren Gewebeschläuche eingebracht werden. Die aus einem Grundgewebe mit einer Beschichtung bestehenden Gewebeschläuche sind in der Regel für 4 bar zugelassen. Der Innendurchmesser wird bei diesem Verfahren nur unwesentlich verringert, die Transportkapazität erhöht sich durch die geringere Wandrauigkeit.

### 5.1.3 Sonderprogramm Grauguss

Der Erdgaseinsatz („trockenes Gas“) führte zum Austrocknen der Muffen und erforderte daher die Dichtung von Muffen. Weitere Faktoren für das „Graugussprogramm“ waren der zunehmende Verkehr und höhere Verkehrsbelastungen insbesondere in Hauptnetzstraßen (siehe Tab. 5.2).

Tab. 5.3: Verfahren zur Dichtung nach G 401 [DVGW, 1999b]

Einzelabdichtung von außen (Stemm-Muffen)	Einzelabdichtung von innen	Regeneration der Dichtelemente	Innenbeschichtung
Stahlstemm-Muffenverschweißung	Weco	Füll-, Fließ- oder Einsprühverfahren mit Quellmitteln oder Dispersionen	Episal
Stemm-Muffen-Dichtringe	Arnex 10		Pentrolspritz
Avon-Seal	von Arx		digitalit-V
Ready-Seal	le joint interne		Osakagas
Keyhole	digitalit-K		Epoxy-lining
BTR-Silverkit	Fuelling		HIT-Lining
Enca-Press	Reusser		
	Siargas		
	Kunststoffhülse		
	Spinseal		

Wie die Tabelle zeigt, spielte dabei sowohl die Nennweite (kleine Nennweiten sind besonders bruchgefährdet), die Bodenart (Austrocknen von Böden führt bei Graugussleitungen erfahrungsgemäß zur Zunahme der Rohrbruchhäufigkeit – Austrocknen im August/September kann zu Spannungen im Boden führen) als auch die Verlegetiefe (Gasleitungen haben eine geringere Überdeckung als Wasserrohrleitungen) eine entscheidende Rolle. Weitere Faktoren sind Tiefbaumaßnahmen im Umfeld der Leitungstrasse und Abstände zu Gebäuden. Maßstab für Maßnahmen am Rohrnetz ist die Schadensrate.

### 5.1.4 Sicherheit und Risikobewertung im Gasfach

#### 5.1.4.1 Sicherheit im Gasfach

Nach Cerbe [Cerbe, 1999] wird im Gasfach der Sicherheitsbegriff in unterschiedlicher Weise angewandt. Zu unterscheiden ist in technische Sicherheit, Arbeitssicherheit und Versorgungssicherheit mit folgenden Definitionen:

- Maßnahmen der technischen Sicherheit dienen der Vermeidung von Gefahren gegenüber Dritten, die sich aus der Errichtung, Betrieb und Instandhaltung gastechnischer Anlagen ergeben. Zu schützen sind Menschen, Umwelt und Sachwerte. (1)
- Maßnahmen zur Arbeitssicherheit dienen der Vermeidung von Gefahren gegenüber Mitarbeitern (Arbeitsunfälle) in den Unternehmen der Gaswirtschaft, insbesondere bei Errichtung, Betrieb und Instandhaltung gastechnischer Anlagen. (2)
- Maßnahmen zur Versorgungssicherheit dienen der Sicherstellung einer bedarfsgerechten Versorgung mit Erdgas hinsichtlich Menge und Qualität.

Die Definitionen (1) und (2) enthalten den Begriff Instandhaltung, wobei durch die Erhöhung der technischen Sicherheit auch die Zahl der Undichtheiten im Leitungsnetz verringert wird. Da durch Leckstellen eine

Anreicherung von Gas im Boden auftritt, steht bei Reparatur- und Instandsetzungsarbeiten die Arbeitssicherheit der Mitarbeiter der Gasversorgung und des ausführenden Unternehmens im Vordergrund. Arbeitsabläufe – Absperren von Leitungsstrecken, Aushub von Bodenmaterial, Freilegen der Leckagestelle, Reparatur bzw. Instandsetzung usw. – müssen ein sicheres Arbeiten gewährleisten.

Aus betriebswirtschaftlicher Sicht trägt die Vermeidung von Unfällen und Schäden zur Verringerung von Kosten des Unternehmens und der Verbesserung des Betriebsergebnisses bei.

#### 5.1.4.2 Zur Definition Schaden

Nach G 401 [DVGW, 1999b] ist der Schaden (nicht durch Dritte verursacht) „Eine lokale unzulässige Beeinträchtigung der Funktionsfähigkeit – in aller Regel mit Gasaustritt verbunden – führt meist zur unmittelbaren Instandsetzung durch Reparatur“.

Nach Cerbe [Cerbe, 1999] ist die Schadensdefinition wie folgt zu erweitern:

- Ein Schaden ist die Verletzung eines Rechtsgutes. Es kann sich um einen Körperschaden (Leben, Gesundheit), Sachschaden (Vermögen, Umwelt) oder Leistungsschaden (z.B. Zeitverlust) handeln (siehe *Abb. 5.1*).
- Nach dieser Definition stellt ein Schaden im technischen Bereich generell eine Betriebsstörung dar, d.h. eine Abweichung vom bestimmungsrechtlichen Betrieb. Der „Unfall“ ist ein Unterbegriff des „Schadens“. Im Sprachgebrauch nicht unüblich ist die parallele Verwendung der Begriffe „Schaden“ und „Unfall“ (z.B. „Schaden- und Unfallstatistik“ des DVGW).
- Der Begriff des Störfalles i.S. in der Störfallverordnung wird in der Erdgaswirtschaft nicht verwendet, da gastechnische Anlagen der öffentlichen Gasversorgung wegen ihres beschränkten Risiko-

potenzials nicht unter die Störfallverordnung fallen. Entsprechendes gilt für den Begriff der Katastrophe. Hingegen unterliegen Flüssiggasanlagen der Störfallverordnung.

**5.1.4.3 Zur Definition Risiko**

Das Risiko *R* stellt statistisch einen Erwartungswert dar und wird als Produkt von Eintrittswahrscheinlichkeit *P* und erwarteten Schadensausmaß *M* definiert. Das Schadensausmaß kann hierbei beispielsweise mit der Höhe der Folgekosten beschrieben werden wie auch qualitativ definiert sein, z.B. als Verletzung

$$R = P \cdot M \tag{5.1}$$

Risiko = Eintrittswahrscheinlichkeit · Schadensmaß

Als Eintrittswahrscheinlichkeit kann man die zu erwartenden Häufigkeit, d.h. den Quotienten aus der Anzahl *ζ* der erwarteten Schadensereignisse und der Gesamtzahl *n* der möglichen Schadensereignisse definieren.

$$P = \frac{\zeta}{n} \tag{5.2}$$

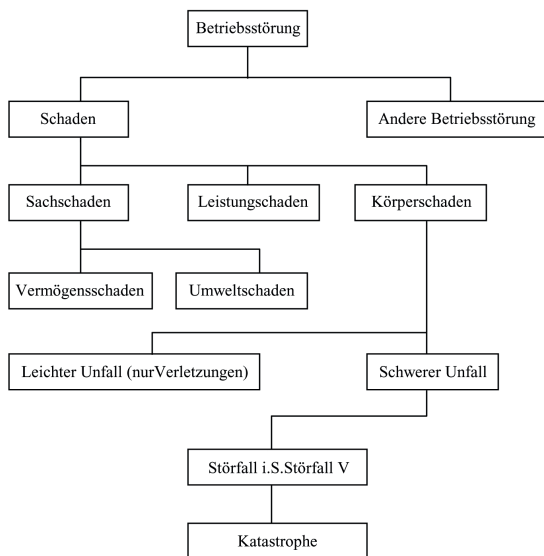


Abb. 5.1: Schadensbegriffe [Cerbe, 1999]

**5.2 Netz- und Schadensstatistik als Grundlage für Instandhaltungsstrategien**

**5.2.1 Die Neufassung des Arbeitsblattes G 402 (A)**

Gasverteilungsnetze erfordern eine kontinuierliche Instandhaltung, um sowohl ihre technische Sicherheit als auch ihre Zuverlässigkeit zu gewährleisten. Die betriebliche Instandhaltung ist durch eine umfassende Planung vorzubereiten.

Die Instandhaltungsstrategie ist in Unternehmensprozesse zu integrieren. Grundlage bei der Einführung ist die Erfassung wesentlicher Netzdaten. Die zustandsorientierte Instandhaltung erfordert zudem eine Zustandserhebung und -bewertung mittels geeigneter Systeme.

Die Instandhaltung setzt sich aus Inspektions-, Wartungs- und Instandsetzungsmaßnahmen zusammen. Die wesentlichen Grundsätze für Inspektions- und Wartungsmaßnahmen sind in den DVGW-Arbeitsblättern geregelt. Zu nennen sind insbesondere:

- G 465-1 Überprüfen von Gasrohrnetzen mit einem Betriebsüberdruck bis 4 bar; Anforderungen, Gütesicherung und Prüfung 11/1997
- G 465-2 Gasleitungen mit einem Betriebsdruck bis 5 bar; Instandsetzung 04/2002
- G 265 -2 Anlagen für die Aufbereitung und Einspeisung von Biogas in Erdgasnetze; Teil 2 Fermentativ erzeugte Gase – Betrieb und Instandhaltung – 01/2012
- G 465-3 Beurteilung von Leckstellen an erdverlegten und freiliegenden Gasleitungen in Gasrohrnetzen 10/2000
- G 465-4 Gasspür- und Gaskonzentrationsmessgeräte für die Überprüfung von Gasanlagen 03/2001
- DVGW GW 9 (A) Beurteilung von Boden hinsichtlich ihres Korrosionsverhaltens auf erdverlegten Rohrleitungen und Behältern aus unlegierten und niedrig legierten Eisenwerkstoffen
- DVGW GW 10 (A) Kathodischer Korrosionsschutz erdverlegter Lagerbehälter und Stahlrohrleitungen – Inbetriebnahme und Überwachung

Außerdem ist DIN 31051 Grundlagen der Instandhaltung zu beachten.

**5.2.2 Begriffe, Symbole, Einheiten und Abkürzungen**

Außer den in der Tabelle aufgeführten Begriffen werden weitere in DIN 31051 und aus G 462 (A) und G 472 (A) genannt.

Tab. 5.4: Begriffe, Symbole, Einheiten und Abkürzungen

Begriffe	Definition
Gasverteilungsnetz	System bestehend aus Rohren, Formstücken, Verbindungen und Armaturen
Leitungsabschnitt	Teil des Gasverteilungsnetzes mit gleichen Bestands beschreibenden Attributen (Nennweite, Rohrwerkstoff, Rohrverbindung, Rohrumhüllung, Verlegungsart Baujahr u.a.
Funktionsfähigkeit	betriebssichere Verteilung von Gas in ausreichender Menge, mit erforderlichem Druck
Instandhaltung	Kombination aller technischen und administrativen Maßnahmen sowie Maßnahmen des Managements während des Lebenszyklus eines Betriebsmittels zur Erhaltung des funktionsfähigen Zustandes oder der Rückführung in diesen, so dass es die geforderte Funktion erfüllen kann
Leitungsabschnitt	Teil des Gasverteilungsnetzes mit gleichen Bestands beschreibenden Attributen (Nennweite, Rohrwerkstoff, Rohrverbindung, Rohrumhüllung, Verlegungsart Baujahr u.a.
Leitungsgruppen	Zusammenfassung von Leitungsabschnitten hinsichtlich einzelner oder mehrerer gleichartiger Merkmale und Verhaltensweisen der Leitungsabschnitte zu Gruppen



Begriffe	Definition
Leitungsalter	Alter eines Leitungsabschnittes zu einem bestimmten Zeitpunkt
Schaden/Leckstelle	eine lokale unzulässige Beeinträchtigung der Funktionsfähigkeit - in aller Regel mit Gasaustritt verbunden)
Fremdschaden	ein Schaden durch Einwirkung Dritter (z.B. Baggerschaden)
Schwachstelle	auffälliges Betriebsmittel, das die Funktionsfähigkeit des Netzes oder von Teilen des Netzes beeinträchtigen kann
Instandhaltung	Kombination aller technischen und administrativen Maßnahmen sowie Maßnahmen des Managements während des Lebenszyklus eines Betriebsmittels zur Erhaltung des funktionsfähigen Zustandes oder der Rückführung in diesen, so dass es die geforderte Funktion erfüllen kann
Netzanalyse	Untersuchung der Verteilungsanlagen z.B. durch Schadensanalysen oder netzhydraulische Analysen, zur frühzeitigen Erkennung und Lokalisierung von Schwachstellen im Netz
Bestandsdaten	Bestandsdaten sind in der Regel unveränderliche Daten, die die Art, Lokalität, Beschaffenheit und Funktion des Betriebsmittels beschreiben
Zustandsdaten	Zustandsdaten beschreiben den Zustand eines Betriebsmittels zu einem bestimmten Zeitpunkt
Schadensdaten	Schadensdaten beschreiben das, zu einem bestimmten Zeitpunkt an einem bestimmten Betriebsmittel, eingetretenes Schadensereignis
Schadensart	Schadensart ist die festgestellte Veränderung des Sollzustandes am Betriebsmittel (z.B. Korrosion, Bruch, Riss, Loch, Verbindung undicht)
Schadensursache	Schadensursache ist die Einwirkung, die zur unzulässigen Beeinträchtigung der Funktionsfähigkeit geführt hat (z.B. Bodenbewegung, Tiefbauarbeiten, Material- und Verlegfehler)
Rehabilitation	Sanierungs- und Erneuerungsmaßnahmen zur Erhaltung der Funktionsfähigkeit des bestehenden Gasverteilungsnetzes
Sanierung	Ertüchtigung einer vorhandenen Rohrleitung
Erneuerung	Ersatz einer vorhandenen Leitung durch Verlegung einer neuen Leitung
Reparatur	Schadensbehebung durch eine Einzelmaßnahme

### 5.2.3 Grundsätze der Instandhaltung für Gasverteilungsnetze

Instandhaltungsstrategien beschreiben Maßnahmen zum Erhalt der geforderten technischen Sicherheit und Zuverlässigkeit der Netze.

Es wird zwischen kurz-, mittel- und langfristigen Instandhaltungsstrategien unterschieden, die durch eine Prioritätenliste umgesetzt werden und verfolgt das

planvolle Anstreben zu erreichender übergeordneter Instandhaltungsziele. Solche Ziele sind z.B.

- ein bestimmter Netzzustand,
- eine definierte Erneuerungsrate oder
- andere unternehmensindividuelle Zielgrößen.

Die Instandhaltungsstrategie berücksichtigt den Einsatz zur Verfügung stehender Mittel und Maßnahmen innerhalb eines bestimmten Zeitrahmens. Sondermaßnahmen, wie spezielle Austauschprogramme (z.B. Graugussprogramm, heute meist abgeschlossen) können zwar Teil einer Instandhaltungsstrategie sein, ihre Planung und Umsetzung sind jedoch unabhängig zu allgemeinen Instandhaltungsmaßnahmen im Gasverteilungsnetz durchzuführen.

Bei der **korrekativen Instandhaltung** wird abgewartet bis Störungen oder Ausfälle eintreten welche Instandsetzungsmaßnahmen erfordern. Sie bietet sich insbesondere bei redundanten oder nichtkritischen Betriebsmitteln in Bezug auf Sicherheit und Versorgungszuverlässigkeit an und ist nicht geeignet für Betriebsmittel die eine hohe Sicherheit erfordern.

Dagegen werden bei der **vorausbestimmten (präventiven) Instandhaltung** Instandhaltungsmaßnahmen zu planmäßig festgelegten Terminen unabhängig von äußeren Einflüssen obligatorisch durchgeführt. Sie ist bei sicherheitstechnisch besonders kritischen Betriebsmitteln sinnvoll.

Bei der **zustandsabhängigen vorbeugenden Instandhaltung** werden Maßnahmen anhand des Zustands der Betriebsmittel durchgeführt. Sie ist nur bei Betriebsmitteln sinnvoll, deren Zustand grundsätzlich erfassbar ist.

Eine **optimale Instandhaltungsstrategie** enthält Elemente von korrektiver, präventiver und zustandsorientierter Instandhaltung.

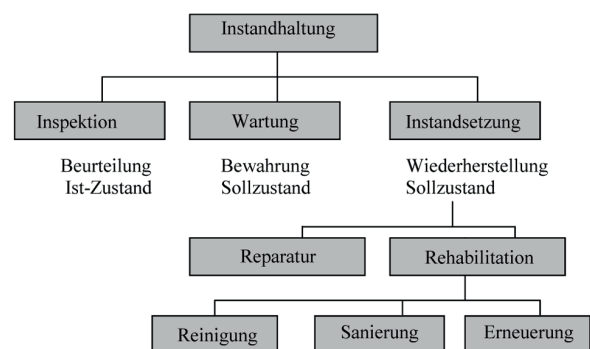


Abb. 5.2: Maßnahmen der Instandhaltung [DIN, 2003a]

### 5.2.4 Instandhaltungsrelevante Daten

Eine qualifizierte Instandhaltung erfordert Daten aus Bestandskarten und Datenbanken wie:

- Netzbestand (Versorgungsleitungen, Hausanschlussleitungen, Armaturen)
- Schadensstellen (leitungsabschnittsbezogene Schadensstatistik)
- Befunde über den Leitungszustand (optional)
- Umgebungsdaten (optional)

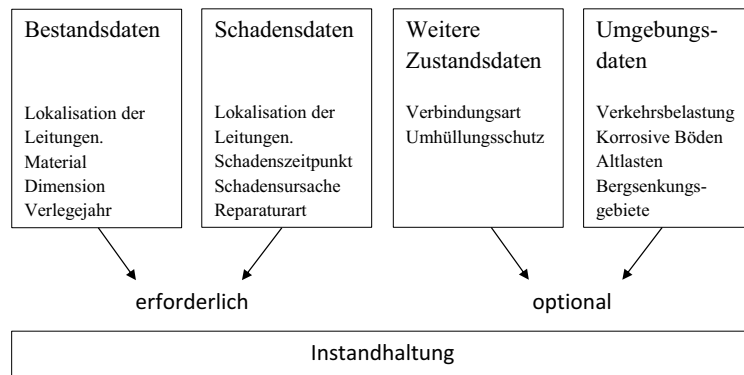


Abb. 5.3: Übersicht instandhaltungsrelevante Daten

Schadens- bzw. Zustandsdaten werden im Rahmen von Rohrnetzüberprüfungen, bei Schaden oder durch Auswertung von Messwerten z.B. des kathodischen Korrosionsschutzes (KKS) erhoben. Wurden diese bisher nicht erfasst, ist mit einer entsprechenden Datenerfassung zu beginnen. Fehlende Bestandsdaten sind nach Möglichkeit zum Beispiel im Rahmen von Bau- oder Reparaturarbeiten nachträglich zu erfassen. Dagegen sind Schadensereignisse durch Fremdeinwirkung kein Indikator für den Netzzustand und sind gesondert zu kennzeichnen.

**Bestandsdaten**

Bestandsdaten beinhalten die wesentlichen technischen Informationen des Gasverteilungsnetzes und werden in der Regel in geografischen Informationssystemen, Betriebsmittelinformationssystemen oder in kaufmännischen Systemen wie der Anlagenbuchhaltung verwaltet. Sie können zusätzliche Informationen zum Betrieb der Gasverteilungsnetze wie den maximal zulässigen Betriebsdruck usw. beinhalten.

Tab. 5.5: Bestandsdaten Linienobjekte (Leitungsabschnitte)

	Erforderlich	Optional
Material	*	
Länge	*	
Nennweite bzw. DN	*	
Baujahr, Verlegejahr		
Leitungsart Hausanschlussleitung oder Versorgungsleitung	*	
Lokalisation der Leitung (z.B. Koordinaten, Straße)	*	
Jahr und Art der erfolgten Rehabilitation		*
Maximal zulässiger Betriebsdruck (MOP)		*
Auslegungsdruck (DP)		*
Weitere technische Daten (z.B. Wanddicke, SDR, Art der Umhüllung, Hersteller, Verbindungstechnologie)		*

Weitere Daten können analog als Punktobjekte erfasst werden.

**Schadensdaten**

Der Netzzustand wird wesentlich durch ermittelte Schadensinformationen charakterisiert (siehe dazu Rohrnetzüberprüfung nach G 465-1).

Schäden sind hinsichtlich ihrer Ursache zu untersuchen, wie Beschädigung der Umhüllung durch Dritte, Fehler bei der Verlegung, Materialversagen usw..

Bei Korrosionsschäden, die ursächlich auf Fremdeinwirkungen zurückzuführen sind, empfiehlt sich eine Bewertung der Bodenverhältnisse entsprechend DVGW-Arbeitsblatt GW 9, um Hinweise auf den Zeitpunkt der Beschädigung und damit den tatsächlichen Reparatur- bzw. Rehabilitationsbedarf zu erhalten. Punktuelle Ereignisse wie beispielsweise die später durchgeführte Aufgrabung im Bereich einer Leitungstrasse können so von Schäden größeren Umfanges, wie systematische Fehler bei der Verlegung, Materialfehler usw. unterschieden werden.

Folgende Schadensdaten sind für die Instandhaltungsstrategie wichtig und sind zu erfassen:

- Erfassungszeitpunkt (Datum),
- Lokalisation (Koordinaten, Adresse),
- Fremdeinwirkung (Ja/Nein),
- Klassifizierung der Gasbefunde nach G 465-3,
- Schadensart und Schadensursache.

**Weitere Zustandsdaten**

Zustandsdaten sind grundsätzlich optionale Daten. Ihre Erfassung und Auswertung erhöht die Qualität der entwickelten Instandhaltungsstrategie. Der Umfang der Erfassung und der Auswertung sind vom Unternehmen selbst festzulegen und folgende Daten aufzunehmen:

- Zustandsbeschreibung (z.B. aus KKS-Messungen, Informationen ohne/mit Aufgrabungen)
- Lokalisation (z.B. Koordinaten, Adresse)
- Erfassungszeitpunkt (Datum)

Bei kathodisch geschützten Netzabschnitten können zusätzliche Zustandsinformationen aus den Messungen des kathodischen Korrosionsschutzes (KKS) gewonnen werden.

Folgende weitere Daten können erfasst werden, z.B.

- Bodenart
- Abstand zur Bebauung
- Verkehrsbelastung
- Bodenbewegungen

### Anforderungen an die Speicherung von Bestands-, Schadens- und Zustandsdaten

Bestands-, Schadens- und Zustandsdaten sollten auf elektronischer Basis (z.B. in geografischen Informationssystemen, Datenbanken oder Tabellenkalkulationsprogrammen) dokumentiert werden, um möglichst rechnergestützte Analysen durchführen zu können. Schadens- und Zustandsdaten müssen eindeutig einem Betriebsmittel aus dem Anlagenbestand zugeordnet sein.

Die Historie des Anlagenbestandes ist zu erhalten, Änderungen im Anlagenbestand z.B. bei Rehabilitation dürfen nicht zum Überschreiben der bisherigen Bestandsdaten führen. Dabei ist zu beachten, dass die Daten ihre Beziehung zum Betriebsmittel auch dann nicht verlieren, wenn das Betriebsmittel nicht mehr zum aktuellen Bestand gehört.

Die gebildeten Gruppen sind hinsichtlich eines ähnlichen Nutzungsverhaltens zu überprüfen und ggf. anzupassen. Sofern ein ähnliches Nutzungsverhalten einer Gruppe nicht ausreichend beschrieben werden kann, ist eine zusätzliche Aufteilung auf weitere Einflussfaktoren vorzunehmen (z.B. Korrosionsschutz).

#### 5.2.5 Aufbereitung der Schadens- und Zustandsdaten

Ziel der Aufbereitung der Schadens- und Zustandsdaten und deren Verbindung mit den in gebildeten Gruppen ist insbesondere die Identifizierung der instandhaltungsintensiven Betriebsmittel.

Bei der Aufbereitung der Schadensdaten sind folgende Schritte erforderlich.

- Alle Fremdschaden sind zu eliminieren (z.B. Baggerschaden).
- Es ist sicherzustellen, dass nur Schadensinformationen an Betriebsmitteln, die der betrachteten Betriebsmittelgruppe angehören, berücksichtigt werden, z.B. sind Schaden an Armaturen oder Anbohrschellen nicht der entsprechenden Versorgungsleitung zuzuordnen.
- Alle Informationen sind auf eine Bezugsgröße zu normieren, um beispielsweise den Einfluss unterschiedlicher Überprüfungszyklen, unterschiedlicher Längen oder Stückzahlen auszuschließen (z.B. Verwendung der Leckstellenrate in Schäden pro Kilometer und Jahr statt einer absoluten Schadensanzahl in Stück innerhalb eines Betrachtungszeitraumes).
- Schäden, die mehrfach gemeldet werden (z.B. in aufeinander folgenden Überprüfungszeiträumen), sind nur einfach in Ansatz zu bringen.

Schadensdaten liegen grundsätzlich in der Form einer absoluten Größe pro Betrachtungszielraum vor. Die Aufbereitung beginnt unabhängig vom betrachteten Planungszeitraum (lang-, mittel-, kurzfristig).

#### 5.2.6 Leitungsgruppen

Die Bildung von Leitungsgruppen hat zum Ziel, auffällige Rohrmaterialien und Rohrverbindungen sowie Korrosionsschutzmaßnahmen, welche früher eingesetzt wurden zu erkennen.

Kriterien für die Gruppenbildung sind:

#### die Materialart

- Graugussleitungen (GG)
  - mit Stemmmuffen
  - mit Schraubmuffen
- Leitungen aus duktilem Gusseisen (GGG)
  - ohne ausreichende Rohrumhüllung, von Mitte der 60er Jahre bis Anfang der 70er Jahre verlegt
  - mit Außenschutz nach DIN 30674 ab Anfang der 70er Jahre verlegt
- Stahlrohrleitungen nach der Rohrumhüllung
  - mit Jute/Asphaltumhüllung bis Mitte der 40er Jahre verlegt
  - mit einfacher Bitumentumhüllung bis Ende der 50er Jahre verlegt
  - mit doppelter Bitumentumhüllung und Gewebereinlage bis Ende der 60er Jahre in/ohne Sandbett verlegt
  - mit PE-Umhüllung und/ohne mechanischen Schutz ab Beginn der 70er Jahre verlegt
  - mit PE-Umhüllung und Faserzementumhüllung ohne Sandbett ab Beginn der 80er Jahre verlegt
  - mit kathodischem Verbundkorrosionsschutz
- PVC-Leitungen
  - von 1962 bis 1982 verlegt
  - mit Doppelmuffen Klebeverbindung mit angeformten Klebemuffen
- PE-Leitungen nach Generationen (ggf. nach Schweißverbindungsverfahren unterscheiden)
  - Generation PE-h, PE 63
  - 2. Generation HD-PE Typ 1 und 2, PE 80
  - 3. Generation ab 1995 verlegt (PE 100)
- PE-X<sub>a</sub>-Leitungen ab 1995 verlegt
- RTP-Leitungen ab 2000 verlegt

#### die Verbindungsart

- mit Stemmmuffen
- mit Schraubmuffen
- mit Schweißmuffen
- mit Stumpfschweißverbindungen

#### das Verlegeverfahren

Gruppen entsprechend Verlegeverfahren, Material, Verbindungsart und ortsspezifischer Kriterien bilden

- in offener Bauweise verlegte Leitungen
- Grabenlos verlegte Leitungen

#### das Sanierungsverfahren

Leitungsgruppen (s. Abb. 5.4) entsprechend dem Sanierungsverfahren bilden, z.B.:

- Einzelabdichtung von außen
- Einzelabdichtung von innen
- Regeneration der Dichtelemente
- Innenbeschichtung
- Gewebeschlauchverfahren
- Reliningverfahren mit wandreduziertem PE-Rohr



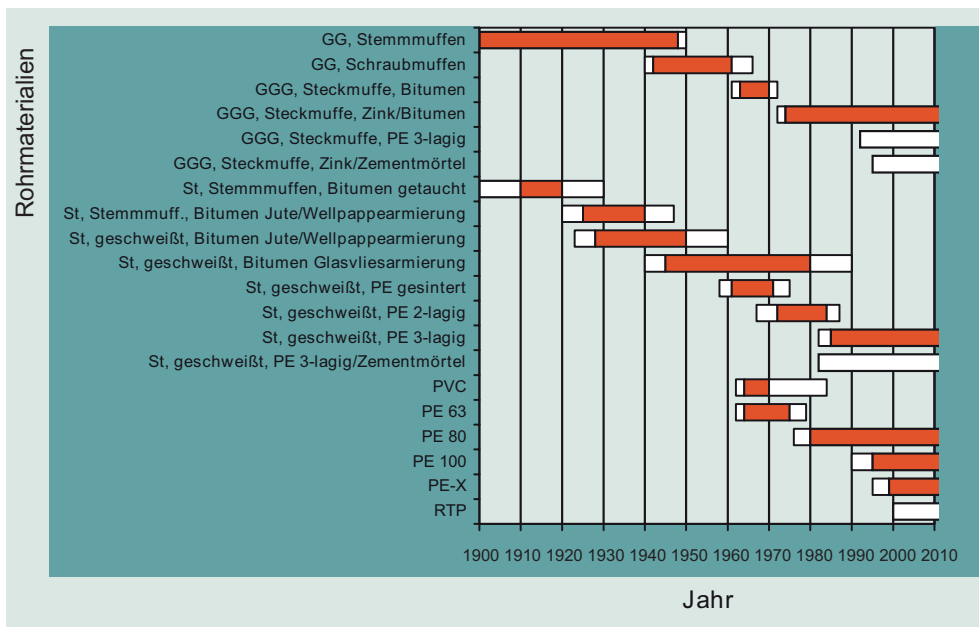


Abb. 5.4: Leitungsgruppen

Zu beachten ist bei PVC-Leitungen, dass vor allem in Norddeutschland ein hoher Bestand an PVC-Leitungen vorhanden ist (nach [Bilsing et al., 2014] sind es 15.122 km).

Beispiele für die Erfassung Auswertung von Daten zum Aufbau von Instandhaltungsstrategien sind in G 402 (A) S. 16 ff nachzulesen.

### 5.3 Grundsätze der Instandhaltung von Gasverteilungsnetzen

#### 5.3.1 Instandhaltungsstrategien

Instandhaltungsstrategien beschreiben Maßnahmen zum Erhalt der geforderten technischen Sicherheit und Zuverlässigkeit der Netze. Es wird zwischen kurz-, mittel- und langfristigen Instandhaltungsstrategien unterschieden, die z.B. durch eine Prioritätenliste umgesetzt werden. Neben der Einhaltung der geforderten technischen Sicherheit und Zuverlässigkeit können weitere Ziele sein:

- ein bestimmter Netzzustand,
- eine definierte Erneuerungsrate oder
- andere unternehmensindividuelle Zielgrößen.

Die Instandhaltungsstrategie berücksichtigt den Einsatz zur Verfügung stehender Mittel und Maßnahmen innerhalb eines bestimmten Zeitrahmens.

##### 5.3.1.1 Langfristige Instandhaltungsstrategie

Das Merkblatt 403 „Entscheidungshilfen für die Instandhaltung von Gasverteilungsnetzen“ steht im engen Zusammenhang mit der Technischen Regel G 402 (A) „Netz- und Schadensstatistik – Erfassung und Auswertung von Daten zum Aufbau von Instandhaltungsstrategien für Gasverteilungsnetze“.

Der langfristige Instandhaltungsbedarf kann nach festgelegten Rehabilitationsraten, Budgetvorgaben und un-

ternehmensspezifischen Bedingungen auf der Grundlage der nach G 402 ermittelten Daten und Kennwerte ermittelt werden.

Rohrnetzberechnungen zur Optimierung der hydraulischen Bedingungen sind erforderlich, um den Investitionsbedarf und die Netzkosten niedrig zu halten. Als Betrachtungszeitraum gelten in der Regel 30 Jahre.

Die Strategieziele setzen die Einteilung der Betriebsmittel (Leitungsnetzbestand aufgrund gleichem oder ähnlichem zu erwartenden Nutzungsverhalten ermittelt aus Bestands-, Schadens- Zustands- und Umgebungsdaten) voraus. Anhand dieser kann der Instandhaltungsbedarf ermittelt werden. Weiterführend sind Zustandsermittlungen nach G 465-1, G 465-2 usw. durchzuführen.

Allerdings ist zu berücksichtigen, dass durch die gegenwärtig laufenden Untersuchungen zu Biogas- und Methaneinspeisung usw. neue Betrachtungszeiträume entstehen können.

##### 5.3.1.2 Mittelfristige Instandhaltungsplanung

Der Betrachtungszeitraum für die mittelfristige Planung beträgt in der Regel 5 Jahre. Für diese ist der Zustand des Rohrnetzes zu ermitteln, um Leitungsabschnitte mit der größten Rehabilitationsdringlichkeit abzuleiten. Die Instandsetzungsplanung beinhaltet auch die Wartungs- und Inspektionsplanung.

Folgende Kriterien können herangezogen werden:

- Schadensentwicklung von Leitungsabschnitten (aus Schadensdaten bzw. Erfahrungswerten)
- Weitere Zustandsdaten, z.B. Korrosion, Rohrumhüllung usw.
- Umgebungsdaten, z.B. Verkehrsbelastung usw.

Für die Leitungsabschnitte ist eine Prioritätenliste zu erstellen.

### 5.3.1.3 Kurzfristige Instandhaltungsmaßnahmen

Die kurzfristig zu realisierenden Maßnahmen ergeben sich aus der mittelfristigen Planung – der o.g. Maßnahmenliste. In die Planung sind einzubeziehen:

- Maßnahmen Dritter
- Aufrechterhaltung der Versorgung

Weitere externe Einflüsse z.B.

- Straßenbau- oder Kanalbaumaßnahmen
- Bodenbewegungen (z.B. Bergsenkung, Großbaustellen)
- Schwerlastverkehr
- Baumpflanzungen
- Streustromgefährdung

können Anlass für vorgezogene Rehabilitationsmaßnahmen sein.

Die durchgeführten Maßnahmen haben Rückwirkungen auf die vorgelagerten Planungen – die mittelfristige und die langfristige Instandhaltungsplanung.

### 5.3.1.4 Folgen unzureichender Instandhaltung

Die Folgen unzureichender Instandhaltung sind:

- steigendes Rohrnetzalter (wobei das Alter kein Kriterium für den Zustand des Rohrnetzes ist),
- steigende Schadenshäufigkeit,
- hohes Gefährdungspotenzial,
- steigende Reparaturkosten.

Bei der Erneuerung vorhandener Gasverteilungsnetze sind die Planung für den Ausbau und die Erweiterung zu berücksichtigen.

Die strategische Langzeitplanung wird in differenzierten Jahresplänen umgesetzt. Ziel der von Jahr zu Jahr fortschreitenden Planung ist,

- Prioritäten festzulegen, die den größten technisch/wirtschaftlichen Nutzen nach Behebung der Schwachstellen erwarten lassen (Erhöhung der Versorgungssicherheit, Verringerung der Wartungs- und Reparaturkosten),
- Ablauf und Durchführung hinsichtlich technischer und wirtschaftlicher Kriterien zu optimieren (Verfahrensauswahl, Einsatz von Eigenleistung oder Fremdleistung, Umfang der Ersatzversorgung),
- über Soll/Ist-Vergleiche den Technisch/wirtschaftlichen Erfolg zu überprüfen und zu sichern,
- externe Einflüsse auf die Rehabilitation zu berücksichtigen.

Einzelschritte der Jahresplanung für die Rehabilitation des Gasverteilungsnetzes sind:

- Analyse des Zustandes der Leitungsgruppen,
- Ermitteln der Bearbeitungsprioritäten von Rehabilitationsabschnitten:
  - Leitungsabschnitte mit erhöhten Schadensraten,
  - Leitungen mit Schwachstellen, vor allem mit belegtem schlechten Leitungszustand,

- Anschlussleitungen:
  - Entscheidung über die vorgezogene Rehabilitation von Anschlussleitungen mit der Versorgungsleitung,
  - Aufstellen von eigenen Rehabilitationsprojekten für Anschlussleitungen mit systembedingten Schwachstellen (z.B. unzureichender Korrosionsschutz, Hauseinführungen ohne elektrische Trennstelle oder Ausziehsicherung),
- Erfassen sonstiger Leitungsbaumaßnahmen, die zu vorgezogenen Erneuerungen führen können.

## 5.4 Schadens Erfassung und Überprüfung nach G 465-1

### 5.4.1 Überprüfung von Gasrohrnetzen mit einem Betriebsdruck bis 4 bar

Zur Erhaltung der Betriebssicherheit von Gasrohrnetzen, bestehend aus Versorgungs- und Anschlussleitungen einschließlich Hauptabsperreinrichtungen, sind regelmäßige Überprüfungen notwendig. Die Überprüfungsmaßnahmen sind durch Fachkräfte des Gasversorgungsunternehmens oder beauftragte Fachfirmen durchzuführen. Die Zeitabstände für Versorgungsleitungen sind von den

- Betriebsbedingungen und dem
- technischen Zustand der Gasleitungen, wie maximaler Betriebsdruck und Leckstellenhäufigkeit

abhängig.

Die Leckstellenhäufigkeit ist kilometerbezogen (n/km) zu ermitteln, wobei als Leckstelle jeder lokalisierte und klassifizierte Gasaustritt gilt.

Die Überprüfung sollte abschnitts- bzw. straßenweise erfolgen, um Leitungsabschnitte mit erhöhter Leckstellenhäufigkeit zu erkennen. Der Überprüfungszeitraum ist zu verkürzen, wenn die Leckstellenhäufigkeit den Wert 1 Leck/km übersteigt. Graugussleitungen mit Ausnahme sanierter Graugussleitungen nach GW 478 (Gewebeschlauch) bzw. GW 320/I und II (PE-Relining) sind einmal jährlich zu überprüfen. Die Überprüfungszeiträume enthält Tab. 5.6.

Tab. 5.6: Mindestüberprüfungszeitraum in Jahren

Betriebsdruck in bar	Leckstellenhäufigkeit pro km		
	≤ 0,1	≤ 0,5	≤ 1,0
Überprüfungszeitraum in Jahren			
≤ 0,1	6*	4	2
< 0,1 bis ≤ 1	4*	2	1
> 1	2*	1	0,5

\* die Überprüfungszeiträume gelten nur für PE-Leitungen und kathodisch geschützte Stahlleitungen

Hausanschlussleitungen und Leuchtenanschlussleitungen sind gleichzeitig mit den Versorgungsleitungen zu überprüfen; für freiverlegte Gasleitungen, Gasleitungen in Brücken gelten weitere Festlegungen.

Außerplanmäßige Überprüfungen sind nach Witterungsbedingungen und örtlichen Verhältnissen festzule-

gen (Winter – Dauer der Frostperiode – und Änderung von Betriebsbedingungen).

Weitere Überprüfungen sind bei folgenden Situationen angeraten:

- Gasleitungen, insbesondere Graugussleitungen, die bei Bodenfrost besonderen Beanspruchungen unterliegen;
- Setzungen im Bereich von Gasleitungen, z.B. als Folge von tiefgründenden Baumaßnahmen oder von Grundwasserabsenkungen;
- Setzungen im Bereich von Hausanschlussleitungen;
- Grunderneuerung von Straßen;
- Setzungen im Bereich von Gasleitungen in Bodensenkungsgebieten (Bergbaugebiete und dergleichen);
- Gasleitungen im Gefährdungsbereich möglicher Streustromaustrittsstellen, z.B. Nähe von Gleichrichteranlagen für Gleichstrombahnen;
- Abschnittsweise erhöhte Bodenaggressivität;
- Gasleitungen, die zusätzlichen Beanspruchungen ausgesetzt sind (z.B. erhöhte Rohrüberdeckung durch nachträgliche Geländeaufschüttungen, Umleitungen des Straßenverkehrs, Schwerlasttransporte etc.).

Angezeigte Fremdbaustellen sind auf mögliche Beeinträchtigungen der Gasleitungen zu beurteilen. Fremdarbeiten im Bereich von Gasleitungen sind, soweit besondere Auflagen erteilt wurden, entsprechend zu überprüfen (siehe GW 315 „Hinweise für Maßnahmen zum Schutz von Versorgungsanlagen bei Bauarbeiten“ [DVGW, 1979]).

Als Methoden der Überprüfung von Leckstellen kommen in Betracht:

- oberirdische Überprüfung mit Teppich- oder Glockensonde,
- Prüfung der Bodenluft mit Gasmessgeräten (Tiefe der Löcher ca. 0,3 m, Abstände nach örtlichen Verhältnissen),
- ggf. Tiefenbohrungen bei Überdeckung > 1 m und evtl. bei Straßendecken mit entsprechender Befestigung.

Für erkannte Schwachstellen sind entsprechend den örtlichen Verhältnissen außerplanmäßige Überprüfungsmaßnahmen, insbesondere im Winterbetrieb, festzulegen.

Besonderes Augenmerk ist zu richten auf:

- Häufungen der Leckstellen an einzelnen Gasleitungen,
- aggressive Bodenverhältnisse,
- Gasleitungen in Einflussgebieten von Streuströmen (z.B. von Gleichstrombahnen oder Kreuzungen mit Strom führenden Leitungen),
- Veränderungen in Bodensenkungsgebieten (Bergbaugebiete und dergleichen),
- Gasleitungen, die zusätzlichen Beanspruchungen ausgesetzt sind,

- Graugussrohre  $\leq$  DN 150 und
- Einwirkungen im Zuge von Tiefbauarbeiten.

## 5.4.2 Beurteilung nach GW 465-2

### 5.4.2.1 Ursachen von Leckstellen

Als Ursachen von Leckstellen sind zu nennen:

- Korrosionen, z.B. ausgelöst durch schadhafte Rohrumhüllungen, aggressive Böden, Streuströme, Elementbildung, Beschädigungen durch Erdarbeiten;
- Brüche, z.B. bedingt durch Verkehrslasten, Bodenbewegungen (durch Frost, Änderung der Bodenfeuchte in quellenden Böden, Bergsenkungen), vorwiegend an Graugussrohren;
- undichte Verbindungen, z.B. an Stemm-Muffen, Gummidichtungen, Schraubverbindungen, Schweißnähten, Kunststoffrohren, ausgetrockneten oder verrotteten Dichtungen an Anbohrstellen und Armaturen.

Je nach Beurteilung der Ursachen und der Häufigkeit der Leckstellen in einem Überprüfungsabschnitt ist die

- Einzelreparatur,
- Sanierung,
- Erneuerung.

durchzuführen. Soll die Gasleitung saniert oder erneuert werden, ist anhand der konkreten örtlichen Bedingungen zu beurteilen und festzulegen, wie die Leckstellen bis zur Sanierung bzw. bis zur Inbetriebnahme der neuen Leitung überprüft und unter Kontrolle gehalten werden.

### 5.4.2.2 Einflussgrößen auf die Gasausbreitung

Als Einflussgrößen auf die Gasausbreitung sind zu nennen die:

1. Dichtheit der Oberfläche,
2. Bodenart und Rohrdeckung,
3. Schleichwege des Gases im Boden,
4. Neigung der Leitung,
5. Bodenklima,
6. Bakterientätigkeit und Gase aus Zersetzungsprozessen im Boden sowie
7. Autoabgase.

**Zu (1) Dichtheit der Oberfläche:** Durch dünne, poröse oder brüchige Oberfläche dringt das Gas leichter hindurch als durch eine dicke Beton- oder Bitumen-/Asphaltoberflächen; Gas kann leichter zwischen der Bitumendecke und dem Randstein bzw. durch Fugen im Straßenbelag entweichen. Unter dichten Straßendecken sammelt sich aufsteigendes Gas an. Selbst bei kleinen Leckstellen kann es zu hohen Gaskonzentrationen und großflächiger Gasausbreitung unter der Straßenoberfläche kommen.

**Zu (2) Bodenart und Rohrdeckung:** Die Ausbreitung des Gases im Boden erfolgt um die Austrittsstelle, wobei in Verkehrswegen mit Leitungen verschiedener Ver- und Entsorgungsträger (gestörte Böden) mit unregelmäßiger Gasausbreitung zu rechnen ist. Bei bindigen, d.h. lehmigen und tonigen Böden treten um die Aus-



trittsstelle durch Austrocknen des Bodens Schrumpfrisse auf, durch die das Gas strömt. Der Durchmesser der Austrittsfläche an der Oberfläche kann daher in weiten Grenzen schwanken. Die Höhe der Rohrdeckung beeinflusst ebenfalls die Austrittsfläche.

**Zu (3) Schleichwege des Gases im Boden:** Hohlräume wie Kanäle, stillgelegte Rohrleitungen oder Kabeltrassen geben dem Gas die Möglichkeit, abseits von der eigentlichen Leckstelle an die Oberfläche zu gelangen. Deswegen müssen bei der oberirdischen Überprüfung alle Straßeneinbauten von z.B. Telefon-, Wasser-, Abwasser- oder andere unterirdische Anlagen mit überprüft werden.

**Zu (4) Neigung der Leitung:** Für Leitungen an ansteigenden Straßen gilt allgemein, dass bei Gasen mit einer relativen Dichte  $d < 1$  die Austrittsstelle des Gases an der Oberfläche oberhalb, bei Gasen mit einer relativen Dichte  $d > 1$  unterhalb der Leckstelle liegt.

**Zu (5) Bodenklima (Feuchtigkeit und Temperatur):** Gefrorene Oberflächen sind weniger gasdurchlässig als nicht gefrorene. Die Ausbreitungsbedingungen des Gases werden durch fehlende Diffusion und Ventilation verändert, so dass unter solchen Umständen die Gaslecksuche nicht oder nur eingeschränkt möglich ist.

**Zu (6) Bakterientätigkeit und Gase aus Zersetzungsprozessen im Boden:** anaerobe Bakterien können Methan ganz oder teilweise zu Kohlendioxid umsetzen. In Böden mit organischen Anteilen, z.B. in sumpfigen Böden und der Kanalisation können manchmal brennbare Gase nachgewiesen werden (Gemisch aus Methan und Kohlendioxid), die aus der Tätigkeit bestimmter Mikroorganismen herrühren dadurch wird eine Leckstelle vorgetäuscht (Nachweis durch Gasanalyse).

**Zu (7) Autoabgase:** Da Autoabgase Anteile an Kohlenmonoxid und Kohlenwasserstoffen enthalten, muss bei der oberirdischen Überprüfung darauf geachtet werden, dass eine Leckstelle nicht durch ein vorbeifahrendes Auto vorgetäuscht wird.

### 5.4.2.3 Leckgröße, Leckmenge und Leckklassifikation

Die Leckmenge ist abhängig von der Größe der Austrittsstelle, dem Betriebsdruck sowie der Bodenart. Aus einer oberirdisch festgestellten Gaskonzentration kann jedoch aufgrund der vorgenannten Einflussfaktoren **kein Rückschluss** auf die Leckgröße oder Leckmenge gezogen werden.

Unter Beachtung des Gefahrenpotentials sind festgestellte Leckstellen zu klassifizieren. Die Einstufung in Leckklassen bietet Entscheidungshilfen über Art und Reihenfolge der Schadensbeseitigung.

Entsprechend der Klassifikation sind Maßnahmen einzuleiten, welche die Abwehr einer möglichen Gefährdung sowie die Reparatur oder Erneuerung beinhalten. Kriterium für die jeweilige Leckklasse ist der Abstand der Befundgrenze zu einem Gebäude oder erkennbaren Hohlräumen.

Die Einstufung der Leckstellen erfolgt in die Leckklassen A I, A II, B und C.

- Leckklasse A I* bedeutet Befund in einem Gebäude. Sicherungsmaßnahmen und Reparatur der Leckstelle sind unverzüglich einzuleiten.
- Leckklasse A II* weist eine Leckstelle mit der Befundgrenze in unmittelbarer Nähe von Gebäuden aus. Sicherungsmaßnahmen, wie z.B. Freilegung der Leitung für einen ungehinderten Abzug des Gases, sind unverzüglich zu treffen; die Reparatur der Leckstelle ist einzuleiten.
- Leckklasse B* weist eine Befundgrenze einer Leckstelle in größerer Entfernung von einem Gebäude aus.
- Leckklasse C* sind Leckstellen mit Befund einzuordnen, die eine solche Entfernung von Gebäuden haben, dass ein Eindringen von Gas in ein Gebäude nicht zu erwarten ist.

Tab. 5.7: Leckklassen und zugeordnete Maßnahmen

Leck-Klasse	Befund	Maßnahmen	Zeitplan der Maßnahmen	
			Überprüfung	Beginn der Reparatur bzw. der Erneuerung
A I	Befund im Gebäude	Sicherungsmaßnahmen treffen, unverzügliche Beseitigung der Gefahr	nach Bedarf bis zur Beseitigung	unverzüglich
A II	Befund in unmittelbarer Nähe eines Gebäudes	Sicherungsmaßnahmen treffen, Reparatur einleiten	täglich oder wöchentlich	innerhalb einer Woche
B	Befund in größerer Entfernung zu einem Gebäude	in Reparatur- oder Erneuerungsplan aufnehmen	zweimonatlich im Winter außerplanmäßige Überprüfung festlegen <sup>5)</sup>	vor dem Winter bzw. nach Erneuerungsplan
C	Befund lässt ein Einströmen von Gas in Gebäude nicht erwarten	in Reparatur- oder Erneuerungsplan aufnehmen	nach Bedarf im Winter außerplanmäßige Überprüfung festlegen <sup>5)</sup>	nach Bedarf bzw. nach Erneuerungsplan

<sup>1)</sup> Bei Befund in Hohlräumen sind bei der Festlegung der Leckklasse die konkreten örtlichen Bedingungen wie Nähe zum Gebäude, Gasausbreitung, Gaskonzentration usw. zu beachten.

<sup>2)</sup> Nach Beseitigung der Leckstelle ist eine Überprüfung nach G 465-1 erforderlich.

<sup>3)</sup> Außerplanmäßige Überprüfung im Winter nach möglicher Gefährdung täglich bis 14-tägig festlegen.

Leckstellen der Leckklasse B und C können in einen, Reparatur- bzw. Erneuerungsplan aufgenommen werden, wenn eine unmittelbare Beseitigung nicht zweckmäßig ist. Bei Leckstellen der Leckklasse B und C wird außerdem auf die Festlegung von außerplanmäßigen Überprüfungsmaßnahmen verwiesen. G 465-3 [DVGW, 2000a] enthält in Anlage 2 Leckklassen und zugeordnete Maßnahmen (Tab. 5.7).

## 5.5 Leckortung [Hüning und Homann, 1997]

### 5.5.1 Die Anfänge der Leckortung

Anfangs setzte man für die Leckortung (etwa seit 1900) Eisenstangen ein, welche man in Entfernungen von 1–2 m in den Boden trieb. Bei stärkeren Ausströmungen konnte man das Gas durch seinen Geruch feststellen, geringere Gasmengen wurden mit Palladiumchlorürlösung nachgewiesen (Färbung von Papierstreifen).

Weitere Entwicklungsstufen waren:

- fest installierte Prüfröhre,
- die Sondenlochmethode und
- Gasspürgeräte nach dem Diffusionsprinzip.

### 5.5.2 Heutige Gasspürtechnik

Die heutige Technik beruht auf dem Absaugprinzip mit denen Gasspuren im ppm-Bereich erkannt werden können. Die Anfänge der Absaugtechnik gehen in das Jahr 1962 zurück. Wichtig bei der Leckortung ist die Kenntnis der Ausbreitungsgesetzmäßigkeiten im Boden, insbesondere in trockenen und nassen Böden. Als Einflussgrößen der Gasausbreitung und deren Berücksichtigung bei der Gasrohrnetzüberprüfung werden genannt (siehe oben Kap. 5.4.2 Beurteilung nach GW 465-2):

- Dichtheit der Oberfläche,
- Bodenart, Rohrdeckung,
- Schleichwege des Gases im Boden,
- Neigung der Leitungen,
- Bodenverlauf der Leitungen,
- Bodenklima (Temperatur),
- Bakterientätigkeit und Gase aus Zersetzungsprozessen im Boden,
- Auto- und Industrieabgase,
- Bebauungsdichte, Verkehr.

Ergänzend sind Angaben zur Temperatur und zu den Zersetzungen im Boden zu machen. Weiterhin ist zu beachten, dass bei niedrigen Außentemperaturen und Bodentemperaturen von unter +5 °C eine intensive Bindung des grobmolekularen Methans besonders im feinkörnigen Sandboden stattfindet. Das Ausmessen einer höchsten Konzentration zur Bestimmung der Schadensstelle wird stark erschwert. Zersetzungsprozesse,

die zur Bildung von Sumpfgas oder Faulgas führen, sowie die bakterielle Umsetzung von Methan in das nicht-brennbare schwere Kohlendioxyd sind ebenso zu beachten.

Gasaustritte sind auch durch Veränderungen der Vegetation erkennbar (braune Flecken im Rasen und verkümmerte Bäume) – eine Methode, die in den USA von den Gasspürtrupps mit genutzt wird.

Abb. 5.5 zeigt ein Messgerät mit Teppichsonde und Anzeige. Das Messgerät wird im Fußgängertempo im Trassenverlauf geschoben oder gezogen – damit ergibt sich ein Strich im Trassenverlauf, der kontinuierlich überprüft wurde.

Nachteilig bei der Teppichsonde ist jedoch die eingeschränkte Beweglichkeit, zum Beispiel beim Abspüren von links oder rechts der Trasse (aber im Trassenbereich) liegenden Straßeneinbauten. Gerade die Überprüfung von Rissen in der Oberfläche, Kanten alter Aufgrabungen oder das Einbeziehen von Straßeneinbauten, die im Trassenverlauf liegen, verbessert das Ergebnis der Rohrnetzuntersuchung.

Vor Aufnahme der Überprüfungsarbeiten sind zu klären:

1. Besprechung über Einsatzgebiet.
2. Abstimmung mit dem Lotsen.
3. Pläne übernehmen, prüfen.
4. Informationen über letzte Prüfung.
5. Zeitpunkt der letzten Prüfung?
6. Reparaturmaßnahmen, Sanierungen?
7. Neuverlegungen im Prüfgebiet?
8. Wurde alter, verseuchter, lange nachatmender Boden ausgetauscht?
9. An wen Meldung bei akuter Gefahr? Telefonnummer, Person notieren!
10. Nicht nur den Plänen glauben! Nicht nur dem Lotsen glauben!
11. Keine Anweisungen annehmen, die von den Richtlinien abweichen!!!

### 5.5.3 Austritt größerer Gasmengen unter dichten Oberflächen

Treten große Gasmengen in relativ gasundurchlässigen Böden mit ziemlich dichter Oberfläche aus, so staut sich das Gas und breitet sich aus. Damit ergibt sich eine Diffusion an die Oberfläche über eine größere Strecke, oft über viele Meter und die Ausbreitung ist entsprechend groß. Schließlich tritt ein Gleichgewicht zwischen der Austrittsmenge und der Ausatemungsfläche ein – die an der Leckstelle frei werdene Gasmenge braucht eine entsprechende Fläche. Wird die Menge größer oder die Oberfläche gasdichter, so ergibt sich zwangsläufig eine größere Ausbreitung.

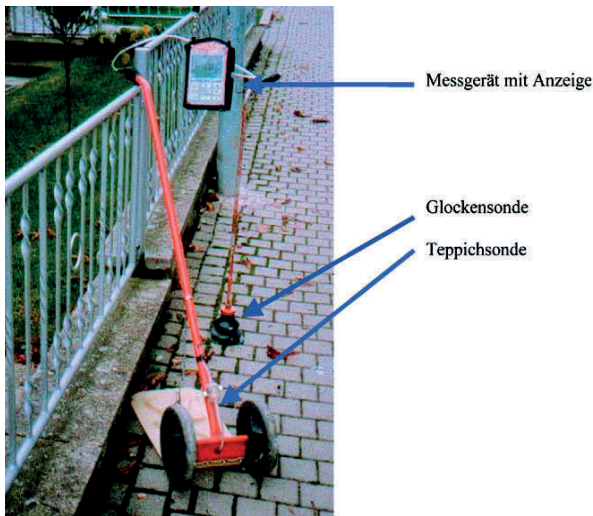


Abb. 5.5: Gasspürgerät



Abb. 5.6: Gasspürgerät – Detail

#### 5.5.4 Gasaustritt bei gestörtem Erdreich und Rissen in der Oberfläche

Neben der Diffusion tritt auch eine Ventilation von Gas im gestörten Erdreich der frischen Verfüllung und am Setzrissen der Straße auf. Dadurch tritt Gas an besser durchlässigen Stellen aus und es kann dort eine stärkere Konzentration gemessen werden als direkt oberhalb des Defekts, d.h., dass eine präzise Lokalisation mit der Absaugtechnik kaum zu erreichen ist – dadurch kann es zu Fehlauflagerungen kommen.

Untersuchungen zeigten weiterhin,

- dass die Gasausbreitung kugelförmig ist und Gas zwangsläufig auch in tieferliegende Systeme, z.B. Kabelsteine o.ä. eindringen kann,
- dass sich bei gleichmäßiger Gasausströmung eine stationäre Zone bildet und die Ausbreitung nicht größer oder kleiner wird, solange nicht Witterungseinflüsse das verändern,
- dass Regen, der bei unbefestigten Oberflächen in den Boden eindringt, die Gasausbreitung reduziert und
- Bodenfrost die Ausbreitung größer werden lässt (!).

## 5.6 Rehabilitationsverfahren

### 5.6.1 Zur Entwicklung der Dichtungs- und Rehabilitationsverfahren

In den Nachkriegsjahren wurde keine systematische Auswechslung betrieben, es traten an den Gas-Verteilungsnetzen noch erhebliche Kriegsschäden auf und auch die Material- und Verlegequalität waren oft mangelhaft.

Anfangs wurden zur Instandhaltung die „klassischen“ Reparaturmethoden angewandt, später in zunehmendem Maße Neuverlegungen als Ersatz alter Leitungen in offener Bauweise.

Die Entwicklung der Rehabilitationsverfahren begann vor ca. 30 Jahren. Diese Entwicklung wurde ausgelöst bzw. beschleunigt durch:

- die Umstellung von Stadtgas auf Erdgas,
- Anstieg der Verteilungsdrücke (z.B. die Umstellung der Versorgung von Niederdruck auf erhöhten Niederdruck),
- durch den zunehmenden Verkehr und insbesondere Schwerlastverkehr in den Städten,
- Probleme bei Tiefbau- und Oberflächenarbeiten (Aufgraben und Wiederherstellen von Straßendecken – siehe dazu *Kap. 1.2.6 Wiederherstellung von Straßen und Vermeidung von Folgeschäden durch Baugruben bzw. Baugraben bei konventioneller Verlegung von Rohrleitungen*),
- erhöhtes Kostenbewusstsein.

Als weitere Faktoren kamen insbesondere Sicherheitsaspekte (siehe dazu *Kap. 5.1.4 Sicherheit und Risikobewertung im Gasfach*) hinzu, da überalterte Gasversorgungsleitungen eine potentielle Gefahrenquelle darstellen sowie der zunehmende Gasverbrauch (Heizgaseinsatz) und damit unzureichende Rohrquerschnitte.

### 5.6.2 Dichtungsverfahren

Für die Instandhaltung wurden zunächst Verfahren der Abdichtung entwickelt, die unterschieden werden können in (*Tab. 5.3*):

- Einzelabdichtung von außen,
- Einzelabdichtung von innen,
- Regeneration der Dichtelemente und
- Innenbeschichtung.

Viele dieser Verfahren stammen aus dem Ausland, z.B. sind **Weco-Manschetten** etwa seit 1970 bekannt. Die **Muffenabdichtung mit dem le-joint-interne-Verfahren** wurde in Frankreich entwickelt und dort seit 1960 eingesetzt (in Deutschland seit 1973). Die **Innenbeschichtung mit dem digalit-V-Verfahren** ist seit 1980 auf dem Markt. Bei diesem Verfahren wird mit einem 2-Komponentenkunststoff auf Epoxydharzbasis eine relativ dicke, gleichmäßige Kunststoffschicht auf der gesamten Rohrrinnenwand hergestellt.



### 5.6.3 Entwicklung der grabenlosen Sanierungs- und Erneuerungsverfahren

In den letzten 30 Jahren sind grabenlose Sanierungsverfahren bzw. Erneuerungsverfahren in den Vordergrund getreten, bei welchen zu unterscheiden ist in Verfahren,

- bei denen die Stützwirkung der alten Rohrleitung erforderlich ist und solche bei denen
- die Stützwirkung der alten Rohrleitung nicht erforderlich ist, aber die Trasse des Altrohres genutzt wird.

Zur ersten Gruppe gehört das in Japan (1980) entwickelte **Process-Phoenix-Verfahren**, welches in Deutschland 1988 eingesetzt wird. Dabei handelt es sich um ein Schlauchverfahren mit Gewebeeinlage. Hinzu kamen das SANFLEX-Verfahren und die Gruppe der starline-Verfahren. Insgesamt gehören die genannten Verfahren als Gewebeschlauchverfahren bezeichnet.

Zu dieser Gruppe gehören auch **PE-Relining-Verfahren mit verringerter Wandstärke**. Aufgrund günstiger PE-Materialpreise werden aber heute PE-Relining-Verfahren mit Normalwandstärke bevorzugt.

Zur zweiten Gruppe gehört das **Rolldown-Verfahren**, welches in England entwickelt und seit 1987 eingesetzt wurde (für Rohre der Nennweiten DN 80 bis DN 300). Dabei erfolgt eine Durchmesserreduzierung dadurch, daß das Rohr durch um 90° gegeneinander versetzte Walzenpaare geschoben und dabei gestaucht wird. Nach dem Durchschieben durch die Walzeinrichtung wird das gestauchte PE-HD-Rohr mittels einer Seilwinde unter Verwendung eines Gleitmittels in die vorher gereinigte Leitung eingezogen.

Danach wird die eingezogene Leitung durch das Anschweißen von Flanschen verschlossen und mit Wasser gefüllt. Durch die Aufgabe von pulsierendem Innendruck bis 17 bar über einen Zeitraum von zwei Stunden wird die PE-Leitung aufgeweitet, bis sie sich fest an die Innenwand des alten Rohres anlegt.



Abb. 5.7: Rolldown-Verfahren in einer Verkehrsstraße in Halle [N.N., 2002]; In der Rolldown-Maschine wird der Durchmesser des Inliners vor dem Einzug verringert

Das ebenfalls zu dieser Gruppe gehörige **Swagelining-Verfahren** ist eine Entwicklung von British Gas und ebenfalls seit 1987 auf dem Markt (DN 80 und DN 500).

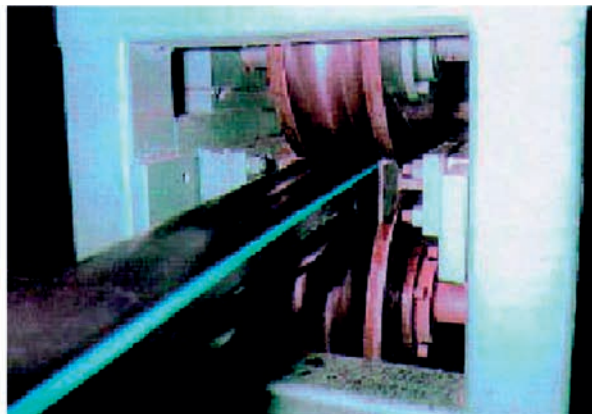
Bei diesem Verfahren wird Ringbandware oder verschweißtes Stangenmaterial mittels einer Seilwinde durch eine Wärmekammer gezogen, in der durch Warmluft das PE-HD-Rohr bis auf eine Temperatur von etwa 60 °C aufgewärmt wird. Das Rohr wird anschließend durch ein Gesenk auf den gewünschten Durchmesser reduziert, eingezogen und danach im Altrohr gekühlt. Die Rückstellung des Rohrdurchmessers in Richtung des ursprünglichen Wertes verläuft sehr schnell, so dass oft auf eine zusätzliche Druckbeaufschlagung von innen verzichtet werden kann.

Bevorzugte Verfahren sind in Deutschland gegenwärtig das **U-Liner bzw. Compact-Pipe-Verfahren** (siehe dazu *Kap. 5.6.10 PE-Relining ohne Ringraum - U-Liner-Verfahren*). Unterschieden wird auch in die Verformung des PE-Rohrmaterials vor Ort und bei der Herstellung.

Zur Gruppe der PE-Relining-Verfahren gehört auch das **Rohrstrang-Relining** (oft auch als konventionelles Rohrstrangverfahren bezeichnet) bei dem ein Rohrstrang entweder als Langrohr eingezogen werden kann oder die PE-Rohre in der Baugrube verschweißt werden können

Die Nutzung der alten Rohrtrasse beim **Berstlining-Verfahren und beim Press-/Ziehverfahren**. Das **Berstlining-Verfahren**, auch unter den Namen PIM oder pipecracking bekannt, ist ebenfalls eine Entwicklung aus England und wird in Deutschland seit 1985 eingesetzt. Das **Press-/Ziehverfahren** wird bevorzugt bei Wasserrohrleitungen angewandt (siehe dazu *Kap. 4.9.4 Grabenlose Auswechselungen von Gas- und Wasserrohrleitungen mit Press-/Ziehverfahren und Hilfsrohrverfahren (GW 322-1 und GW 322-2)*).

Die Einteilung der Sanierungs- und Erneuerungsverfahren zeigt *Abb. 5.8*.



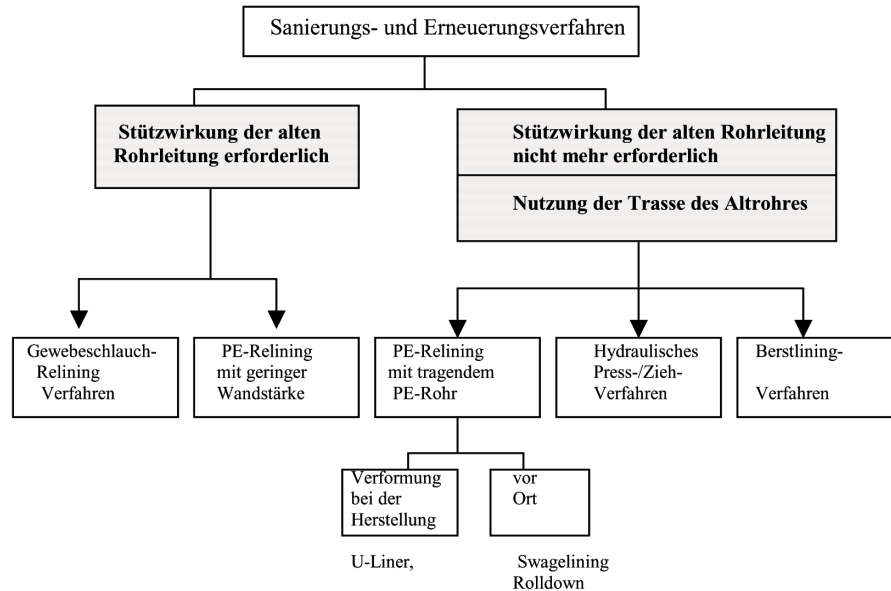


Abb. 5.8: Einteilung der Sanierungs- und Erneuerungsverfahren

### 5.6.4 Reparatur- und Instandsetzungsverfahren

#### Reparaturverfahren der siebziger und achtziger Jahre [Weigt, 2000]

Die Reparaturverfahren mussten insbesondere in den siebziger und achtziger Jahren in größerem Maße eingesetzt werden, um eine Verringerung der Gasverluste zu erreichen; geeignete Sanierungsverfahren standen in dieser Zeit noch nicht zur Verfügung.

Die Auswahl eines geeigneten Verfahrens erfordert die Berücksichtigung der örtlichen und betrieblichen Besonderheiten sowie die Schadensart und das Rohrmaterial.

Als Schadensarten nennt [Richter, 1995]:

- a) Austrocknen des Dichtelements bei Stemm-Muffenverbindungen bei Rohren aus Grauguss oder Stahl
  - b) Schrumpfen des Dichtelements bei Gummi- (bzw. Perbunan-) gedichteten Rohrverbindungen
  - c) Undichtigkeiten an Gewindeverbindungen durch Austrocknen der Gewindedichtung (im wesentlichen im Bereich von Hausanschlussleitungen)
  - d) Undichtigkeiten an Anbohrschellen und Blindschellen durch Korrosion der Schrauben bzw. Austrocknung der Dichtelemente
  - e) Korrosionsschäden durch Außenkorrosion
  - f) Rohrbrüche bei bruchanfälligen Materialien als Rund- oder Schalenbrüche
- (Schadensarten a), d) und f) bei Gussleitungen mit einem Alter von bis zu 130 Jahren, die Schadensarten b) c) und e) überwiegend bei jüngeren Leitungen)

Die Reparatur-Verfahren zur Abdichtung der Rohrleitungen hatten zum Ziel, die Strickdichtungen im Stemm-Muffenbereich wieder aufquellen zu lassen (z.B. mit Quellmitteln auf Glykolbasis oder Dispersionen bzw. Schäume). Diese Mittel wurden fast aus-

nahmslos ohne vorherige Rohrreinigung und Außerbetriebnahme der Rohrleitungen angewendet.

Als Anwendungsmöglichkeiten nennt [Richter, 1995]:

- a) Verdampfen des Quellmittels und Zugabe zum Gasstrom an den Einspeisestellen
- b) Eindüsen
- c) Eingabe des Quellmittels in feinsten Tröpfchenverteilung durch eine Injektionsdüse
- d) Fließverfahren  
hier wird das Quellmittel an Hochpunkten der Leitung eingefüllt, durchfließt die Leitung an der Rohrsohle und wird an den Tiefpunkten wieder abgezogen
- e) Spray-Seal-Verfahren  
über eine Spezial-Anbohrschelle wird ein relativ steifer Kunststoffschlauch mit Sprühkopf in den Leitungsabschnitt nacheinander in beiden Richtungen eingeführt und während des Sprühvorganges ca. 100 m weit von Hand nachgeschoben und wieder eingeholt
- f) Teilfüllverfahren  
eine Abwandlung des Fließverfahren, bei dem so viel Quellmittel in die Leitung gefüllt wird, dass unter Beibehaltung der Gasversorgung eine Teilfüllung in dem Leitungsabschnitt erfolgt

Weitere Verfahren waren:

- Abdichtungen von außen  
Abdichtungen von außen gehören nicht zu den eigentlichen Sanierungsverfahren. Im Gegensatz zu den Quellmittelbehandlungen sind die Abdichtungen auch als dauerhaft anzusehen, sofern eine entsprechende Prüfung und DVGW-Registrierung erfolgt ist
- Metallische Dichtscheiben  
nach dem Freilegen der Muffe und einer gründlichen Reinigung werden ein verstellbarer Halte- und Druckring aus duktilem Gusseisen bzw. aus Temperguss so miteinander verschraubt, dass ein

zwischen beiden Ringen eingelegter gasbeständiger Profilmgummi gegen den Muffenspalt der Stemm-Muffenverbindung gepresst wird und diesen abdichtet

- Kunststoffabdichtungen:
  - a) Schrumpfmuffe (Aufbringen eines Füllers bzw. Klebers um die Muffe, Aufschrumpfen einer Manschette aus strahlenvernetztem Polyethylen)
  - b) Key-hole-Verfahren (nach Öffnen der Straßenoberfläche wird mit Hilfe eines Bodenabsauggerätes eine kleine Baugrube (kein Betreten der Baugrube) hergestellt, Reinigung der Schadstelle, anschließend wird eine Spezialmanschette mit einer Füllöffnung am Tiefpunkt und einer Entlüftungsöffnung am Hochpunkt mit Stahlbändern um die abzudichtende Muffe montiert. Eine dauerelastische Spezialmasse wird dann in den Hohlraum verpresst und härtet aus. Wichtig ist bei dieser Methode, dass die genaue Lage der Muffe bekannt ist, da sonst der Vorteil der kleinen Baugrube nicht mehr vorhanden ist)
  - c) Avon-seal-Verfahren (die freigelegte Muffe wird durch Sandstrahlen gereinigt und die Dichtflächen nacheinander mit zwei Primern bestrichen. Mit einer hydraulischen Anpressvorrichtung wird ein vorgewärmtes Kunststoffmaterial um einen Muffenspalt auf die Dichtfläche gepresst und damit eine hohe Haftfestigkeit zwischen Rohr und Kunststoff erzielt)  
Auf ähnliche Weise wurde bei folgenden Verfahren gearbeitet:
    - d) Encapress
    - e) BTR Silverkit
    - f) Readyseal

Allen Außendichtungen ist gemein, dass die Reinigung des Untergrundes sehr sorgfältig erfolgen muss und dass der Anteil der Tiefbaukosten im Vergleich zur Innensanierungsmethode sehr hoch ist. Ihr Vorteil liegt darin, dass keine Unterbrechung der Gasversorgung notwendig ist. Als Nachteil ist die fehlende Rohrreinigung anzusehen.

Beim *mainseal-Verfahren* (auch unter dem Namen *anaerobic-system* bekannt) wird über eine Bohrung der Dichtraum der Muffe mit einem Zweikomponentenkunststoff verfüllt.

- Regenerierung der Dichtelemente  
Dichtelemente aus Hanf, Gummi und anderem werden durch den Einsatz von Quellmitteln anderen Stoffen so regeneriert, dass sie ihren ursprünglichen Zweck wieder erfüllen. Der erfolgt ausschließlich bei Gas- und Abwasserleitungen
- Einsatz von Zusatzdichtungen von innen  
hierbei wird nach vorausgegangener sorgfältiger Reinigung eine zusätzliche Dichtung von innen aufgebracht. Diese Dichtung kann bestehen aus Gummi, das durch einen metallenen Ring gegen die Rohrwand gepresst wird, aus einer Metallfolie mit einem Dichtpaket oder aus einer im Muffenbereich aufgetragenen Kunststoffschicht. Dichtungen dieser Art sind fast ausschließlich bei Gas- und Abwasserleitungen anzutreffen

Weiter kamen als Vorstufe von den heute als Sanierungsverfahren bezeichneten Verfahren Dichtungsverfahren zur Anwendung, wie die

- Muffenabdichtung mit dem *le-joint-interne-Verfahren*  
das Verfahren wurde in Frankreich entwickelt und dort seit 1960 eingesetzt. In Deutschland wird es seit 1973 auf dem Markt angeboten
- Innenbeschichtung mit dem *digalit-V-Verfahren*  
dieses Verfahren ist seit dem Jahre 1980 auf dem Markt. Mit einem Zweikomponentenkunststoff auf Epoxidharzbasis wird eine relativ dicke, gleichmäßige Kunststoffschicht auf der gesamten Rohrwand hergestellt

### Instandsetzungsarbeiten

Die Instandsetzung (Reparatur) wird erforderlich zur Beseitigung von Leckagen, von Rohrbrüchen, zur Eliminierung deformierter Rohrleitungsteile, zur Behebung noch nicht aufgebrochener Korrosionsstellen und erfordert keine umfangreiche planerische Tätigkeit.

Die Beseitigung von Schadensstellen erfordert aber besondere Vorsichtsmaßnahmen, wie:

- Einsatz funkenhemmende Aufbruch- und Grabwerkszeuge,
- Bereithalten von Feuerlöschern und
- Kontrolle mit Gasspürgeräten.

Die Baugruben sind mehr oder weniger mit Gas durchsetzt, so dass bei Aufbruch- und Grabarbeiten ständig Gas ausströmen kann. Dadurch kann sich in der Umgebung ein zündfähiges Gemisch bilden. Das Leck ist sofort provisorisch zu dichten und danach die Reparatur sofort auszuführen. Erst wenn der Reparaturbereich absolut gasfrei ist, kann das Rohr repariert werden.

Für Arbeiten an Gasrohrnetzen mit einem Betriebsdruck bis 4 bar gilt das DVGW-Arbeitsblatt G 465-II [DVGW, 2002].

### 5.6.5 Sicheres Arbeiten an Gasleitungen [Stevens et al., 2003], [Woborschil, 2008]

Arbeiten an Gasleitungen erfordern sehr spezielle Arbeitsbedingungen auf den Baustellen und bergen eine Reihe von Gefahren, wozu zählen:

- Arbeiten an unter Druck stehenden Leitungen
- mögliche Brand- und Explosionsgefahr durch austretendes Erdgas
- Zusammenwirken unterschiedlicher Gewerke
- wechselnde Anforderungen an das Personal
- wechselnde Witterungsverhältnisse
- häufige Ortswechsel

Bei Arbeiten an in Betrieb befindlichen Gasleitungen kann es durch die Entzündung austretenden Gases zu folgenschweren Arbeitsunfällen kommen. Derartige Ereignisse sind vermeidbar, wenn die für die Vorbereitung und Durchführung der Arbeiten an Gasleitungen geltenden Unfallverhütungsvorschriften und sonstigen Arbeitsschutzbestimmungen strikt beachtet werden.



Die mit Arbeiten an Gasleitungen zu beschäftigenden Mitarbeiter müssen geeignet, zuverlässig und unterwiesen sein. Unter geeignet versteht man sowohl die körperliche als auch die fachliche, durch eine Ausbildung oder durch entsprechende einschlägige Berufserfahrung erworbene Eignung einschließlich der Kenntnis der zutreffenden Arbeitsschutzbestimmungen.

Bei zusätzlich auszuführenden Schweißarbeiten an Stahlleitungen oder anderen Feuerarbeiten sind außerdem die Anforderungen der EN 470 „Schutzkleidung für Schweißen und ähnliche Verfahren“ zu erfüllen.

Bei Arbeiten an in Betrieb befindlichen Gasleitungen sind die Arbeitsverfahren auszuwählen, bei denen die Freisetzung von Gas im Arbeitsbereich vermieden oder minimiert wird. Das Schutzziel besteht in der Vermeidung einer Brand- und Explosionsgefahr

Zu den Arbeitsverfahren mit geringer Gefährdung zählt beim Anbohren der Einsatz von Schleusenbohrgeräten. Die Anbohrvorrichtung wird durch eine Schleuse eingebracht. Freiwerdende Gasmengen beschränken sich auf das sehr geringe Schleusenvolumen. Für die Einsatzgrenzen der Geräte, z.B. Druck und Durchmesser der Anbohrung, sind die Herstellerangaben zu beachten.

Bei der Erstellung von Hausanschlussleitungen werden vorzugsweise Gasanbohrarmaturen benutzt. Betriebs- oder Hilfsabspernung und Bohrvorrichtung sind in der Regel Bestandteil der Armatur. Systembedingt können geringe Leckagemengen auftreten. Auch hier sind die Herstellerangaben zu den Einsatzgrenzen zu beachten.

Für das provisorische Sperren von Gasleitungen können folgende Geräte eingesetzt werden:

- Blasensetzgeräte (Einfach-, Doppel- oder Zweifachblasensetzgeräte).
- Sie können für PE- und Stahlleitungen in Nieder- und Mitteldrucknetzen zur Anwendung kommen. Die Geräte ermöglichen ohne gefährliche Gasausströmung das Anbohren, das Entfernen der Bohrspäne aus dem Rohr, das Setzen und Ziehen der Blasen sowie das Verschließen mittels Stutzen nach der Sperrung, z.B. mit einem Gewindestopfen. Ab einem Betriebsdruck von 30 mbar oder einem Leitungsdurchmesser von DN 150 sind zwei Absperrblasen mit zwischenliegender Entlüftung einzusetzen. Vorzugsweise sind zertifizierte Absperrblasen und Blasensetzgeräte zu verwenden.
- Abquetschvorrichtungen.
- Bei Gasleitungen aus Polyethylen hat sich das vorübergehende Sperren mithilfe einer Abquetschvorrichtung bewährt. Die Vorrichtung ist nach Herstellerangaben zu verwenden.

Bei Arbeiten an Gasleitungen können im Bereich der Arbeitsstelle Gefahren ausgehen von z.B.:

- ausströmendem Gas,
- elektrischen Anlagen,
- Baugruben und -gräben,
- Fremdleitungen,
- maschinellen Anlagen und Einrichtungen,

- Straßenverkehr,
- Gefahrstoffen.

Vor Beginn von Arbeiten an Leitungen unter Gasdruck sind die im Arbeitsbereich befindlichen Gasleitungen auf ausströmendes Gas zu überprüfen. Ebenso sind Absperrblasen und Blasensetzgeräte vor ihrem Einsatz auf der Baustelle auf ordnungsgemäßen Zustand zu überprüfen; Absperrblasen müssen dicht und unbeschädigt sein und die Vorgaben für Pflege, Lagerung und Handhabung in der Betriebsanleitung des Herstellers sowie die Prüfanweisung beachtet werden.

Arbeitsplätze müssen im Bedarfsfall schnell und gefahrlos verlassen werden können, in Rohrgräben und Baugruben müssen ausreichende Flucht- und Rettungswege vorhanden sein (ggf. bei Brandgefahr vorbereitende Maßnahmen zur Brandbekämpfung; die für die Brandbekämpfung notwendigen Maßnahmen sind auf den Personenschutz auszurichten).

In Bereichen, in denen sich zündfähige Gas-Luft-Gemische bilden können, dürfen sich keine Zündquellen befinden, wie

- offene Flammen, z.B. Schweißbrenner, Flüssiggasbrenner,
- glimmende Reste der zuvor abgeflämmten Leitungsumhüllung,
- elektrische Arbeitsmittel,
- Funken durch elektrostatische Entladungsvorgänge,
- elektrische Potenzialunterschiede beim Trennen metallischer Leitungen.

Bei Arbeiten an Gasleitungen sind Bereiche, in denen sich explosionsfähige Gas-Luft-Gemische bilden können, abzugrenzen.

Wird mit dem Abquetschen einer Leitung nicht die erforderliche Dichtheit erreicht, kommen die Druckabsenkung, Absperrarmaturen und Schleusenvorrichtungen in Betracht.

Eine einzelne Absperrarmatur kann auch als vorübergehende Sperrung verwendet werden. Wird damit jedoch die erforderliche Dichtheit nicht erreicht, sind weitergehende Maßnahmen vorzusehen.

Mit Hilfe einer Schleusensperrvorrichtung mit Absperrkolben (analog einem Schleusenbohrgerät) kann beim Einbinden oder Trennen von Hausanschlussleitungen die Leitung vorübergehend sicher gesperrt werden, ohne dass Gas austritt. Der Einsatz ist möglich bei Stahlleitungen von DN 25 bis DN 65 mit einem Druck bis maximal 4 bar. Im Rohr wird ein Gummi-Absperrkolben verpresst, sodass die Hausanschlussleitung vorübergehend gesperrt ist.

Vor dem Trennen einer Gasleitung sind die Absperrrichtungen auf ihre Wirksamkeit zu überprüfen und der zu trennende Leitungsabschnitt ist zu entspannen. Das dabei freigesetzte Gas ist gefahrlos abzuleiten. Die Wirksamkeit der getroffenen Sicherheitsmaßnahmen ist laufend zu überwachen (z.B. Messung der Gaskonzentration im Arbeitsbereich, Überwachung des Gasdruckes vor der Absperrrichtung).

Der Zeitraum, in dem die Gasleitung offen steht, ist möglichst gering zu halten. Die Trennstelle kann z.B. mit einem Presskolben verschlossen werden. Bei längerer Arbeitsunterbrechung oder Verlassen der Arbeitsstelle ist die Trennstelle gasdicht zu verschließen.

Beim Trennen von Stahlleitungen bzw. beim Tennen von Gasleitungen aus Polyethylen sind weitere Vorschriften zu beachten.

Ebenso gelten bei Arbeitsverfahren mit erhöhter Gefährdung weitere Regelungen, wie Arbeitsverfahren unter kontrollierter Gasausströmung gearbeitet, wobei die Gasfreisetzung zu begrenzen ist.

Der Druck im Leitungsabschnitt ist fortlaufend zu überwachen. Ein ganz besonderes Augenmerk ist auf die Vermeidung von Zündfunken zu legen.

### 5.6.6 Einsatz von Absperrblasen

#### Vorbereitung der Arbeiten

Zur Vorbereitung der durchzuführenden Arbeiten an Gasleitungen sind folgende Vorgaben zu beachten:

- Arbeiten an Gasleitungen dürfen nur von Personen ausgeführt werden, die geeignet, zuverlässig und unterwiesen sind.
- Arbeiten an Gasleitungen müssen bei Brand-, Gesundheits- und Explosionsgefahr von geeigneten, zuverlässigen und besonders unterwiesenen Personen beaufsichtigt werden.
- Eine sorgfältige Planung ist nach dem Regelwerk vorgeschrieben.
- Die notwendigen Arbeiten sind in Arbeits- bzw. Schaltplänen festzuhalten.
- Vor Beginn der Arbeiten müssen die notwendigen Leitungspläne vorhanden sein.
- Baugruben und Rohrgräben müssen der DIN 4124 entsprechen.
- Gasleitungen sind während der Arbeitsausführung vor Beschädigungen zu schützen bzw. gegen Lageveränderungen zu sichern.
- Die Überwachung des Gasdruckes muss gewährleistet sein.
- Bei notwendiger Druckregulierung ist für ausreichend funktionierende Kommunikationsmittel zwischen Arbeitsstelle und Druckregulierung Sorge zu tragen.
- Kunden müssen bei Versorgungsunterbrechungen benachrichtigt werden.

Ist bei den durchzuführenden Arbeiten an der Gasleitung mit Gasaustritt zu rechnen, so sind die nachfolgend aufgeführten Hinweise zu beachten:

- Vor Beginn der Arbeiten sind vor Ort die erforderlichen persönlichen Schutzausrüstungen bereitzuhalten und anzulegen.

- Die Gaskonzentration ist durch den Einsatz geeigneter Gaskonzentrationsmessgeräte kontinuierlich zu überwachen.
- Es sind Feuerlöschgeräte bereitzustellen.
- Alle Zündquellen sind fernzuhalten bzw. zu vermeiden (elektrische Geräte usw.).
- Alle eingesetzten Geräte müssen explosionsgeschützt sein (auch Handys).
- Der Arbeitsbereich muss schnell und gefahrlos verlassen werden können (z.B. über Leitern und Tritte).

#### Anbohren der Gasleitung

Die Anbohrungen dürfen dabei nur mit den jeweils zugelassenen Bauteilen, mit den dabei erprobten Werkzeugen und Einrichtungen vorgenommen werden. Beim Anbohren ist das Verhältnis des Durchmessers der Anbohrung zum Durchmesser der Gasleitung so zu wählen, dass keine unzulässigen Kräfte und Spannungen auftreten. Dabei sind die Festigkeitswerte der einzelnen Werkstoffe zu beachten.

Anbohrvorrichtungen sind so zu wählen, dass die anfallenden Späne nicht ins Rohrinne gelangen können. Eventuell im Rohr befindliche Späne sind möglichst zu entfernen. Um die austretende Gasmenge gering zu halten, sind bei Anbohrdurchmesser über DN 65 bzw. d 75 oder bei Betriebsdrücken > 100 mbar Bohrvorrichtungen mit geeigneten Absperrvorrichtungen zu verwenden.

#### Provisorisches Absperrn von Gasleitungen

Beim Trennen von Gasleitungen sind neben dem Setzen von provisorischen Absperrvorrichtungen weitere sicherheitstechnische Vorgaben zu beachten:

- Der Zeitraum, in dem die Leitung geöffnet ist und Gas ausströmen kann, sollte möglichst kurz gehalten werden.
- Bei metallenen Leitungen sind Maßnahmen gegen Funkenbildung zu treffen. Durchgehend metallene Leitungen sind vor dem Trennvorgang elektrisch zu überbrücken. Dazu dient ein elektrisches Überbrückungskabel.
- Beim Trennen von Kunststoffleitungen ist zum Schutz vor elektrostatischer Aufladung die Rohroberfläche bzw. die Arbeitsstelle feucht zu halten.
- Arbeiten mit provisorischen Absperrvorrichtungen werden immer dann durchgeführt, wenn ein Arbeiten unter Gasfreiheit bzw. ein Abschalten der Leitung nicht möglich ist.

Dabei gibt es verschiedene Systeme, wie:

- Absperrblasen,
- Abquetschgeräte (für Kunststoffleitungen),
- Presskolben und
- Stoppelgeräte (für Gas-Hochdruckleitungen).

### Blasensetztechniken

Die heute eingesetzten Blasensetzgeräte und Absperrblasen entsprechen einem hohen sicherheitstechnischen Standard. Dieser Standard wird durch die DVGW vorläufige Prüfgrundlagen VP 620-1, VP 621-1 und VP 621-2 gesichert. Entsprechend hergestellte und geprüfte Rohrsperrsysteme, bestehend aus Blasensetzgerät und Absperrblase, werden zertifiziert und erhalten das DVGW-Prüfzeichen. Die vorläufigen Prüfgrundlagen unterscheiden drei Arten von Absperrblasen:

- Typ A: Absperrblasen, die aus einer dünnwandigen, aufblasbaren Gummibläse und textilen Außenhülle bestehen.
- Typ B: Absperrblasen, die aus einer dickwandigen, aufblasbaren Blase mit Textilverstärkung und Füllrohr bestehen (siehe VP 620-1); dabei ist die Textilverstärkung von außen aufgebracht und mit der Blase fest verbunden.
- Typ C: Absperrblasen, die aus einer dickwandigen, aufblasbaren Blase ohne Textilverstärkung und Füllrohr bestehen.

Darüber hinaus beeinflussen zahlreiche andere Faktoren den praktischen und störungsfreien Einsatz dieser Absperrvorrichtungen. Unverzichtbar für einen sicheren Einsatz sind die ordnungsgemäße Lagerung sowie eine Sicht- und Funktionsprüfung vor dem Einsatz.

### 5.6.7 Gewebeschlauchrelining-Verfahren nach GW 327 für Gas- und Wasserrohrleitungen mit Verklebung des Inliners

*Kap. 4.9.2 Gewebeschlauchrelining-Verfahren nach GW 327 für Gas- und Wasserrohrleitungen mit Verklebung des Inliners*

### 5.6.8 PE-Relining

*Kap. 4.9.3 Rohrstrang-Relining mit Ringraum nach GW 320-1 (Erneuerung von Gas- und Wasserrohrleitungen durch Rohreinzug oder Rohreinschub)*

### 5.6.9 Rohrstrang-Relining mit Ringraum nach GW 320-1

Beim Rohrstrang-Relining – oft auch als konventionelles Rohrstrangverfahren bezeichnet – wird ein flexibler Rohrstrang aus PE-Rohren (PE 80, PE 100 oder PE-Xa) in den zu sanierenden Leitungsabschnitt eingezogen. Dabei kann sowohl das Langrohr-Relining (Verschweißen außerhalb der Einbringgrube) als auch das Rohrstrang-Relining (Verschweißen in der Einbringgrube) zur Anwendung kommen.

Die Altröhre können aus allen vorhandenen Rohrwerkstoffen – Grauguss, Duktulguss, Stahl – bestehen.

#### 5.6.9.1 Anforderungen an die Fachunternehmen

Die mit der Ausführung beauftragten Unternehmen müssen die erforderliche Qualifikation nach GW 301 „Qualifikationskriterien für Rohrleitungsbaunternehmen“ sowie die Zusatzgruppen „R“ (Rehabilitation) und „GN“ (Grabenlose Neuleitung) besitzen.

Da für das Verfahren Schweißmuffenverbindungen eingesetzt werden und Abweige und Hausanschlussleitungen ebenfalls mit Schweißverbindungen hergestellt werden, müssen die PE-Schweißer den Qualifikationsnachweis nach GW 330 Schweißen von Rohren und Rohrleitungsteilen aus PE-HD für Gas- und Wasserleitungen; Lehr- und Prüfplan“ besitzen. Ebenso muss die Schweißüberwachung nach GW 331 durchgeführt werden.

Die Fachfirmen müssen die Vorschriften für

- Sicherheit
- Lärmschutz und
- Reinhaltung von Luft, Boden und Wasser

erfüllen.

#### 5.6.9.2 Anforderungen an das Rohrmaterial und das Verfüllmaterial

Die PE-Rohre müssen den DVGW-Arbeitsblättern G 477 und GW 320 entsprechen.

Bei der Sanierung dürfen auch andere Rohrreihen eingesetzt werden. Übergangsstücke und Rohrverbinder müssen ebenfalls den DVGW-Prüfgrundlagen entsprechen.

Die Eigenschaften zur Verfüllung des Ringraumes (Dämmung) vorgesehene Trockenmörtels müssen folgende Anforderungen erfüllen:

- Schrumpfung und Wasserentmischung (Sedimentation) nach Abbinden < 1 Vol. % sowie
- Druckfestigkeit nach 28 Tagen mindestens 1,0 N/mm<sup>2</sup>.

Tab. 5.8: Auszug aus GW 320/1: Zulässige Betriebsdrücke (bar) für PE-Reliningrohre

	Rohrreihen	PE 80	PE-Xa	PE 100
Gasverteilung (nach GW 472)	SDR 11	4	8	10
	SDR 17 bzw. 17,6	1	*	4

\* Diese SDR/Werkstoffkombinationen werden in der Gas- und Wasserversorgung nicht eingesetzt

#### 5.6.9.3 Vorbereitende Arbeiten

##### Schadensanalyse, Hindernisfreiheit und TV-Inspektion

Ausgehend von einer Schadensanalyse ist zu überprüfen, ob die durch das Einziehen des Neurohres eintretende Querschnittsreduzierung betriebstechnisch zu vertreten ist.

Für den Leitungsabschnitt sind die Zwangspunkte festzustellen, wie

- Unterschiede im Innendurchmesser,
- Richtungsänderungen,
- Abzweige oder Anschlüsse,
- Wassertöpfe,
- Armaturen.

Hindernisse, die eine durchgängige Rohrreinigung verhindern und beim Einbringen des Inliners zu Beschädigungen führen können oder die später



Betriebssicherheit gefährden, sind ebenso durch TV-Inspektion festzustellen. Hindernisse sind z.B.:

- Wassertöpfe,
- Armaturen,
- Rohrreduzierungen, Rohrerweiterungen,
- Querschnittsreduzierende Schweißwurzeldurchhänge,
- hineinragende Schrauben und Stopfen, die für das angewendete Verfahren qualitätsmindernd sind,
- Richtungsänderungen im Rohrabschnitt, die einen qualitätsgerechten Einbau der Innenrohre nicht zulassen,
- überstehende Kragen.

Diese sind durch TV-Inspektion zu erfassen und zu dokumentieren.

**Reinigung und statische Anforderungen an das Altrohr**

Für die Reinigung der Leitungsabschnitte haben sich mechanische Verfahren zur Entfernung von Inkrustatio-

nen bewährt. Weitere Verunreinigungen durch Teer (aus der Zeit des Stadtgaseinsatzes), Quellmittel, Abdichtungsharze oder andere Dichtungsmittel (bei der Reparatur eingebracht; siehe *Abb. 4.49*) und welche den Inliner schädigen könnten, sind ebenfalls zu entfernen.

**Eigenschaften des PE-Rohres**

PE-Rohre dürfen beim Einbringen in das Altrohr nicht überbeansprucht bzw. nicht beschädigt werden.

Die Einbringlänge ist abhängig von:

- der Zugbelastbarkeit des Reliningrohres,
- der maximal möglichen Einziehlänge vor Ort,
- der maximalen Verfüllstrecke.

Die maximal zulässigen Zugkräfte für PE 80, PE 100 und PE-Xa enthalten auszugsweise die nachfolgenden Tabellen für PE 80 (*Tab. 5.9*), PE 100 (*Tab. 5.10*) und PE-Xa (*Tab. 5.11*).

Tab. 5.9: Maximal zulässige Zugkräfte für Rohre aus PE 80 (auszugsweise GW 320/l)

Rohraußendurchmesser	Maximal zulässige Zugkräfte in kN für Rohre aus PE 80 bei Rohrwandtemperaturen von 20°C (40°C) – Werte gerundet				
d <sub>a</sub> in mm	SDR 33	SDR 26	SDR 17,6 SDR 17	SDR 11	SDR 7,4
63				8 (5)	17 (11)
...	...	...	...	...	...
125	–	–	21 (13)	33 (21)	59 (37)
140	–	18 (11)	26 (16)	41(26)	77 (48)
160	19 (12)	24 (15)	34 (21)	53 (33)	97 (61)
180	25 (16)	30 (19)	43 (27)	67 (42)	120 (75)
200	30 (19)	37 (23)	54 (34)	83 (52)	151 (94)

Tab. 5.10: Maximal zulässige Zugkräfte für Rohre aus PE 100 (auszugsweise GW 320/l)

Rohraußendurchmesser	Maximal zulässige Zugkräfte in kN für Rohre aus PE 100 bei Rohrwandtemperaturen von 20°C (40°C) – Werte gerundet				
d <sub>a</sub> in mm	SDR 33	SDR 26	SDR 17,6 SDR 17	SDR 11	SDR 7,4
63				10 (7)	14 (10)
...	...	...	...	...	...
125	–	–	27 (19)	41 (29)	57 (40)
140	–	22 (16)	34 (24)	51(36)	72 (50)
160	23 (16)	30 (21)	44 (31)	66 (46)	94 (66)
180	30 (21)	37 (26)	56 (39)	83 (59)	119 (83)
200	37 (26)	46 (32)	69 (48)	103 (73)	147 (103)

Tab. 5.11: Maximal zulässige Zugkräfte für Rohre aus PE-Xa (auszugsweise GW 320/l)

Rohraußendurchmesser	Maximal zulässige Zugkräfte in kN für Rohre aus PE-Xa bei Rohrwandtemperaturen von 20°C (40°C) – Werte gerundet	
d <sub>a</sub> in mm	SDR 11	SDR 7,4
63	8 (5)	17 (11)
...	...	...
110	25 (16)	47 (29)
125	33 (21)	59 (37)
140	41 (26)	77 (48)
160	53 (33)	97 (61)
180	67 (52)	151 (94)
220	83 (52)	151 (94)

### 5.6.9.4 Einbau

#### Baugruben

Die Dimensionierung der Einbringgrube ist abhängig vom eingesetzten Verfahren. Beim Rohrstrangrelining wird außerhalb der Baugrube verschweißt, beim Langrohrrelining innerhalb der Baugrube. Dadurch richtet sich beim Rohrstrangrelining die Länge der Baugrube nach den Biegeradien der PE-Rohre sowie nach der Tiefenlage der zu rehabilitierenden Rohrleitung (*Formel 5.3, Formel 5.4 und Abb. 5.10*).

An der Zielbaugrube wird die Zugwinde aufgestellt. Der Platzbedarf richtet sich nach:

- der Zugeinrichtung,
- der Einbindung des eingezogenen Rohres,
- dem Freiraum für die visuelle Prüfung des eingezogenen Rohres auf Riefenfreiheit.

Gegebenenfalls sind zusätzliche Baugruben an Zwangspunkten erforderlich. Ebenso können Baugruben für Abzweige und Hausanschlussleitungen erforderlich werden.

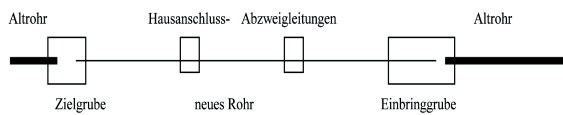


Abb. 5.9: Schema Abzweig- und Hausanschlussleitungen

$$L = \sqrt{H \cdot (4 \cdot R - H)} \quad [m] \quad (5.3)$$

H Rohrsohlentiefe [m]  
 R zulässiger Biegeradius [m]  
 L Länge der Einbringbaugrube [m]

Bei kleinen Rohrdimensionen (bis DN 300) kann die Länge nach *Formel 5.3* reduziert werden.

$$L' = \sqrt{H \cdot (2 \cdot R - H)} \quad [m] \quad (5.4)$$

#### Einbringvorgang und Ringraumverfüllung

Das Einziehen der Rohre erfolgt mit Winden, wobei insbesondere die Unfallverhütungsvorschriften zu beachten sind.

Der Zugkopf wird am ersten Rohr befestigt; dieser verhindert gleichzeitig das Eindringen von Verschmutzungen. Weiterhin ist zu beachten, dass das einzuziehende Rohr beim Übergang in die Baugrube und in das alte Rohr nicht beschädigt wird – dafür sind Schutzvorrichtungen vorzusehen.

Verschweißte Rohre können erst nach Ablauf der Abkühlzeiten der Schweißverbindung in das Altrohr eingebracht werden. Der Ringraum zwischen dem Altrohr und dem neuen Rohr kann verfüllt werden oder offen bleiben. Die Verfüllung kann erfolgen zur:

- Vermeidung unzulässiger Gasansammlungen in Hohlräumen (durch Permeation),
- Fixierung des Inliners,
- Vermeidung von Bodenabsenkungen bei Versagen des alten Rohres,
- Vermeidung von Drainagewirkungen im sonst freien Raumes.

#### Inspektion und Kalibermessung

Vor dem Einbringen der Leitung ist die Inspektion bei nichtbegehbaren Leitungen erforderlich, um Beschädigungen des Rohrstranges auszuschließen und die vorangegangene Reinigung zu kontrollieren.

Die Überprüfung des Rohrquerschnittes kann mit dem Kalibermessgerät oder dem Kalibermolch durchgeführt werden.

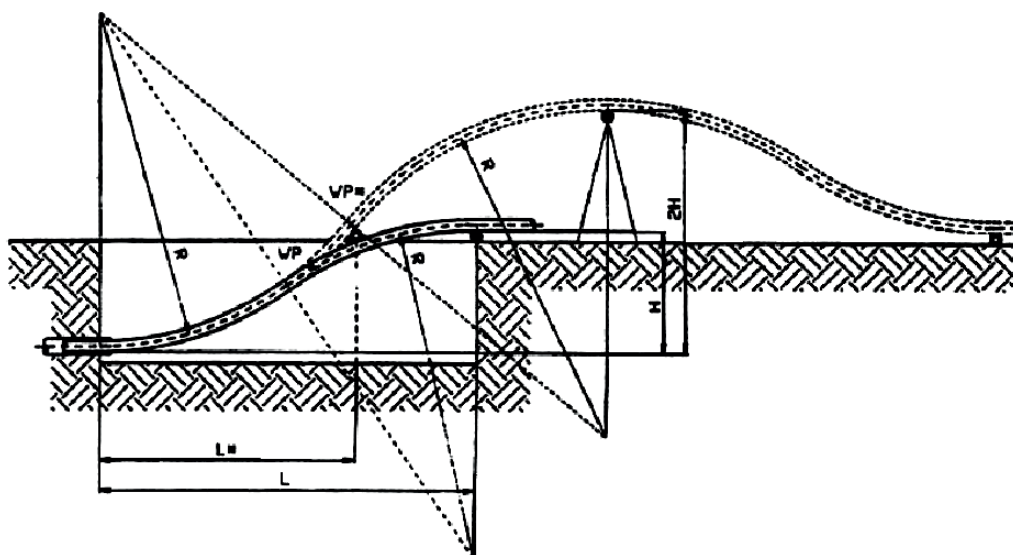


Abb. 5.10: Länge der Einbringgrube

### 5.6.9.5 Netzeinbindung, Abzweige, Anschlussleitungen

Die Netzeinbindung in das vorhandene Rohrnetz erfolgt mit Übergangsstutzen längskraftschlüssig. Bei dünnwandigen PE-Rohren ist zu beachten, dass der gesamte Inliner vom Schutzrohr (alte Leitung und Übergangsstücke) umgeben ist

Das freiliegende PE-Rohr ist sorgfältig zu unterstopfen, um Setzungen zu vermeiden

Abzweigungen und Anschlussleitungen werden mit Aufschweißformstücken hergestellt. Das Anbohren der Leitung erfolgt erst nach der Druckprüfung

### 5.6.9.6 Dokumentation und Druckprüfung

Die Dichtheitskontrolle erfolgt vor der Ringraumverfüllung nach G 469 „Drückprüfung für Leitungen und Anlagen der Gasversorgung“.

Jede Reliningmaßnahme ist zu dokumentieren:

- Inspektionsprotokoll der Leitungsbegehung,
- Reliningprotokoll (ausführende Unternehmen, Ortsangabe, Werkstoffe, Einbaubedingungen wie Temperatur, Schub- und Zugkräfte usw.),
- Baustellentagesprotokolle, Geräteprotokolle und Druckprotokolle.

### 5.6.10 PE-Relining ohne Ringraum - U-Liner-Verfahren

#### 5.6.10.1 Zur Verfahrensentwicklung und Anwendung

Seit Ende der siebziger Jahre kamen weltweit zunehmend PE-Lining-Verfahren unterschiedlicher Art zur grabenlosen Sanierung und Erneuerung von Freispiegel- und Druckleitungen zum Einsatz. Das U-Liner-Verfahren wurde in den USA entwickelt.

Das innenliegende Kunststoffrohr wird dabei als Liner bezeichnet und eng anliegend – close-fit – oder mit einem Ringraum in der schadhafte Rohrleitung installiert. Das System ermöglicht es, schnell, einfach und wirtschaftlich defekte Gasrohrleitungen zu erneuern. Als Material (Liner) kommt das langlebige PE-HD in unterschiedlichen Qualitäten zum Einsatz.

Die Besonderheit des U-Liner-Verfahrens besteht im Gegensatz zu anderen *Close-fit-Verfahren* darin, dass das Rohr bereits verformt auf die Baustelle geliefert wird. Die Vorverformung des Rohres erfolgt im Herstellerwerk. Unter Zufuhr von Wärme und dem Einsatz von Spezialwerkzeugen wird aus einem runden PE-Rohr ein U-Rohr hergestellt. Die gewollte Querschnittsverringerung von ca. 30 % erlaubt beim Einzug des U-Liners ein fast reibungsloses Einbringen des Liners in die Altrohrleitung.

#### 5.6.10.2 Das U-Liner-Verfahren

##### Verfahrensbeschreibung

Die in der Produktion vorverformten U-Rohre werden als Trommelware aufgewickelt ausgeliefert, wobei

Rohrabmessungen und die Länge des U-Liners auf die Sanierungsmaßnahme abgestimmt werden.

Der U-Liner wird direkt von der Trommel eingezogen und seiner Form und Lage so fixiert, dass ein kontrollierter Einzug ermöglicht ist. Hierfür werden Trommelanhänger mit Anpressrollen verwendet, die die Rohrlagen fixieren und die Einzugsgeschwindigkeit kontrollieren. Der Einzug der vorverformten PE-HD Rohre erfolgt unter Ausnutzung der geringen Biegeadien und dem um bis zu 30 % reduzierten Querschnitt des Liningrohres.

Nach dem Einzug des verformten Rohres wird die kreisförmige Formgebung unter Ausnutzung des werkstoffeigenen Memory-Effektes durch eine prozessgesteuerte Wärmebeaufschlagung eingeleitet. Das PE-HD Rohr formt sich in seine ursprüngliche Kreisform zurück und dehnt sich dann soweit aus, bis es an der Innenwandung des alten Rohres anliegt. Der Liner verbleibt spannungsfrei ohne Memory-Effekt in der Close-fit-Position.

Bei der Rückformung des U-Liners in die Kreisform wird das PE-HD Material erwärmt. Die Wärmebeaufschlagung erfolgt durch Wasserdampfzufuhr, wobei eine Temperatur von 130 °C nicht überschritten werden darf. Die Durchwärmung muss solange aufrechterhalten werden, bis an der Rohraußenseite an freiliegenden Rohrbereichen die verfahrensbedingten Temperaturen entsprechend der Installationsrichtlinien (Verfahrenshandbuch) erreicht werden.

Nach der Durchwärmung wird der Liner durch Druckluft in der Close-fit-Position stabilisiert und abgekühlt. Die Werkstoffeigenschaften des PE-HD Rohres bestimmen den Verfahrensablauf der Rückverformung. Die Kontrolle und Protokollierung der angewandten Druck- und Temperaturwerte erfolgt während der Installation durch eine Datenerfassung bzw. durch das Installationsprotokoll.

Das U-förmige Rohr lässt sich nennweitenabhängig bis zu 630 m einziehen. Diese Länge gilt für die Nennweiten DN 100, DN 150 und DN 200. Größere Nennweiten sind in ihrer maximalen Anwendungslänge durch die Anlieferung als Rohrbund begrenzt. So lässt sich die Nennweite DN 400 auf einer max. Streckenlänge von 100 m in einem Stück einziehen und zurückverformen.

Tab. 5.12: Abmessungen von U-Liner-Rohrmaterial

DN (Rohr)	Abmessungen $d_a \times s$	Standard Lieferaufmachung (max. Länge auf Trommel)
100	SDR 17 96 × 6,2	1635 m
125	123 × 7,6	875 m PE 80/PN 6
150	142 × 9,5	605 m PE 100/PN 10
200	190 × 12,7	445 m
200	190 × 12,3	445 m
250	240 × 15,6	252 m
300	293 × 18,2	212 m
350	345 × 20,2	107 m

$d_a$  Außendurchmesser;  $s$  Wandstärke



Als U-Liner können PE-HD 80 und PE-HD 100 verwendet werden. Das heißt, Gasrohrleitungen können ohne Mitwirkung des umgebenden Altrohres bis zu einem Innendruck von 4 bar rehabilitiert werden. Die verfügbaren U-Liner Dimensionen mit den möglichen Wickellängen sind in der nachfolgenden Tabelle für Gasrohre aufgelistet.

### Bemessung

Die U-Liner Produktionsmaße sind für eine eng anliegende Positionierung des U-Liners im Altrrohr ausgelegt. Diese Passung wird als „*close-fit-Positionierung*“ bezeichnet. Der Liner wird durch die Temperatur- und Druckbeaufschlagung in die Kreisform rückverformt bis er an dem Altrrohr anliegt. Die Bemessung des U-Liners ist so ausgelegt, dass nach dieser Korrespondenz mit dem Altrrohr, die notwendige Wanddicke des PE-HD Liners gewährleistet wird. Auf der Baustelle ist vor der Installation des U-Liners die Innenabmessung des Altrrohres zu überprüfen. Dies kann durch einfaches Durchziehen eines Messkalibers (Länge mindestens 5 d) geschehen, oder durch ein Deformations- oder Kalibermessgerät mit auf den Durchmesser bezogenen Abmessungen ausgeführt werden.

### Auskleiden des Altrrohres, Inbetriebnahme und Herstellen von Anschlüssen

Im Gegensatz zu dem Schlauchreliningverfahren, bei denen der Liner mit dem Altrrohr verklebt ist, müssen bei den *Close-fit-Verfahren* die Hausanschlüsse auf den in das Altrrohr eingebrachten Inliner aufgeschweißt werden. Dieses erfolgt in Abschnitten von vor der Sanierung ausgeführten Rohrtrennungen. Nachträglich notwendige Hausanschlüsse werden über sogenannte Fensterausschnitte, die mit Spezialvorrichtungen aus dem Altrrohr herausgetrennt werden, hergestellt.

Die Einbindung der sanierten Leitung in das Netz erfolgt mit Heizwendelschweißmuffen oder mit Flanschverbindungen. Die Hersteller bieten die entsprechenden Formteile an.

### Vorbereitung und Baustelleneinrichtung

Das U-Liner-Verfahren benötigt eine Start- und Zielbaugrube sowie Kopflöcher für Hausanschlüsse. In diesen Bereichen wird das Altrrohr herausgetrennt und der U-Liner verbleibt nach der Rückverformung frei in der Baugrube, so dass die Formteile direkt auf- bzw. eingebunden werden können.

### Anforderungen an das Altrrohr

Das mit einem U-Liner zu sanierende Altrrohr muss einen gleichbleibend freien Querschnitt aufweisen, d.h. starke Rohrversätze, Rohrdeformationen, aber auch Wassertöpfe und Netzarmaturen sind festzustellen und vor der Sanierung zu beseitigen bzw. auszubauen. Das Gleiche trifft für andere mögliche Sanierungshinder-

nisse, wie Schweißwurzeldurchhänge und hineinragende Schrauben zu.

### TV-Inspektionen/Kalibrierung

Die Untersuchung der zu sanierenden Rohrleitung auf Hindernisfreiheit wird mit einer TV-Anlage ausgeführt. Deshalb wird vor und nach der Reinigung sowie nach der Sanierung der Rohrleitung eine TV-Befahrung durchgeführt. Im Ergebnis sind mögliche Hindernisse im Rohr – wie oben genannt – festzuhalten und zu dokumentieren.

### Reinigung

Die Reinigungsverfahren werden so ausgewählt, dass eine Beeinträchtigung der schadhafte Rohrleitung vermieden wird. Für das U-Liner-Verfahren ist eine mechanische Reinigung mit Kratzern und Bürsten vollkommen ausreichend. Das Reinigungsgeschirr wird mit einer Spillwinde durch die Leitung gezogen, bis die Inkrustierungen entfernt und der Rohrleitungsquerschnitt des Altrrohres frei ist. Sollten sich Teerablagerungen oder Quellmittel im Rohr befinden, so werden diese mit dem Wasserhöchstdruckverfahren entfernt.

Das Reinigungsergebnis wird durch eine TV-Inspektion kontrolliert und als Videoaufnahme aufgezeichnet und dokumentiert.

### Dichtheitsprüfungen und Gütesicherung

Die Druckprüfung erfolgt nach dem DVGW-Arbeitsblatt G 469 für die Gasversorgung. Der U-Liner vor dem Einzug in das Altrrohr einer optischen Kontrolle unterzogen werden.

Richtungsweisend ist dabei das DVGW Arbeitsblatt GW 320-2 „Rehabilitation von Gas- und Wasserrohrleitungen mit PE-HD Verfahren durch Reliningverfahren ohne Ringraum; Anforderungen, Gütesicherung und Prüfung“.

Das DVGW-Arbeitsblatt GW 320-2 ist außerdem Grundlage zur Zertifizierung von Rohrleitungsbauunternehmen durch den DVGW. Darüber hinaus sind Musterprotokolle für das Reliningverfahren auszufüllen.

### Vorteile des U-Liner-Verfahrens

Die Vorteile des U-Liner-Verfahrens liegen vor allem in der Wahl des kostengünstigen PE-Materials begründet. Ein niedriger Einbaupreis, gute Verschweißbarkeit, große Sanierungslängen bis zu 600 m sowie kurze Einbauzeiten wirken sich günstig bei der Auftragsvergabe aus.

Das U-Liner-Verfahren ist damit als klassisches, grabenloses Verfahren eine Alternative zur Neuverlegung und hat sich seinen festen Marktanteil durch den etablierten Werkstoff PE-HD und die fachgerechte Installation weltweit gesichert.



Abb. 5.11: U-Liner, Querschnitt bei Anlieferung; U-Liner nach Einbau und Rückverformung [Glanert und Schulze, 2002]

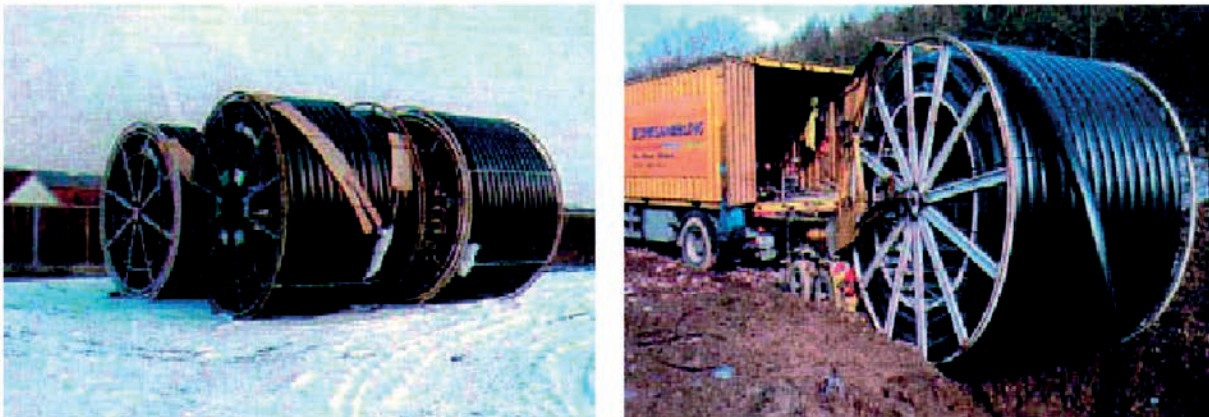


Abb. 5.12: U-Liner Trommelware und im Rohrtrommelanhänger [Glanert und Schulze, 2002]

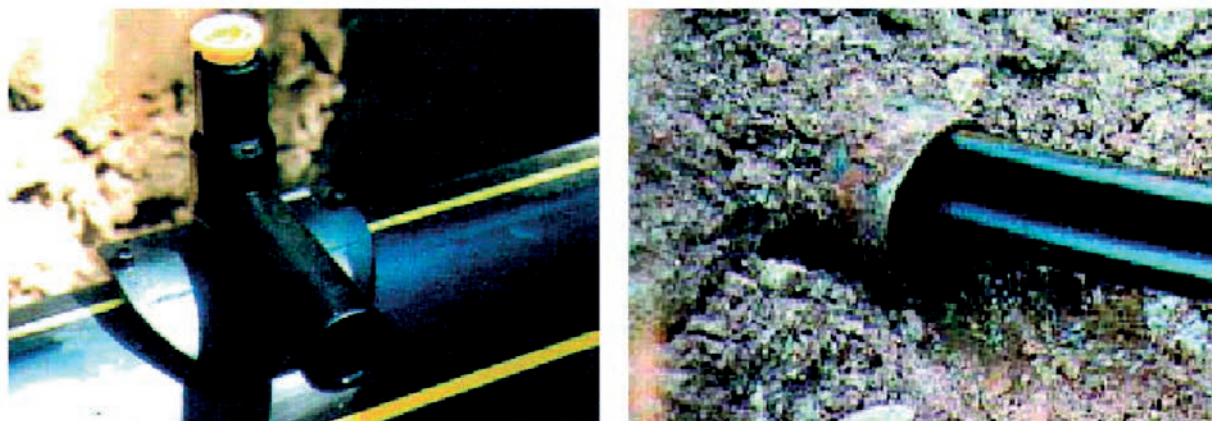


Abb. 5.13: Anbindung einer Hausanschlussleitung mit Fiatec-Top-loading-Sattel; U-Liner läuft in das Altrohr [Glanert und Schulze, 2002]

### 5.6.10.3 Berstlining

Siehe dazu *Kap. 4.9 Rehabilitationsverfahren*

#### Neurohrmaterial

Für den Einbau von neuen Rohren im Berstliningverfahren sind GW 323 „Grabenlose Erneuerung von Gas- und Wasserversorgungsleitungen durch Berstlining; Anforderungen, Gütesicherung und Prüfung“, (07/2004) für Versorgungsleitungen und GW 325 „Grabenlose Bauweisen für Gas- und Wasser-Anschlusslei-

tungen; Anforderungen, Gütesicherung und Prüfung“ (3/2007) für Anschlussleitungen maßgeblich.

Die einzubauenden neuen Rohre müssen folgende Anforderungen erfüllen:

- die aus dem Berstliningverfahren resultierenden Belastungen aus Einziehkräften und Biegeradien standhalten,
- Rohre und Rohrverbindungen müssen einen geeigneten Außenschutz gegen unzulässige Riefenbildung (Rohraußenseite) haben,
- die neuen Rohre müssen Punktlasten widerstehen können (betrifft Kunststoffrohre).



### Polyethylen-Rohre (PE)

Nach GW 323 gelten folgende Anforderungen an die Werkstoffe, Rohrkonstruktion und Rohrverbindungen:

- Verwendung von PE 100 Rohren nach GW 335-A2 „Kunststoff-Rohrleitungssysteme in der Gas- und Wasserverteilung; Anforderungen und Prüfungen - Teil A2: Rohre aus PE 80 und PE 100“;
- Riefentiefe maximal 10% der Rohrwanddicke, aber nicht mehr als 2 mm (bei Schutzmantelrohren ist hier das Kernrohr gemeint – nicht der Schutzmantel!),
- PE 100-Rohre müssen einen geeigneten Außenschutz aufweisen, der auch im Bereich der Rohrverbindungen vorhanden sein muss. Für das Bersten von Graugussrohren und Einziehen von PE-Rohren definiert GW 323 darüber hinaus besondere Schutzigenschaften, die vom Rohrhersteller nachzuweisen sind. Im Hinblick auf die Spannungsrissbeständigkeit ist ein „Full Notch Creep Test“ (FNCT-Test) mit besonders hohen Anforderungen durchzuführen und nachzuweisen,
- Rohre aus PE 100 sind durch Heizelement-Stumpfschweißverfahren miteinander zu verbinden.

Rohre aus PE 100 RC (RC = „Resistance to Crack“) sind besonders hochwertig und daher gut für den grablosen Einbau im Berstliningverfahren geeignet. Es handelt sich um Werkstoffe des Typs PE 100, die einen sehr hohen Widerstand gegen langsamen Rissfortschritt aufweisen. Durch Punktbelastung können Spannungsrisse entstehen. Beim Einsatz dieser Werkstoffe können solche Spannungsrisse aufgrund der hervorragenden Spannungsrissbeständigkeit vermieden werden.

Es werden Rohre mit maßlich aufaddiertem Schutzmantel und Rohre mit maßlich integrierter Schutzschicht unterschieden.

### PE-Xa-Rohre

Folgende Anforderungen müssen nach GW 323 [DVGW, 2004] und GW 325 [DVGW, 2006a] erfüllt werden:

- Es dürfen nur PE-Xa Rohre nach GW 335-A3 „Kunststoff-Rohrleitungssysteme in der Gas- und Wasserverteilung; Anforderungen und Prüfungen – Teil A3: Rohre aus PE-Xa“ verwendet werden.
- Bei PE-Xa Rohren kann aufgrund der Werkstoffeigenschaften auf zusätzliche Rohraußenschutzmaßnahmen verzichtet werden.

PE-Xa Rohre können nur durch Heizwendelmuffen miteinander verbunden werden.



Abb. 5.14: Berst-Maschine; Ankoppeln

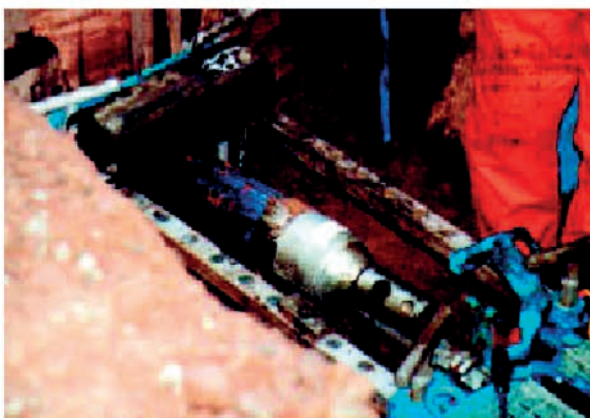


Abb. 5.15: Vorbereitung des Berst-Vorganges durch Ankoppeln an Gestänge





Abb. 5.16: ausgelegtes Rohr kann eingezogen werden

### 5.6.11 Trennen und Anschluss von Rohrleitungen

#### 5.6.11.1 Trennen und Anschluss von Rohrleitungen bei der Rehabilitation nach G 465-2

Bei der Rehabilitation von Rohrleitungen ist zur Außerbetriebnahme und bei der Wiederinbetriebnahme von Rohrleitungsabschnitten

- das Trennen bzw.
- die Einbindung von Rohrleitungen

erforderlich.

Für diese Arbeiten am Rohrnetz einschließlich von Reparaturarbeiten (Abdichten von Leckstellen bzw. Beseitigung von Rohrbrüchen) sind die Technischen Regeln nach G 465-2 zu beachten.

Bei allen Arbeiten ist durch die Anwendung geeigneter Technologien die Gasausströmung zu vermeiden.

Die Arbeiten sind durch fachkundige Mitarbeiter der Gasversorgungsunternehmen bzw. von Rohrleitungsbauunternehmen durchzuführen. Diese müssen für Schweißarbeiten entsprechende Befähigung nach GW 301 nachgewiesen haben.

#### 5.6.11.2 Durchführung der Arbeiten

Die Arbeiten umfassen bei der Sanierung und Erneuerung von Rohrleitungen die:

1. Arbeitsvorbereitung,
2. Außerbetriebnahme,
3. Trennen von Gasleitungen,
4. Verbinden und Wiederverschließen von Gasleitungen,
5. Schweißen von Gasleitungen,
6. Wiederinbetriebnahme von Gasleitungen (Dichtheitsprüfung),
7. Anbohren von Gasleitungen (für Hausanschlussleitungen).

Auszugsweise werden nachfolgend einige Regelungen aus G 465-2 genannt:

##### Zu (1)

Zur Arbeitsvorbereitung gehören die notwendigen Absperrungen am Gasrohrnetz, die Herstellung der Baugruben unter Beachtung eines möglichen Gasaustritts und die Sicherheitsvorkehrungen (Schutzausrüstungen, Gaskonzentrationsmessgeräte, Feuerlöscher usw.).

##### Zu (2) und (3)

Die Trennung der Rohrleitungen muß entsprechend dem liegenden Rohrmaterial und dem dafür notwendigen Werkzeugen und Geräten erfolgen.

##### Zu (4)

Beim Verbinden und Verschließen von Gasleitungen sind weiterführende Vorschriften der Berufsgenossenschaft zu beachten und zu berücksichtigen ob die Verbindung unter Betriebsdruck oder mit abgesperrter und entleerter Gasleitung erfolgt.

##### Zu (5)

Für Schweißarbeiten müssen die Fachkräfte gültige Prüfbescheinigungen für das entsprechende Rohrmaterial (Stahl oder PE) besitzen. Weiterhin ist zu unterscheiden, ob die Arbeiten im gasfreien Zustand oder unter Gas erfolgen.

##### Zu (6)

Vor Wiederinbetriebnahme sind die Rohrleitungsteile auf Dichtheit zu prüfen; für die Füllung der Rohrleitungen gelten vorgegebene Abläufe. Gefahrenbereiche sind festzulegen.

##### Zu (7)

Die Anbohrung darf nur mit entsprechenden Werkzeugen und Geräten erfolgen, wobei das Ausströmen von Gas zu vermeiden bzw. gering zu halten ist.

## 6 Rehabilitationsstrategien

### 6.1 Risikobasierte Budgetierung von Instandhaltungsmaßnahmen für Wasser- und Gasnetze (auszugsweise aus [Kornatz, 2008])

Prof. Dr.-Ing. habil. H. Roscher

#### 6.1.1 Risikomanagement als Bestandteil der Unternehmensführung

Organisation, Prozesse und Asset Management-Methoden sind heute stark miteinander verknüpft. Im Rahmen des Risikomanagements werden unternehmensgefährdende Risiken identifiziert, bewertet und ausgewiesen.

Tab. 6.1: Aufgabenteilung zwischen Asset Owner, Asset Management und Asset Service

Asset Owner	Asset Management	Asset Service
Eigentümer	Entscheider	Dienstleister
Sicherstellung der Kapitalverzinsung für das in den Netzen gebundene Anlagevermögen	Entwicklung der Investitions- und Instandhaltungsstrategie	Umsetzung der Investitions- und Instandhaltungsstrategie
Budget	Auftrag	
Gewinn	Leistung	

Asset Management	Vermögensverwaltung
Asset Manager	vom Asset Owner beauftragt, dessen Eigentümerinteressen wahrzunehmen
Asset Service	setzt Strategie des Asset Managers um

Risikomanagement ist somit Bestandteil der Unternehmensführung geworden und wird in Unternehmensentscheidungen berücksichtigt.

DIN EN 1050 definiert Risiko als Produkt aus Schadenshöhe und Eintrittswahrscheinlichkeit und damit den zu erwartenden Schaden.

In [Kornatz, 2008] heißt es dazu

*„Das Risiko wird üblicherweise in Geldeinheiten, also in Euro gemessen. Speziell für Energie- und Wasserversorger wird dem Risiko die Verlustgefahr verstanden, die aus den Ereignissen oder Handlungen resultiert, die die Finanzlage, die Ertragslage und die Vermögenslage der Gesellschaft negativ beeinflussen oder die einen negativen Einfluss auf ein angemessene Versorgungssicherheit haben. Finanzlage, Ertragslage und Vermögenslage sind Kriterien, die in der Regel von Kaufleuten verantwortet werden. Das Thema Versorgungssicherheit ist eher ein Thema für die Techniker und Ingenieure. Die Versorgungssicherheit ist in*

*Deutschland ein hohes Gut. In der Vergangenheit wurde viel Zeit und Geld in die Versorgungsnetze investierte, um diese in einem möglichst guten Zustand zu halten. Das Risiko eines Versorgungsausfalls wurde so klein wie möglich gehalten.“*

Einschränkend ist auf Kap. 5.1.4.1 Sicherheit im Gasfach zu verweisen. Zu unterscheiden ist in technische Sicherheit, Arbeitssicherheit und Versorgungssicherheit mit folgenden Definitionen:

- Maßnahmen der technischen Sicherheit dienen der Vermeidung von Gefahren gegenüber Dritten, die sich aus der Errichtung, Betrieb und Instandhaltung gastechnischer Anlagen ergeben. Zu schützen sind Menschen, Umwelt und Sachwerte.
- Maßnahmen zur Arbeitssicherheit dienen der Vermeidung von Gefahren gegenüber Mitarbeitern (Arbeitsunfälle) in den Unternehmen der Gaswirtschaft, insbesondere bei Errichtung, Betrieb und Instandhaltung gastechnischer Anlagen.
- Maßnahmen zur Versorgungssicherheit dienen der Sicherstellung einer bedarfsgerechten Versorgung mit Erdgas hinsichtlich Menge und Qualität.

Weiter heißt es in [Kornatz, 2008]:

*„Die Aufgabe der Zukunft ist es, mit sinkenden finanziellen Mitteln die Versorgungsqualität auf einem akzeptablen Niveau zu halten. Dieser Herausforderung ist mit effizienten Unternehmensstrukturen, schlanken Prozessen und intelligenten Instandhaltungskonzeptionen zu begegnen“*

#### 6.1.1.1 Risikobasierte Budgetierung

Kornatz [Kornatz, 2008] bezeichnet als Aufgabe der Zukunft, mit sinkenden finanziellen Mittel die Versorgungsqualität auf einem akzeptablen Niveau zu halten (siehe oben). Er unterteilt das Asset Management in das strategische Asset Management und das operative Management.

Das vom Asset Manager zur Bewirtschaftung der Netze benötigte Budget bestimmt sich aus den drei Haupttätigkeitsfeldern

- strategischer Netzaus- und -umbau,
- Instandhaltung des bestehenden Netzes und
- Entstörung.

#### 6.1.1.2 Water Safety Plans - Trinkwassersicherheitskonzept

Das Trinkwassersicherheitskonzept nach der WHO-Vorlage „Managing drinking water from catchment to consumer“ betrachtet die Sicherstellung der Wasserqualität vom Einzugsgebiet- oder Wassergewinnungsgebiet bis zur Entnahmestelle und basiert auf dem HACCP-Ansatz (Gefährdungspunkte und kritische Lenkungspunkte - entwickelt vom amerikanischen Konzern „The Pillsbury Company“).

Für jedes Betriebsmittel wird die Bedeutung ermittelt, z.B. für eine Wasserleitung:

- die Anzahl der angeschlossenen Einwohner
- der Volumenstrom
- der Leitungstyp (Transport, Versorgungs- oder Hausanschlussleitung)
- die Einbindung in die Netztopologie (Maschen- oder Stichleitung)

Zusätzlich wird die Schadenswahrscheinlichkeit bestimmt, z.B.:

- Material
- Verlegejahr
- Verkehrserschütterungen
- Schadensstatistiken oder Zustandsbeobachtungen bei Aufgrabungen.

Aus der Bedeutung und Schadenseintrittswahrscheinlichkeit werden die durchzuführenden Maßnahmen bestimmt.

Mit steigender Bedeutung oder der Schadenseintrittswahrscheinlichkeit werden Instandhaltungsmaßnahmen bestimmt. Außerdem werden Ausfallkosten einbezogen.

**Zusammenfassend ergibt sich, dass die Netzbewirtschaftung ein Zusammenwirken von Organisationsstruktur, Prozessen und Bewertungsmethoden erfordert.**

## 6.2 Optimierung von Versorgungsnetzen der Wasser- und Gasversorgung

Dipl.-Ing. (FH) M. Beck

### 6.2.1 Erarbeitung einer Rehabilitationsstrategie für Druckrohrleitungen

#### 6.2.1.1 Bewertung von Druckrohrnetzen mit OptNet® [Ahrens, 2008]

Die Bewertung der Druckrohrnetze und die Bestimmung der zu erneuernden Netzabschnitte sind Entscheidungsprozesse, die permanent bei den Versorgungsbetrieben ablaufen. Vielfach verlässt man sich bei den Entscheidungen auf das Wissen und auf die Erfahrung langjähriger Mitarbeiter. Sie treffen eine Auswahl der Maßnahmen und begründen diese mit dem schlechten Zustand, dem hohen Alter, den Kundenreklamationen hinsichtlich Druck und Qualität, mit Baumaßnahmen Dritter etc. Wenn mehrere Bereiche eines Betriebes bei der Durchsetzung der Investitionen im Wettbewerb stehen, ist der Ausgang der Entscheidungen ungewiss und unter dem Zwang der Kostenminimierung wird manche notwendige Maßnahme nicht durchgeführt. Vielfach leiden die Vorbereitung und Durchsetzung der notwendigen Investitionsmaßnahmen an der Tatsache, dass eine betriebswirtschaftliche Untersuchung und Begründung der Maßnahme nicht erfolgt bzw. nicht erfolgen kann. Oft wird deshalb der richtige Zeitpunkt für eine Maßnahme verpasst und betriebswirtschaftliche Nachteile werden unbewusst in Kauf genommen.

Die übliche Vorbereitungspraxis leidet auch unter der Tatsache, dass konkrete langjährige Aufzeichnungen

über das Netz und jeden Netzabschnitt zwar in der Regel vorliegen, aber nicht in der geeigneten Form für die notwendigen Analysen zur Verfügung stehen. Mit dem Ausscheiden der Erfahrungsträger verlieren die Versorgungsbetriebe dann wertvolles Spezialwissen unwiderruflich.

Mit der unter *Kap. 4.7.6.2 Vorteile der flächenhaften Rehabilitation - Untersuchungsergebnisse Erfurt* beschriebenen Methodik zur Ermittlung einer optimalen Rehabilitationsstrategie wird ein Weg aufgezeigt, wie mit einer angemessenen Rechentechnik und entsprechender Software die oben beschriebenen Entscheidungsvorbereitungen deutlich verbessert, beschleunigt und letztlich die betrieblichen Aufwendungen für die Reparaturen und Investitionen minimiert werden können.

Die Methode wird praxisbezogen dargestellt und auf die betriebliche Problemstellung übertragen, die notwendigen Ausgangsinformationen werden genannt und die Bewertungsergebnisse überwiegend in Form von Diagrammen dargestellt. Alle Straßen- und Ortsbezeichnungen sind anonymisiert.

Die für die Bewertung verwendete Software OPTNET [Büro für Rohrnetzanalysen, o.J.] wird herangezogen, wenn die Lösungen der angesprochenen Aufgaben gezeigt werden soll. Darüber hinaus wird im Bereich der hydraulischen Rohrnetzberechnungen und der geografischen Darstellung der Ergebnisse das Rohrnetzberechnungsprogramm STANET [Ing.-Büro Fischer-Uhrig, o.J.] verwendet.

Die Bewertungen des Zustandes, des Investitionswertes, der wirtschaftlichen Nutzungsdauer (betriebswirtschaftliche Nutzungsdauer), der Bestimmung der Rehabilitationsraten, der Auswahl der Maßnahmen und auf die Vor- und Nachteile einer kontinuierlichen Rehabilitation.

Rehabilitationsverfahren, Verlege- oder Reparaturtechniken, Rohrherstellungsverfahren, Schadensursachen und Schadensarten werden in den anderen Kapiteln beschrieben, so dass in *Kap. 4.7.6.2 Vorteile der flächenhaften Rehabilitation - Untersuchungsergebnisse Erfurt* ausschließlich die Bewertungen des Zustandes, des Investitionswertes, der wirtschaftlichen Nutzungsdauer, der Bestimmung der Rehabilitationsraten, der Auswahl der Maßnahmen und auf die Vor- und Nachteile einer kontinuierlichen Rehabilitation behandelt werden.

#### 6.2.1.2 Zielsetzung der Erneuerungsplanung von Wasserversorgungsnetzen (Fichtener Asset Services & Technologies)

Zunehmender Kostendruck aufgrund der Regulierung der Gas- und Stromnetze, der Wasserpreisdiskussion mit der Kartellbehörde und der Öffentlichkeit bei gleichzeitig alterndem Netzbestand erfordert den Einsatz moderner Bewertungsmodelle zur Steuerung und Optimierung des Lebenszykluses der Betriebsmittel.

Vor allem bei Wasser- und Gasversorgungsnetzen liegt der Fokus auf dem optimalen Ersatzzeitpunkt der Leitungen. OptNet® war seit den 90er Jahren ein Vorreiter bei der Bestimmung des Zustandes und der Ermittlung



von Investitionskosten und der Erarbeitung von Vorschlägen zur Rehabilitation von Wasserrohrnetzen.

Die Bewertung der Druckrohrnetze und die Bestimmung der zu erneuernden Netzabschnitte sind Entscheidungsprozesse, die permanent bei den Versorgungsbetrieben ablaufen. Vielfach verlässt man sich bei der Auswahl der Maßnahmen auf das Wissen und die Erfahrung langjähriger Mitarbeiter. Diese treffen Entscheidungen i.d.R. aufgrund von Zustand, Alter, Schadensereignissen und in hohem Umfang aufgrund von Baumaßnahmen Dritter.

Trotz des meist hohen Niveaus der Entscheidungsfindung birgt diese Form der Rehabilitationsplanung jedoch mehrere Risiken:

- Die Qualität der Unternehmensstrategie hängt von der Erfahrung einzelner Ingenieure ab. Verlassen diese das Unternehmen kommt es zu einem merklichen Knowhow-Verlust.
- Eine objektive Beurteilung ist schwierig.
- Da die Erfahrungen teils individuell sind, kommt es auch zu unterschiedlichen Entscheidungen, dies wird u.a. bei großen Unternehmen oftmals zu einem Problem, wenn die Ingenieure in den verschiedenen Bereichen unterschiedliche Qualitätslevel gewohnt sind.
- Kaufmännische und betriebswirtschaftliche Aspekte werden im Entscheidungsfindungsprozess zumeist vernachlässigt.
- Die Kombination der Vielzahl von teils widersprüchlichen Anforderungen erfolgt nicht transparent, bereits ein einzelnes Auftreten eines Problems kann, u.a. wenn es in der Presse war, die Entscheidungsfindung für einen gewissen Zeitraum verzerren.

Die Kenntnis des Alterungsverhaltens der Betriebsmittel ist die notwendige Grundlage für eine Optimierung der Lebenszykluskosten. Sie stellt somit eine Grundlage für den Aufbau eines Asset Management Systems dar. Dadurch wird es möglich, die Qualität der Entscheidungsfindung zu verbessern, zukünftige Entwicklungen frühzeitig zu erkennen und die Zukunft des Unternehmens zu sichern.

Die Schadensraten in den Netzen sind, aufgrund des weit fortgeschrittenen Ersatzes von alten und besonders schadensanfälligen Leitungsabschnitten durch neue Rohrmaterialien, inzwischen soweit gesunken, dass sich eine Verschiebung der Zielsetzungen ergibt.

Vor wenigen Jahren war das Ziel der Festlegung eines Ersatzbudgets die Stabilisierung der Unterhaltskosten. Dieses wurde inzwischen weitgehend erreicht, so dass die wirtschaftlichen Rehabilitationsbudgets teils deutlich unter dem jährlichen Substanzverlust des Netzes liegen.

Mit sinkenden Budgets liegt nun das Optimierungspotential zunehmend in der Identifizierung der verbliebenen hoch gefährdeten Netzabschnitte und der Bewertung der Auswirkung von fremdgesteuerten Maßnahmen. Hierzu ist die Aufstellung von netzab-

schnittsscharfen Gefährdungsprognosen notwendig, wie sie mit OptNet-L erstellt werden können.

Strategische Modelle, die Betriebsmittel ausschließlich gruppenweise zu beurteilen, erweisen sich hierfür nur bedingt hilfreich, da sie nur Mittelwerte der Gruppen erkennen lassen und somit nicht berücksichtigen können, dass für eine Investition eine hinreichende Anzahl an Leitungsabschnitten mit auffälliger Gefährdung vorhanden sein muss.

Je mehr das Investitionsvolumen in das Netz den jährlichen Substanzverlust unterschreitet, desto mehr ist zu prüfen, in welche Betriebsmittelgruppen eine Investition fließen sollten.

Die Forderung nach nachhaltigem Wirtschaften kann nur bedeuten, dass Investitionsreduzierungen in einem Anlagenbereich zu einer Erhöhung der Investition in andere Anlagenbereiche führen. Anlagenübergreifende oder gar spartenübergreifende Modelle werden zunehmend an Bedeutung gewinnen. Eine ganzheitliche Sicht auf den Lebenszyklus aller Betriebsmittel und ein Verständnis der vielfältigen Anforderungen, die sich aus den Unternehmenszielen ergeben, wie er in der Anfang 2014 erschienen ISO 55000 beschrieben wird, ermöglicht die Identifikation und Nutzung von Optimierungspotentialen.

Es wird versucht, im Folgenden eine bewährte Methode zur Bewertung von Versorgungsnetzen und Erarbeitung von Rehabilitationsstrategien so darzustellen, dass der Leser in die Lage versetzt wird, die Überlegungen auf seine betriebliche Problemstellung zu übertragen. Dies kann nur praxisbezogen erfolgen und geschieht deshalb anhand von Daten eines Beispielnetzes. Es werden die notwendigen Ausgangsinformationen genannt und die Bewertungsergebnisse dargestellt.

Die verwendete Software OptNet® (Fichter IT Consulting) wird immer dann herangezogen, wenn die Lösungen der angesprochenen Aufgaben gezeigt werden sollen. Darüber hinaus wird im Bereich der hydraulischen Rohrnetzrechnungen und der geografischen Darstellung der Ergebnisse stets das Rohrnetzrechnungsprogramm STANET (Ing.-Büro Fischer-Uhrig) verwendet.

In diesem Abschnitt wird auf die Beschreibung der möglichen Rehabilitationsverfahren, der Verlege- und Reparaturtechniken, der Herstellungsverfahren für Rohre, der Beschreibung der Schadensursachen und Schadensarten usw. verzichtet. Es wird vielmehr versucht, sich ausschließlich auf die Bewertungen des Zustandes, des Investitionswertes, der wirtschaftlichen Nutzungsdauer, der Bestimmung der Rehabilitationsraten, der Priorisierung von Maßnahmen und auf die Vor- und Nachteile einer kontinuierlichen Rehabilitation zu konzentrieren.

### 6.2.1.3 Erhaltung und Erneuerung von Druckrohrnetzen der Wasserversorgung

Die Druckrohrnetze der Wasserversorgungsunternehmen stellen ca. 60–70% des Gesamtanlagevolumens der Versorgungsbetriebe dar. (geschätzter Neuwert des in den Bundesländern verlegten Trinkwassernetzes ca. 60 Mrd. €).

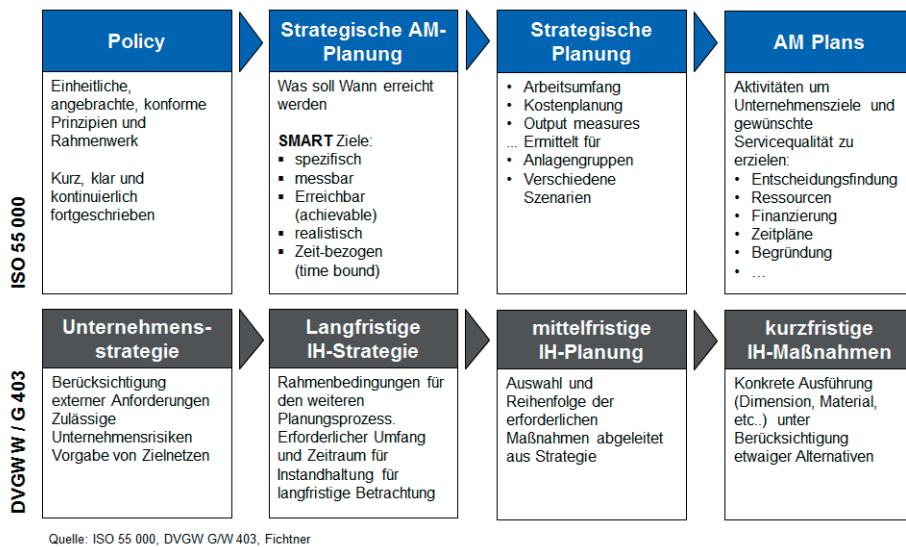


Abb. 6.1: Umsetzung der Asset Strategie DVWG W 403/ISO 55000

**Dem kontinuierlichen Erhalt der Wasserversorgungsnetze ist höchste Aufmerksamkeit zu schenken. Auch wenn derzeit, aufgrund des zumeist größtenteils erfolgten Ersatzes der besonders schadensanfälligen Leitungsabschnitte die Schadensraten oft gering sind, kann sich aus der Altersstruktur für die Zukunft wieder eine tendenzielle Zunahme der erforderlichen Instandhaltungsaufwendungen ergeben.**

**Die Versorgungssicherheit ist nur zu gewährleisten, wenn das alternde Netz zum optimalen Zeitpunkt systematisch und dabei möglichst kostengünstig saniert bzw. erneuert wird.**

Die tatsächlichen Nutzungsdauern von Rohrleitungen weisen eine große Streubreite auf, so dass die Gefahr groß ist, dass bei einer ausschließlich gruppenweisen Betrachtung Investitionen aus den verschiedenen Gründen zu früh oder zu spät durchgeführt werden.

Der Betreiber erkennt den sich verändernden Zustand seines Netzes häufig nur an der steigenden Anzahl an Schäden und gegebenenfalls an den eingehenden Reklamationen zur Qualität des Wassers. Durch diese Informationen werden die Mängel zwar deutlich, jedoch kann daraus allein keine belastbare Rehabilitationsstrategie abgeleitet werden.

Ohne gezielte Zustandsbewertungen und Kostenanalysen ist die Beantwortung der Frage nach dem Umfang der notwendigen Erneuerungen bzw. Sanierungen nicht zu beantworten. Es sind deshalb langfristige Strategien zu entwickeln, um das Rohrnetz zu erhalten.

#### 6.2.1.4 Umsetzung der Asset Strategie DVWG W 403/ISO 55000

Wie in *Abb. 6.1* vergleichend dargestellt, ist die Grundlage immer die Umsetzung der Zielvorgaben der Unternehmensstrategie auf den Bereich des Asset Managements. Die ISO 55000 bietet eine umfassende Auflistung möglicher Zielvorgaben.

Die Zielvorgaben sind zuerst in eine Strategische Asset Management Planung umzusetzen [Beck, 2013].

Gemäß ISO 55000 definiert innerhalb der Strategischen AM-Planung „nur“ die Zielvorgaben. Die Ermittlung des (mit den zur Verfügung stehenden Strategievarianten) anfallenden Arbeits- und Kostenumfangs erfolgt im Bereich der Strategischen Planung, die somit in etwa der Ebene der langfristigen Instandhaltungsstrategie entspricht. Dafür sind Simulationen der möglichen Szenarien hilfreich, um frühzeitig zukünftige Entwicklungen zu erkennen und die Auswirkung von Strategieentscheidungen vergleichbar zu machen.

Auf Grundlage der Vorgaben aus der Strategischen Planung kann dann auf operativer Ebene, also zunehmend betriebsmittelscharf, die mittelfristige und kurzfristige Planung erfolgen.

Die strategische Planung mit entsprechenden Simulationsmodellen erfolgt oftmals vereinfacht anhand von Nutzungsdauern aus der Literatur oder durch Analyse der bisherigen Nutzungsdauern. Diese Vereinfachung führt jedoch zu einer unzureichenden Anpassung auf die tatsächlichen Verhältnisse im Unternehmen. Verbleibende alte Rohrleitungen haben i.d.R. deutlich höhere Lebenserwartungen als in der Literatur beschrieben, da sie ja bereits die verbliebenen statistischen Ausnahmen innerhalb ihrer Gruppe sind.

Die unterlassene Bestimmung der wirtschaftlichen Nutzungsdauer der einzelnen Netzabschnitte und das Fehlen einer ausreichenden Rehabilitation bedeutet:

- deutlicher Anstieg der jährlichen Schadensanzahl
- unnötige Reparaturkosten bei zu später Rehabilitation
- Verlust an Abnutzungsvorrat bei zu früher Rehabilitation
- Störungen der Versorgungssicherheit, verbunden mit Qualitätsverlusten und gesundheitlichen Gefahren für die Verbraucher

- erhöhter Mittelbedarf für den Abbau des jährlich wachsenden Investitionsrückstaus
- Unkenntnis des Substanzwertverlusts bei verfrühter Erneuerung.

Aus der Betrachtung des Netzzustands und der daraus erforderlichen Reparaturen und Erneuerungen ergeben sich folgende Fragestellungen:

- Strategisch:
  - Welche Schadensentwicklung ist zu erwarten, wenn ohne Erneuerungsstrategie nur repariert und nicht rehabilitiert wird?
  - Wo wird sich die Qualität und Versorgungssicherheit bei fehlender Rehabilitation nachhaltig verschlechtern?
  - Wie viel muss jährlich erneuert werden, um den Zustand, die Zuverlässigkeit und den Wert der Netze zu erhalten oder zu verbessern?
  - Wie können die Gesamtkosten für Investitionen und Reparaturen durch die Wahl des optimalen Rehabilitationszeitpunkts minimiert werden?
  - Welche Ressourcen werden für die jeweilige Instandhaltungsstrategie benötigt? (Geld, Mitarbeiter, externe Auftragnehmer)
- Operativ:
  - Wie kann die optimale Rang- und Reihenfolge der Einzelmaßnahmen bestimmt werden?
  - Wie können die Maßnahmen verschiedener Fachbereiche so kombiniert werden, dass das Gesamtsystem zu einem Kostenminimum geführt wird?
  - Wie kann durch den Einsatz geografischer Informationssysteme (GIS) und die Verschneidung mit weiteren Datenquellen die Vorbereitung und Abstimmung der Maßnahmen unterstützt werden?

- Wie kann der Asset Service durch konkret aufbereitete Maßnahmenkataloge unterstützt werden?

Neben den unmittelbar durch die Schäden verursachten Auswirkungen kommt es jedoch zu einer Vielzahl an weiteren materiellen und immateriellen Auswirkungen, deren Einfluss auf die Unternehmensziele zu prüfen ist. Dafür bietet ISO 55000 eine ganzheitliche Sicht auf die verschiedenartigen, bei der Planung zu berücksichtigenden Randbedingungen. Um sicherzustellen, dass alle Aspekte berücksichtigt werden, sind zuerst durch eine Beurteilung des Kontextes in dem das Unternehmen arbeitet, die Stakeholder, also die durch die Asset Management Strategie Betroffenen, zu ermitteln.

Dies können **externe Stakeholder**<sup>8</sup> sein wie:

- Kunden, Anwohner, Kommune
- Zulieferer, Auftragnehmer
- Verbraucherorganisationen, Umweltschutzorganisationen, Gewerkschaften
- Medien
- Regulierungsbehörde, Kartellamt
- Lokal-, Landes-, Bundespolitik
- Investoren, Steuerzahler
- Finanzielle Institutionen wie Banken, Rating Agencies, Versicherungen

oder **interne Stakeholder** wie:

- Mitarbeiter
- Gruppen innerhalb des Unternehmens
  - Funktionale Gruppen (Planung, Buchhaltung, Betrieb usw.)
  - Andere (Betriebsrat, Sicherheitsbeauftragter)
- Anteilseigner
- Aufsichtsrat, Eigentümer

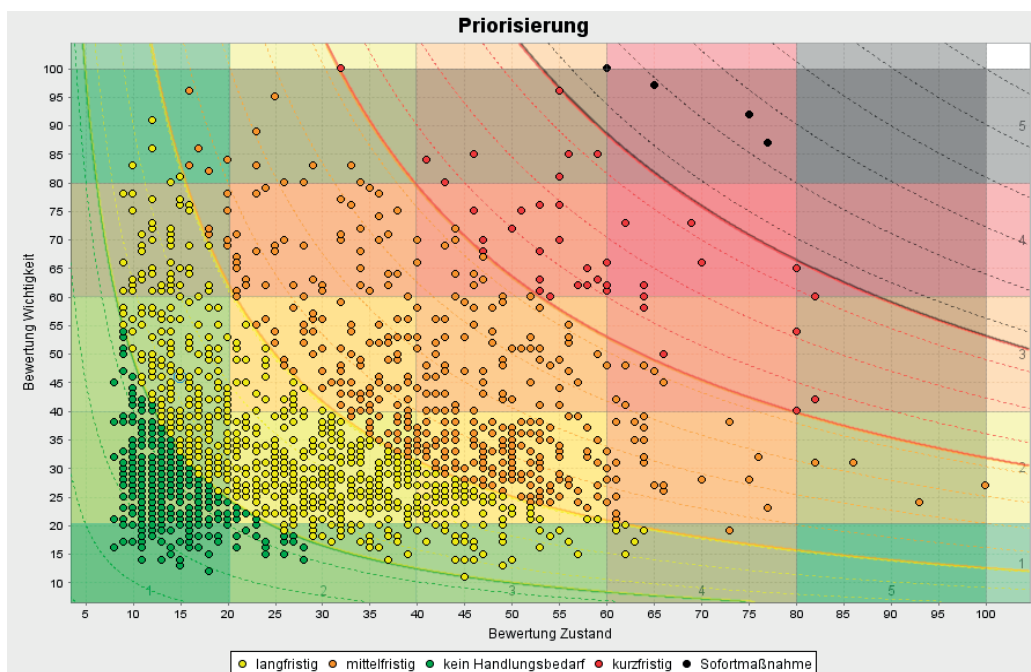


Abb. 6.2: Maßnahmenpriorität im Zustands-/Wichtigkeitsdiagramm

<sup>8</sup> Person oder Gruppe, welche Interesse am Verlauf oder Ergebnis eines Prozesse oder Projektes hat



Die Prüfung der Schnittstellen und Interessen der Stakeholder ergänzt die Liste der technischen Zielvorgaben, die sich direkt aus dem Anstieg der Schadenswahrscheinlichkeit des Netzes ergeben um ein Verständnis der zu erwartenden Auswirkungen auf die Unternehmensziele. Aus einer rein zustandsorientierten Strategie wird so eine risikobasierte:

$$\text{Risiko} = \text{Ausfallwahrscheinlichkeit} * \text{Auswirkungen eines Ausfalls} \quad (6.1)$$

vgl: Kap. 5 *Sanierung und Erneuerung von Gasrohrnetzen*. Bei der Erstellung von Prioritätenlisten im operativen Asset Management werden diese beiden Faktoren üblicherweise als Zustand und Wichtigkeit abgebildet und miteinander kombiniert.

$$\text{Priorität} = \text{Zustand} * \text{Wichtigkeit} \quad (6.2)$$

Der Faktor „Zustand“ kann eine echte Ausfallwahrscheinlichkeit darstellen, in einfacheren Modellen kann es sich aber auch z.B. um eine einfache Punktbewertung handeln.

Der Faktor „Wichtigkeit“ spiegelt insofern die Auswirkungen des Ausfalls wieder, da er alle Auswirkungen auf Unternehmensziele der Anlage kombiniert.

Für die **Wichtigkeit** der Leitungsabschnitte kann eine Vielzahl von Aspekten relevant sein. DVGW W 403 nennt:

- Minimierung der Rohrschäden und Versorgungsunterbrechungen
- Reduzierung oder Niedrighalten der Wasserverluste
- Vermeidung der Gefährdung von Mensch, Fremdanlagen und Umwelt
- Verbesserung oder Erhaltung der Versorgungsqualität
- Minimierung der erforderlichen Gesamtkosten für die Instandhaltung bei Einhaltung der erforderlichen Versorgungsstandards

Eine allgemeine Betrachtung über eine Ermittlung der Unternehmensziele erlaubt die Prüfung weiterer Aspekte und eine Strukturierung, wie folgt:

- Technisch
  - Auswirkung auf Versorgungssicherheit (z.B. durch n-1 Analyse ermittelt)
  - Verkehrssicherheit
  - Arbeitssicherheit
  - Compliance, d.h. Übereinstimmung mit Gesetzen und Regelwerken, Erfüllung privatrechtlicher Verpflichtungen und internen Verhaltensregeln und Qualitätsvorgaben
  - Geplante Netzänderungen, z.B. zur hydraulischen Ertüchtigung
- Wirtschaftlich
  - Amortisationsdauer
  - Barwert
  - Eigenkapitalverzinsung
- Soziale Faktoren
  - Image
  - Kundenzufriedenheit
  - Umwelt- und Landschaftsschutz

Durch die Kombination von Zustand und Wichtigkeit wird so eine transparente, nachvollziehbare Prioritätskennzahl geschaffen, die alle relevanten Unternehmensziele berücksichtigt. Nur so kann eine wirtschaftlich und technisch optimale Planung erreicht werden.

Der Umfang der Aufgaben ist natürlich nur durch die Verschneidung der Informationsquellen in einer Netzdatenbank und mit entsprechender Spezialsoftware zu lösen. Die Nutzung einer zentralen Datenbank erlaubt es sicherzustellen, dass alle Beteiligten auf der gleichen Datenbasis arbeiten und ermöglicht eine offene Schnittstelle zu GIS und ERP. Bei entsprechender Ausgestaltung des Gesamtsystems und der Schnittstellen sind erhebliche Kosteneinsparungen bei der Planung und der Durchführung der laufenden Maßnahmen zum Erhalt der Infrastruktur möglich.

Neben der langfristigen Minimierung der Instandhaltungs- und Investitionskosten unterstützt eine entsprechende Rehabilitationsstrategie den Erhalt der Versorgungssicherheit, minimiert das Risiko und stabilisiert die Preise.

### 6.2.1.5 Integriertes Asset Management

In den letzten Jahren zeigt sich eine vermehrte Tendenz, Asset-Management Systeme als „integriert“ zu bezeichnen. Im Gegensatz zur Definition der ISO 55000, die Asset Management als umfassende Managementpraxis beschreibt, die auf allen Ebenen des Unternehmens integriert ist (s. Abb. 6.3), wird im Hinblick auf Software-Lösungen für die Unterstützung des Asset-Management i.d.R. hiermit eine Integration zwischen operativem und strategischem Asset-Management verstanden.

Hochintegrierte Softwarelösungen, wie OptNet, ermöglichen die Nutzung gleicher Grundlagen für beide Betrachtungsebenen. So können Asset Management und Asset Service<sup>9</sup> trotz sehr unterschiedlicher Sicht die gleiche Datenbasis und die Ergebnisse der jeweiligen Bewertung verwenden. Die Qualität und Genauigkeit der im operativen Geschäft ermittelten Daten, ermöglichen somit eine stetige Verbesserung der strategischen Modelle. Erst durch die Berücksichtigung aller zur Verfügung stehenden Informationen können Simulationen die Realität hinreichend genau abbilden, um qualifizierte Entscheidungen zu ermöglichen. Gleichzeitig erlaubt erst die Aggregation der Daten auf eine strategische Ebene durch Gruppenbildung den Überblick zu gewinnen, der es dem Asset Management ermöglicht, mittel- und langfristige Strategieauswirkungen abzuschätzen.

Die Integration von operativem und strategischem Asset Management ist somit nicht nur eine Frage der Umsetzung auf Datenbankebene, sondern Grundlage für eine vertrauensvolle Zusammenarbeit zwischen Asset Management und Asset Service.

Darüber hinaus erfordert ein effektiver Einsatz des Asset Managements eine Integration in die Unternehmensprozesse und die vorhandene Systemlandschaft. Er-

<sup>9</sup> Operative Umsetzung der AM Strategie über Service Level Contracts durch den AM gesteuert

kenntnisse aus der Zustandsbewertung, die typischerweise im Asset Service entstehen, müssen dem Asset Management so zur Verfügung gestellt werden, dass sie für Budgetentscheidungen genutzt werden können.

Das definierte Budget sowie die Erkenntnisse über Zustand, Wichtigkeit und Kosten der Betriebsmittel ist wiederum Grundlage für die Aufstellung von Maßnahmenlisten. Notwendig ist an dieser Stelle die Möglichkeit des manuellen Eingreifens: Maßnahmen, die vom

System vorgeschlagen wurden, sind durch den Planer zu prüfen, ggf. zusammenzufassen oder auch anzupassen. Kann die abgestimmte Maßnahmenliste direkt an das ERP übergeben werden, so ist eine nahtlose Übernahme in Auftrags- und Ressourcenplanung möglich. Die Auftragsbearbeitung, gegebenenfalls optimiert durch eine mobile Lösung, ist so zu gestalten, dass Zustandsrückmeldungen automatisch in das System eingespielt werden.

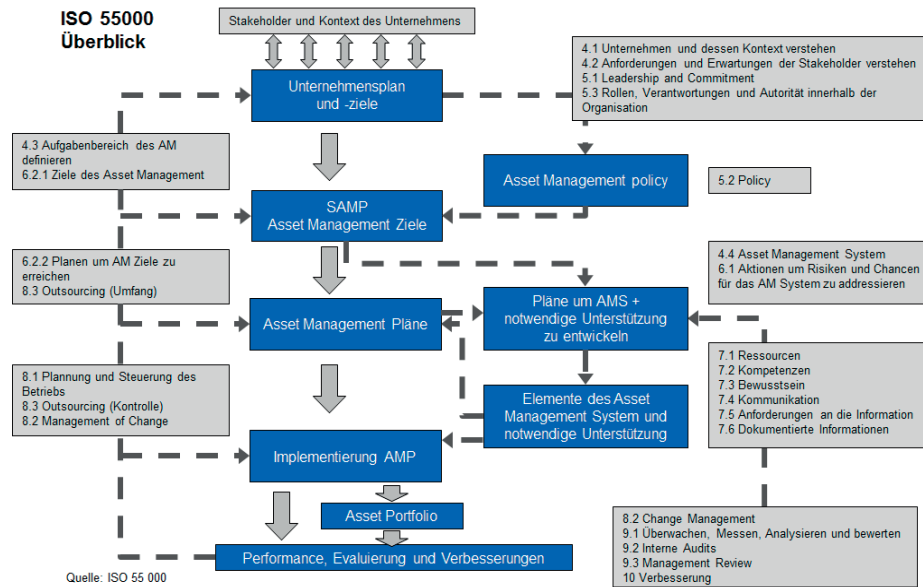


Abb. 6.3: Überblick ISO 55 000

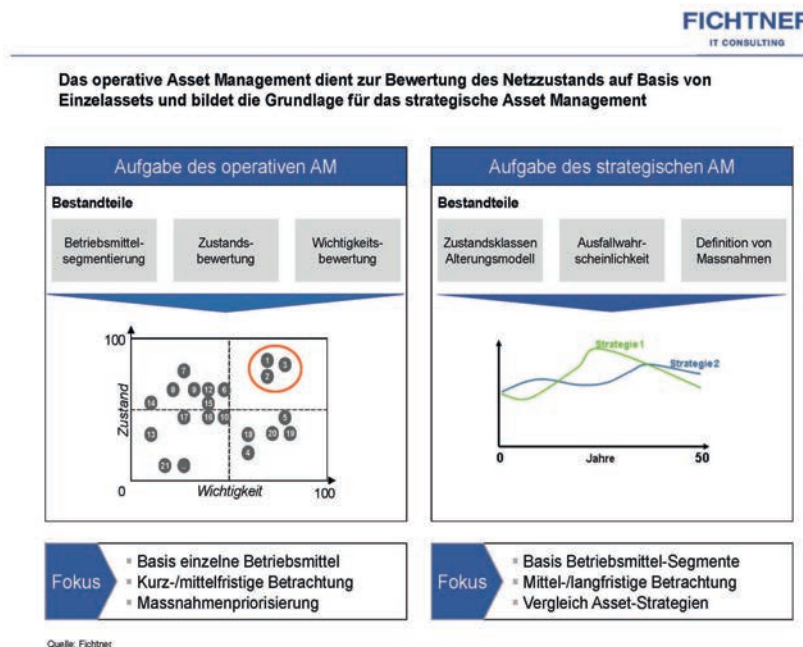


Abb. 6.4: Vergleich operatives und strategisches Asset Management

### Die integrierte Betrachtung der Abläufe zwischen operativer Abwicklung und Strategischem Asset Management

Zusammenspiel zwischen ERP (TBM / SAP u.ä.), GIS und FAST

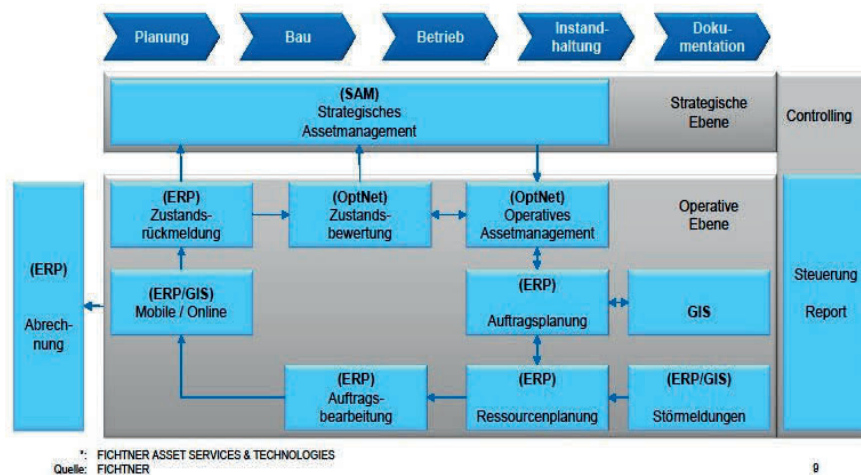


Abb. 6.5: Integration von OptNet in die Unternehmensprozesse

Gegebenenfalls sind Prozesse zu optimieren oder auch nur passende Formulare zur Verfügung zu stellen, um sicherzustellen, dass Daten, die während einer Baumaßnahme leicht erfasst werden können, auch tatsächlich übernommen werden.

Ein Beispiel hierfür ist die Erhebung von Daten zu z.B. Bodenart, Grundwasserstand etc. bei der Schadensbehebung an erdverlegten Leitungen, wie sie durch die entsprechenden DVGW-Regelwerke vorgeschlagen wird.

#### 6.2.1.6 Optimierter Vorschlag für die Erneuerungsstrategie

Die Erarbeitung eines optimierten Vorschlags für die Erneuerungsstrategie erfolgt in bis zu 5 Schritten:

1. Schritt: Bewertung des Netzes  
Ermittlung der Zustandsnote, der aktuellen Ausfallwahrscheinlichkeit sowie der Alterungsfunktion der Netzabschnitte. Ableitung von Zustandsnote und Wichtigkeitsbewertung als Grundlage für die spätere Maßnahmen Priorisierung. Ermittlung von Alterungsfunktionen als Grundlage für Prognoserechnungen.
2. Schritt: Wiederbeschaffungswert und Reparaturkosten  
Ermittlung der Kostenstruktur für Investitions- und laufende Kosten anhand von Einheitspreisen.
3. Schritt: Berücksichtigung weiterer Netzplanungen  
die Ergebnisse der Zustands- und Wichtigkeitsbewertung sind zu verschneiden mit Anforderungen, die sich aus der Netzhydraulik und weiteren Optimierungsthemen wie Energieoptimierung oder Durchmesseroptimierung ergeben.
4. Schritt: Erarbeitung einer Rehabilitationsstrategie

Ermittlung der Optimalen Nutzungsdauer, des Substanzwerts und des jährlichen Substanzwertverlusts. Ermittlung des Rehabilitationsbedarfs und Simulation der Bedarfsentwicklung bei verschiedenen Budgets.

5. Schritt: Aufstellen eines Maßnahmenplans  
Kostenminimierung durch Vorschlag von objekt-konkreten Rehabilitationsmaßnahmen für 10 Jahre im Rahmen des geplanten Budgets. Aufzeigen von Einsparpotentialen, Ermittlung des Restsubstanzwerts der Leitungsabschnitte bei Erneuerung, insbesondere für Maßnahmen, die aufgrund von Folgepflichten erforderlich werden.

Üblicherweise ist die Aufstellung des Maßnahmenplans ein iterativer Prozess, wie weiter unten erläutert wird.

#### 6.2.1.7 Grundlagen

##### Alterungsverhalten der Druckrohrnetze

Über das Alterungsverhalten wurden viele Untersuchungen veröffentlicht: [Herz, 1996], [Lenz und John, 1996], [Ahrens, 1985], [Kottmann, 1994], [Ahrens, 2000]. Alle Untersuchungen werden an real existierenden Netzen durchgeführt und es ist schwierig, die Ergebnisse einer Untersuchung auf andere Netze zu übertragen. Dies ist nur möglich, wenn nicht nur das Alter, die Materialarten und die Nennweiten, sondern auch die Verlegebedingungen, die Qualität der Verlegung und der Umfang der bereits durchgeführten Rehabilitationen bekannt und vergleichbar sind und berücksichtigt werden können.

Es gibt nur wenig Datenmaterial, welches für die Bewertung eines ungestört alternden Netzes zur Verfügung steht. Deshalb wird jede Bewertung eine gewisse Unschärfe aufweisen.



### Sonderstellung des Berliner Druckrohrnetzes bedingt durch Teilung der Stadt

Eine Sonderstellung nimmt das Druckrohrnetz der Berliner Wasserbetriebe ein. Mit der 30-jährigen Teilung der Stadt und den unterschiedlichen Möglichkeiten der Netzbetreuung durch die Betreiber in Ost- und West-Berlin wurde eine gänzlich unterschiedliche Rehabilitationsstrategie verfolgt. Ausgehend von fast identischen Material-, Alters- und Schadensstrukturen und analogen Verlegebedingungen (Erdart, Grundwasser u.a.) in den beiden Stadthälften vollzog sich für beide Netze eine sehr unterschiedliche Zustandsentwicklung.

Während in Westberlin konsequent eine Teilerneuerung (1 Rohrlänge oder mehr) bei Schäden durchgeführt bzw. im Zusammenhang mit dem Straßenbau die Trinkwasserleitung ausgewechselt wurde, musste man sich in

Ostberlin mit der Reparatur (geteiltes U-Stück bzw. Dichtungsschelle) behelfen. In Ostberlin wurden nur ca. 17 km Altrohrnetz mit Zement ausgekleidet und ein Ersatzbau nur in Ausnahmefällen gestattet.

Der Rohrbruchquotient für Ostberlin ist von 0,09 Schäden/km auf den Spitzenwert von 0,34 Schäden/km gestiegen. Gleichzeitig entwickelte sich der vergleichbare Wert für Westberlin von 0,07 auf 0,09 Schäden/km. Berücksichtigt man die unterschiedliche Längenentwicklung, erhöhte sich der Rohrbruchquotient in Ostberlin auf rd. 700 % gegenüber 1960. Gleichzeitig ist der Rohrbruchquotient für das Druckrohrnetz in Westberlin um ca. 30-40 % gestiegen.

Ohne Rehabilitation hätte sich für Westberlin die in *Abb. 6.7* dargestellte Schadensentwicklung eingestellt.

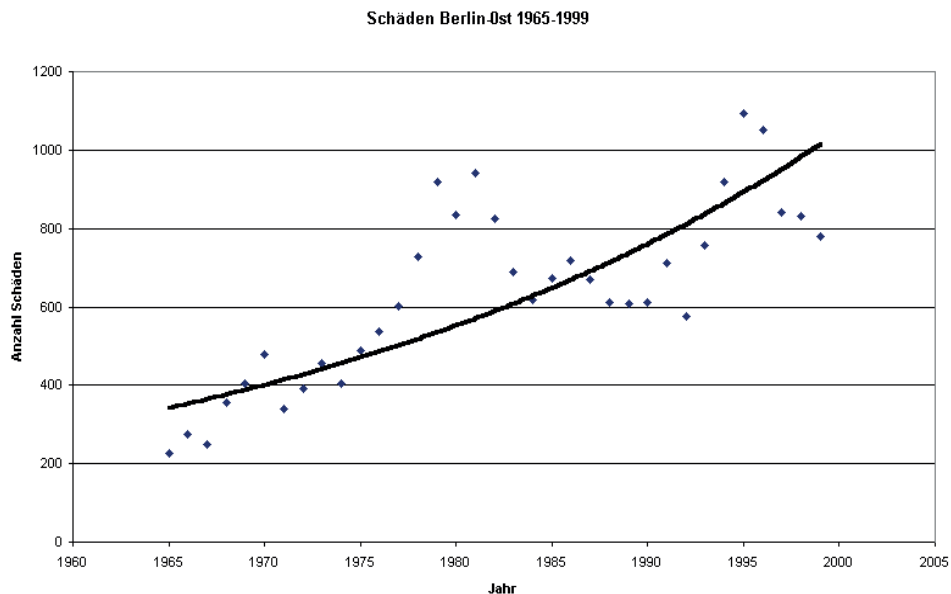


Abb. 6.6: Entwicklung der Schäden in Berlin-Ost

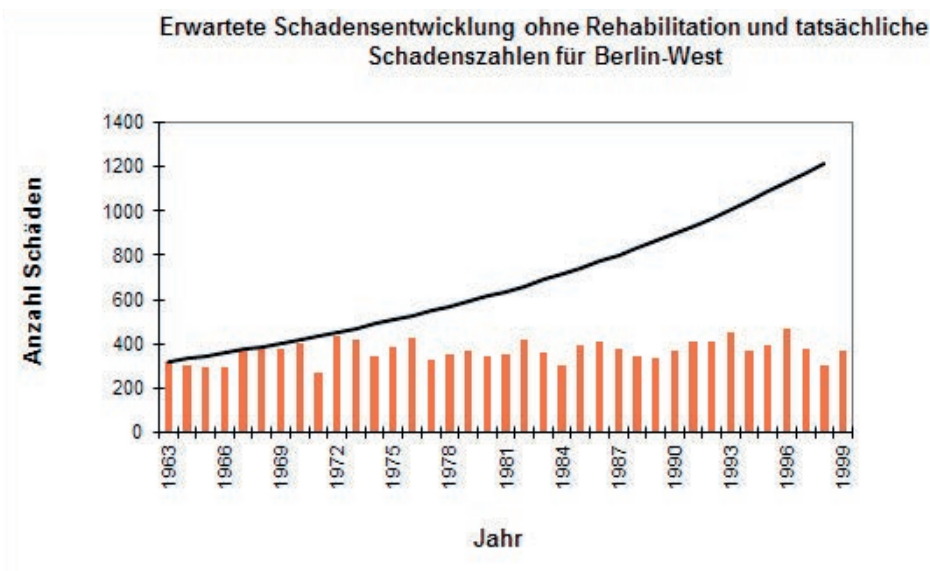


Abb. 6.7: Schadenstrend und tatsächliche Entwicklung für Westberlin

Aus diesen unterschiedlichen Entwicklungen können die durch die kontinuierliche Rehabilitation verhinderten Schäden und die eingesparten Reparaturaufwendungen bestimmt werden. In (Ahrens, 2000) wurde ermittelt, dass rd. 11.500 Schäden im Zeitraum 1965- 1995 für Westberlin durch die Rehabilitation verhindert wurden.

Der Schadensverlauf zeigt, dass klimatisch bedingt für die Jahre 1980/83 in Berlin-Ost, deutlich mehr Schäden registriert wurden. Dies führte auch zu zeitweilig verstärkten Ersatzmaßnahmen in Berlin Ost. Die erhöhte Anfälligkeit des Netzes muss auf die fehlende Rehabilitation zurückzuführen sein, denn in Westberlin herrschte ein durchaus vergleichbares Klima.

Bestimmte klimatische Erscheinungen (kalte Winter und trockene warme Sommer) [Kottmann, 1980b] und die damit verbundenen Erdbewegungen zeigen verstärkt die Schwachstellen der Netze. Damit wird eine Voraussage der Schadensentwicklung für konkrete Jahre natürlich unsicherer und Schwankungen sind einzuplanen. Der Schadenstrend kann aber trotzdem bestimmt werden, auch wenn die Schadensprognosen durch diese Klimaabhängigkeit und durch die laufenden Rehabilitationsmaßnahmen am Netz zusätzlich weiter erschwert werden.

Die Bestimmung der Schadensentwicklung ist aber eine Voraussetzung für die Aufwandsminimierung. Der DVGW lässt deshalb in einer bundesweiten Initiative Schadensstatistiken erstellen.

**Leider ist diese Statistik wegen der fehlenden Angaben zum Alter der ausgefallenen Netzabschnitte nur bedingt geeignet, hieraus das Alterungsverhalten bzw. die Ursachen für die Ausfälle der verschiedenen Materialarten abzuleiten.**

Aus eigenen Untersuchungen stehen z.Zt. rd. 70.000 km Versorgungsnetz und rd. 115.000 Schadensereignisse zur Verfügung. Für die Untersuchungen der Zu-

standsentwicklung [Schröter und Ahrens, 2002] wurden die Netze in 30 Materialklassen eingeteilt und für diese wurden allgemeine Schadensfunktionen abgeleitet.

Für Grauguss kann der in *Abb. 6.8* gezeigte Trend angenommen werden.

Für den oben gezeigten Trend konnten über 30.000 Schäden und über 42.000 km Graugussrohrnetz berücksichtigt werden.

Zu ähnlichen Ergebnissen ist bereits 1996 Herz [Herz, 1996] gekommen, der das Ausfallverhalten des Druckrohrnetzes der Stadt Stuttgart untersuchte.

Aus beiden Untersuchungen wird deutlich, dass selbst beim langlebigen Graugussrohr Schäden ab dem 40. Nutzungsjahr verschleißbedingt auftreten.

Leider ist es nicht möglich, die aus diesen Trends abgeleiteten Schadensfunktionen ohne spezielle Kalibrierungen auf die real existierenden Netze zu übertragen. Zu unterschiedlich sind die Material- und Altersstrukturen, zu unterschiedlich die den Zustand beeinflussenden inneren und äußeren Bedingungen, zu unterschiedlich sind auch innerhalb einer Materialart die Rohrqualität, die Qualität der Umhüllung und Auskleidung, sowie die Qualität der Rohrverlegung.

Auch wird die Prognose der Schadensentwicklung von dem Umfang bereits durchgeführter Rehabilitationsmaßnahmen beeinflusst.

Stehen nur kleine Netze (bis 300 km) für die Ableitung der Schadensfunktionen zur Verfügung, ist eine altersabhängige Trendfunktion für die einzelnen Materialarten häufig nicht möglich.

Um trotzdem eine Rehabilitationsrate ableiten zu können, wurde bisher die wirtschaftliche Nutzungsdauer für die verschiedenen Materialarten geschätzt. Die Ergebnisse dieser Schätzungen liegen überwiegend zwischen 50 und 100 Jahren.

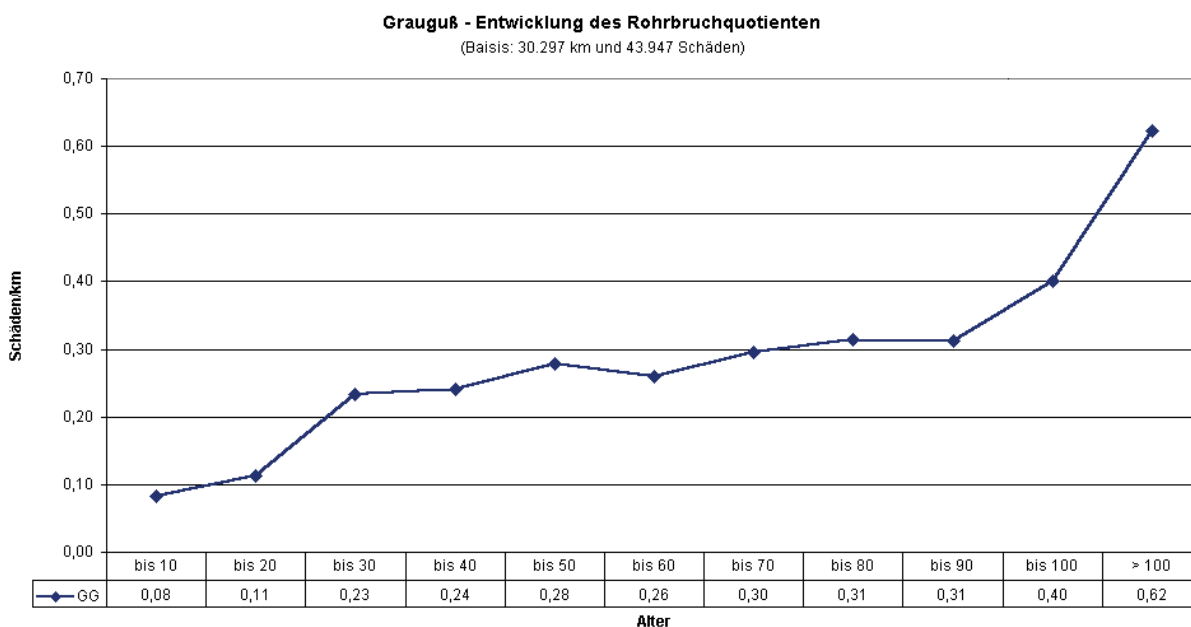


Abb. 6.8: Trend der Schadensentwicklung für Graugussrohre

Die beschriebene Methode versucht die tatsächliche wirtschaftliche Nutzungsdauer zu bestimmen. Das speziell entwickelte Verfahren passt die abgeleiteten allgemeinen Schadensfunktionen auf die zu untersuchenden Netze an. Durch diese „Einbettung“ der zu bewertenden Netze in die allgemeinen Schadensfunktionen des untersuchten Gesamtrohrnetzes, werden die Bewertungen für das konkrete Netz erst möglich. Das bedeutet nicht, dass die Individualität der zu untersuchenden Netze verloren geht. Es muss bedacht werden, dass es letztlich darum geht, konkrete Maßnahmen zum richtigen Zeitpunkt für die Rehabilitation festzulegen. Das bedeutet, dass neben der Schadensfunktion für ganze Netze oder Rohrgenerationen, das individuelle Schadensverhalten der einzelnen Abschnitte bestimmt werden muss.

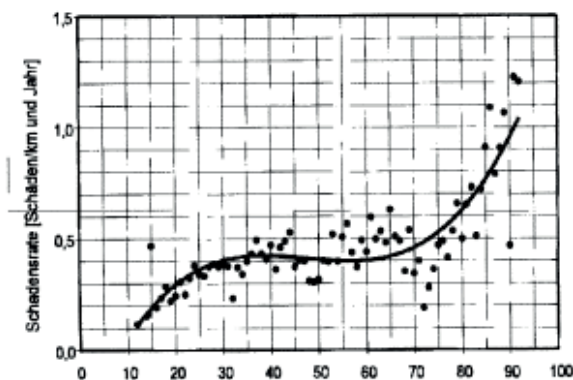


Abb. 6.9: Schadensentwicklung in Stuttgart nach Herz [Herz, 1996]

### 6.2.1.8 Informationsbedarf zur Bewertung der Netze

#### Voraussetzungen

In der Praxis erschweren häufig fehlende oder unvollständige Grundlagendaten die kurzfristige Erarbeitung einer optimalen Rehabilitationsstrategie. Die Erfahrung zeigt, dass es effektiver ist, dennoch, auch mit unvollständigen Daten eine Erstbewertung durchzuführen, das sich hierdurch die Möglichkeit ergibt, gezielter abzu-

schätzen, welche Daten wirklich relevant sind. Bei der Vielzahl von möglichen Einflussfaktoren für die Bewertung eines Netzes wirken sich diese nicht immer gleich stark aus. Vergleicht man das Ergebnis der Erstbewertung mit den Erfahrungen des Betriebspersonals, so zeigt sich, für welche Daten eine exaktere Ermittlung sinnvoll ist, und welche etwas ungenauer bleiben können. Unnötige, zeitaufwändige Datenerhebungen von Informationen, die später kaum genutzt werden, entfallen so.

Um bereits im Vorfeld die Vorgehensweise und den Zeitbedarf besser abschätzen zu können, sind folgende Voraussetzungen zu prüfen und gegebenenfalls zu schaffen:

- Stehen die notwendigen **Datenmassive** zur Verfügung? Die Organisation der Datenerfassung kann zu einer erheblichen Mehrbelastung des Rohrnetzingenieurs führen und ist entsprechend vorzubereiten.
- Existieren klare Vorgaben des **Informationsmanagements**, wie Daten gesammelt werden, wie die Prozesse innerhalb des Unternehmens gegebenenfalls so angepasst werden, dass die Fortführung der Daten sicher gestellt ist und wer für die Datenqualität verantwortlich ist?
- Existiert ein **Geografisches Informationssystem (GIS)**? Dies ist i.d.R. heutzutage der Fall. Zu prüfen sind jedoch die Schnittstellen und die Aktualisierungsmechanismen, wie sie in der Regel bereits für die Aktualisierung der hydraulischen Berechnung existieren.
  - Sind **Altdaten** vorhanden, können z.B. die Baujahre der Netzabschnitte möglichst genau ermittelt werden?
  - Wo und in welcher Form stehen die **Schadensdaten** zur Verfügung? Sind diese bereits georeferenziert?
  - Wer ist für die Erarbeitung der Rehabilitationsstrategie verantwortlich?
  - Wird die Rehabilitationsstrategie mit eigenen Kollegen erarbeitet oder werden externe Dienstleister beauftragt?

**Die Tiefe der Betrachtung und die angestrebte Strategie ist anlagenspezifisch zu bestimmen, sie ergibt sich aus Wichtigkeit und vorhandener Datenqualität.**

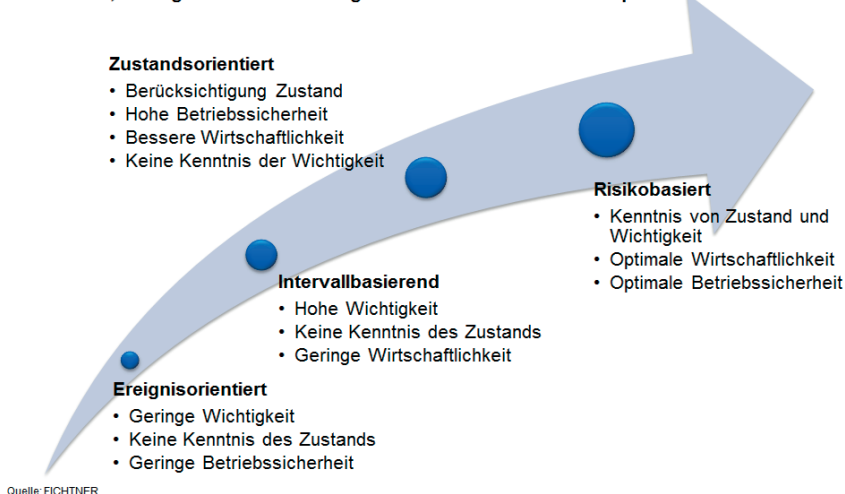


Abb. 6.10: Informationsbedarf in Abhängigkeit der gewählten Strategie



Die erforderliche Tiefe und Qualität der Datenerhebung hängt von der gewünschten Strategie ab. Diese variiert üblicherweise durchaus auch innerhalb eines Unternehmens je nach Anlagentyp.

Für Anlagentypen, für die von einer geringen Auswirkung auf die Unternehmensziele ausgegangen werden kann, ist die ereignisorientierte Strategie sinnvoll. Reparatur und Ersatz passieren erst im Falle eines Schadens. Die Erhebung detaillierter Daten erübrigt sich. Für wichtige Anlagentypen existieren teils Wartungs- oder gar Erneuerungsintervalle aus dem Regelwerk oder Unternehmensrichtlinien. Durch eine entsprechende Auswahl der Intervalle kann eine sehr hohe Versorgungssicherheit bei geringem Daten- und Managementaufwand gewährleistet werden. Die Wirtschaftlichkeit kann jedoch durch die Nutzung von Informationen zum Zustand bei der zustandsorientierten Strategie oder zu Zustand und Wichtigkeit bei der Risikobasierten Strategie deutlich erhöht werden.

### Netzdaten

Eine der Grundvoraussetzungen für die Bewertung des Netzes ist natürlich die Kenntnis über die das Netz bildenden Rohrleitungsabschnitte.

Für die Bildung von Leitungs- oder Netzabschnitten gilt eine einfache Regel:

Ein Netzabschnitt wird definiert durch seine Materialart, seine Nennweite, sein Baujahr und seine Länge. Diese „Kante“ wird durch zwei Knoten begrenzt. Knoten werden gesetzt beim Wechsel der obigen Daten, bei einem Abgang (bei Großabnehmern teils auch bei Hausanschlüssen) oder einem Straßenwechsel.

Es versteht sich, dass der Netzabschnitt ein zusammenhängender Teil des Netzes ist. Darüber hinaus gibt es gute Gründe, einen solchen zusammenhängenden Netzabschnitt trotzdem nochmals oder mehrmals zu teilen. So hat es sich bewährt, die Länge der Netzabschnitte auch bei Zubringerleitungen nur in Ausnahmen länger als 250-500 m zu wählen. Hydranten sollten nicht als Teilungsknoten fungieren, auch dann nicht, wenn sie nicht auf dem Versorgungsnetz sitzen.

Für die spätere Lokalisierung der Ergebnisse und eine zukünftige Aktualisierung der Daten sind Identifikationsdaten notwendig.

- Identifikationsdaten
  - Netzabschnitts ID (eindeutig, möglichst aus dem GIS übernommen, um zukünftige Aktualisierungen zu erleichtern)
  - Ort, Ortsteil, Straßenbezeichnung und Straßenschlüssel
  - Betriebsbereiche
  - Optional: Hinweise zur Lage, Lageskizzen, Plannummer
- Technische Angaben
  - Materialart und Wandstärke
  - Nennweite

- Länge
- Baujahr
- Leitungsart
- Verbindungsart
- Art der Umhüllung und des Innenschutzes
- Korrosionsschutz (KKS, Opferanoden)

Darüber hinaus sind die am Netzabschnitt angetroffenen Schieber, Hydranten und Hausanschlüsse zu erfassen. Sie werden nicht nur bei der Kostenberechnung berücksichtigt, sondern stellen auch eine Schwächung der Leitung dar, die bei der Zustandsbewertung zu berücksichtigen ist. Grundsätzlich sollten für alle Ausrüstungen, Sonderbauwerke und Hausanschlüsse eigene Dateien bzw. Tabellen angelegt werden. Diese Dateien können später für deren Bewertung genutzt werden.

Für die Eingabe aller Daten sollte ein führendes System bestimmt werden, um spätere Datenverluste zu vermeiden. In der Regel ist das für das Netz das GIS. Grundsätzlich stehen innerhalb der OptNet Netzdatenbank jedoch entsprechende Formulare zur Verfügung, damit die Datenerfassung auch ohne GIS oder ERP möglich ist.

### Verlegebedingungen

- Erdart
- Erdbewegungen und Senkungsgebiete
- Lage des Netzabschnittes im Straßenraum
- Art und Dicke des Straßenoberbaus
  - Lage des Netzabschnitts zum Grund- oder Schichtenwasser
  - Aggressivität von Boden bzw. Grundwasser
  - Verkehrsbelastung
  - Verlegetiefe des Netzabschnittes

In der *Abb. 6.11* wird ein typisches Formular für die Erfassung der Netzbestandsinformationen gezeigt. Dieser Beleg wird als Erfassungsformular innerhalb OptNet verwendet, wenn noch kein GIS zur Verwaltung der Daten zur Verfügung steht.

### Strangbildung

Die Länge einzelner Netzabschnitte innerhalb eines Wasser- oder Gasrohnetzes ergibt sich sowohl im GIS, als auch in Hydraulikprogrammen wie STANET i.d.R. durch technische Zwänge und die Art der Umsetzung innerhalb des jeweiligen Programms [Beck, 2013]. So unterscheiden manche Programme gar zwischen Strängen, Leitungsabschnitten oder Sektionen.

Rechnete man vor einigen Jahren noch mit Skelettnetzen mit sehr grob definierten Knoten und Strängen, so werden Rechenetze in letzter Zeit zunehmend detaillierter. Begünstigt durch die gestiegene Rechenleistung zeigt sich insbesondere bei STANET-Netzen der Trend dazu, sogar Hausanschlussleitungen wie Versorgungsleitungen zu berechnen, um noch bis zum letzten Meter des Rohrleitungssystems exakte Informationen zu Druck und Fließgeschwindigkeit auswerten zu können.

Abb. 6.11: Eingabeformular für Leitungsdaten (OptNet Netzdatenbank)

Dies führt regelmäßig dazu, dass innerhalb eines Netzes eine Vielzahl von Leitungsabschnitten mit extrem kurzen Längen erzeugt werden, während, besonders bei Zubringerleitungen, ggf. noch Leitungsabschnitte mit teils mehr als 1 km Länge auftreten. Während die Auswirkungen auf die Hydraulik in den relevanten Lastfällen i.d.R. vernachlässigt werden können, ergeben sich hieraus deutliche Auswirkungen auf Zustandsbewertung und Maßnahmenplanung, die geprüft und ggf. abgefangen werden müssen.

Für die Zustandsbestimmung ist die Anzahl der Schäden der Vergangenheit eine maßgebliche Information. Untersuchungen zeigen, dass Netzabschnitte, die in der jüngeren Vergangenheit Schäden hatten, eine deutlich höhere Ausfallwahrscheinlichkeit haben. Dies kann vermutlich darauf zurück geführt werden, dass auch die Reparatur eine Schwächung des Rohres ist und der neu verdichtete Bereich ein geändertes Setzungsverhalten zeigt, teils ist auch durch den Wasseraustritt eine Unterspülung erfolgt.

Wie in *Abb. 6.12* dargestellt, ist ein Schaden (mit Bezeichnung 10735) nach der Unterteilung nur noch einem kurzen Abschnitt zugeordnet. Von der insgesamt rund 60 m langen Leitung hatten nur rund 9 m die Information „vorhandener Schaden“. Diese 9 m würden somit logischerweise schlechter bewertet als die übrigen 51 m, obwohl davon ausgegangen werden kann, dass es sich letztlich um die gleiche Leitung mit identischen Randbedingungen handelt.

Wird auf Grundlage der Zustandsbewertung automatisiert eine Prioritätenliste vorgeschlagen, so kann dies, in Beispielen wie der *Abb. 6.12* zu dem unrealistischen Vorschlag führen, die besonders gefährdeten 9 m kurzfristig auszuwechseln, die restlichen 51 m jedoch noch länger zu nutzen.

Zwar ist eine automatisiert erstellte Prioritätenliste immer nur ein Vorschlag, der durch den Planer zu bewerten und anzupassen ist, sinkt so jedoch in so kleinglied-

rig unterteilten Netzen die Brauchbarkeit entsprechender Werkzeuge.

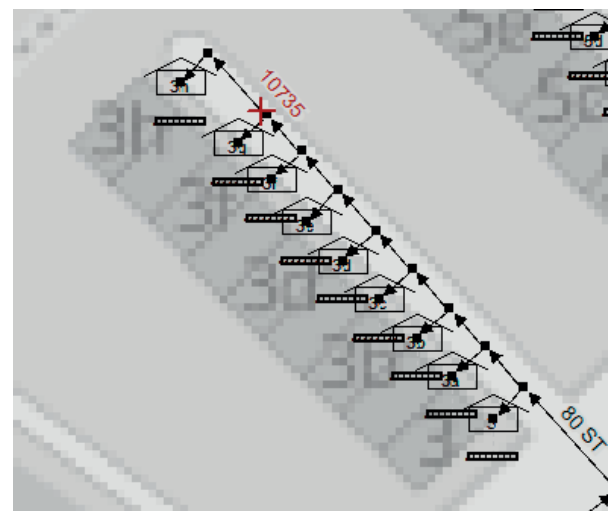


Abb. 6.12: Beispiel Schaden auf kurzen Netzabschnitten

Ähnlich problematisch erweisen sich übermäßig lange Netzabschnitte. Gerade Zubringerleitungen sind oftmals mehrere km lang. Liegen für diese keine detaillierten Informationen über abweichende Randbedingungen auf der Gesamtlänge vor, ist es zwar notwendig diese als gleich gefährdet einzustufen, spätestens für die Maßnahmenplanung wird jedoch eine Unterteilung sinnvoll.

Oftmals überschreiten die Kosten für die Gesamtleitung das jährliche Budget für Erneuerungsmaßnahmen, so dass eine Auswechslung in einem Jahr ohnehin nicht möglich wäre.

Als Lösung für die erläuterten Probleme vor allem mit extrem kurzen Netzabschnitten bei Zustandsbewertung und Maßnahmenplanung bietet OptNet die Möglich-

keit, Netzabschnitte, die eine gemeinsame übergeordnete ID haben, zu Strängen zusammenzufassen und gemeinsam zu berechnen. Bewusst wird hierbei darauf verzichtet, in die Hydraulik einzugreifen. Stattdessen wird bei Anwahl der entsprechenden Funktion eine separate Datei im Netzverzeichnis angelegt, in die die Stränge mit den gemittelten bzw. summierten Eigenschaften geschrieben werden. Liegt eine entsprechende Datei im Netzverzeichnis vor, greift OptNet bei der Bewertung automatisch auf diese zu.

Alle Ergebnisse der Bewertung stehen einschließlich der GIS-ID, hiermit wird es einfach, in einer frei zugänglichen Tabelle auf dem Datenbankserver, der in der Regel auch vom GIS-System verwendet wird. Hiermit wird es einfach, Ergebnisse direkt in das GIS zu übernehmen und darzustellen.

Zu beachten ist, dass bei der erstmaligen Bewertung auf Strangebene Auswirkungen auf die Zustandsbeurteilung zu erwarten sind: Insbesondere die vor der Kalibrierung ermittelte Zustandsnote wird, in dem verwendeten Beispiel, plötzlich für 60 m statt für 9 m schlecht (d.h. ZN 4 oder 5). Für das Gesamtnetz wird daher die Länge der als „bedenklich“ oder „verschlissen“ eingestuften Netzabschnitte steigen!

#### Schadensdaten

Für die Entwicklung einer Rehabilitationsstrategie ist die Kenntnis der historischen Schäden notwendig. Dabei wäre es ideal, wenn man diese über die gesamte Nutzungszeit zur Verfügung hätte. Dies ist aber nur in Ausnahmefällen gegeben, weshalb man sich meist mit den Schäden der letzten 5-10 Jahre begnügt. Die Schäden sind den Netzabschnitten zuzuweisen. Schäden an

Armaturen sollten ebenfalls erfasst werden, um eine spätere Beurteilung des Zustands der Armaturen zu gewährleisten, werden aber für die Bewertung der Netzabschnitte nicht berücksichtigt. Wie in *Tab. 6.2* dargestellt, werden die Schäden nach ihrer Wertung unterteilt.

Die als „relevant“ oder „Gewährleistungsschaden“ bezeichneten Schäden werden von OptNet direkt erkannt und den entsprechenden Leitungen zugerechnet. Schäden, die als historisch bewertet wurden, bzw. nicht zugeordnet werden konnten, können vom Anwender durch eine Erhöhung der Vorgabewerte bei der Kalibrierung berücksichtigt werden.

Aufgrund der Forderung der DVGW GW 120 auch „außer Betrieb“ genommene Netzabschnitte weiterhin im GIS zu verwalten, ist zu erwarten, dass die Datenbasis zukünftig dahingehend verbessert wird, dass historische Leitungsabschnitte mit berücksichtigt werden. Damit würden keine „historischen Schäden“ mehr auftreten, sondern für alle Schäden die kompletten Leitungsinformationen zur Auswertung zur Verfügung stehen.

Die Erfassung der Schäden kann in einfachen Tabellen (Excel, Access u.Ä.) oder im Betriebsmittelinformationssystem erfolgen. Günstiger ist das Anlegen der Schadensdaten im GIS, so dass Informationen zur Lokation vorliegen. Deshalb ist bei der Wahl des GIS darauf zu achten, dass eine komfortable Datenerfassungsmaske bereits vorliegt oder angelegt werden kann. Wurden die Daten nicht im GIS georeferenziert, kann dies nachträglich in STANET in Verbindung mit OptNet erfolgen.

Tab. 6.2: Wertung der Schäden

Schadensarten	Wertung der Schäden im Programm
Fremdeinwirkung	„Baggerschäden“ werden von OptNet ignoriert.
Armaturenschäden	Schäden an Armaturen werden von OptNet für die Bewertung der Leitungen ebenfalls nicht berücksichtigt.
Historische Schäden	Schäden, bei denen die Leitung zwischenzeitlich ausgewechselt wurde, werden in der Auswertung als „historisch“ bezeichnet. Diese Schäden werden von OptNet zunächst ignoriert, weil keine Angaben mehr zu Material und Baujahr der geschädigten Leitung vorliegen. Ihre Anzahl kann jedoch vom Bearbeiter bei der Abschätzung der Schadenserwartung berücksichtigt werden.
Hausanschlusschäden	Schäden an Hausanschlüssen werden bei der Bewertung der Versorgungsleitungen nicht berücksichtigt.
Relevante Schäden	Alle Schäden, die einer Leitung zugeordnet werden können und nicht aus einem der oben genannten Gründe ausgefiltert werden, gelten als „relevant“ und werden bei der Bewertung berücksichtigt.
Gewährleistungsschäden	Schäden, die in den 5 Jahren nach Verlegung der Leitung auftreten, werden als Gewährleistungsschäden gekennzeichnet. Sie werden in OptNet als relevante Schäden gewertet, können jedoch vom Bearbeiter bei der Abschätzung der Schadenserwartung abgezogen werden.



Folgende Informationen werden benötigt:

- Identifikationsdaten:
  - Schadens-ID, möglichst mit Bezug zur Abrechnung und zum GIS
  - ID des zugehörigen Netzabschnitt
  - Ort, Ortsteil, Straße, Straßenschlüssel und Hausnummer
  - XY-Koordinaten, falls vorhanden
  - Technische Informationen und Verlegebedingungen des Leitungsabschnitts
- Angaben zur Zustandsbeschreibung
  - Schadensdatum
  - Schadensursache
  - Schadensart
  - Zustand der Rohrwandung
  - Zustand der Umhüllung
  - Zustand der Auskleidung
  - Dicke der Ablagerungen/Inkrustationen
- Angaben zur Schadensbeseitigung
  - Reparaturtechnologie
  - Störungsdauer

Darüber hinaus können die Reparaturzeiten, die Kosten, die ausführende Reparaturkolonne u.a. erfasst werden. Die Reparaturkosten werden üblicherweise aus den Abrechnungsdaten z.B. in SAP ermittelt. Die Kenntnis der mittleren Reparaturkosten für die Materialklassen ist eine Voraussetzung für die Optimierungsrechnung. Sollten die Schadensbeseitigungen nicht an Dritte vergeben werden, ist die Ermittlung der tatsächlichen Kosten häufig nicht ohne Probleme.

Auch die Folgekosten, wie z.B. durch Unterspülung von Straßen sollten geprüft werden. Je nach Baugrund und Straßenklasse kann die Beachtung der Gefährdung von Fremdeigentum die Priorität deutlich verändern.

Analoge Informationen lassen sich bei verschiedenen Anlässen gewinnen, so z.B. bei Fehlschachtungen, bei sonstigen Baumaßnahmen sowie bei Armaturenwechsel, Rehabilitationsmaßnahmen und natürlich bei der gezielten Erkundung.

Im Rahmen des Informationsmanagements sind die Prozesse bei Schadensbehebung u.Ä. dahingehend zu prüfen, dass alle erfassten Daten im GIS landen und Widersprüche zwischen den Daten der Erfassung vor Ort und dem vorhandenen Leitungskataster geprüft und aufgelöst werden.

### 6.2.1.9 Hydraulische Rohrnetzrechnung

Die Rohrnetzrechnung ist eine Voraussetzung für eine optimale Dimensionierung des Netzes und für die Führung des Netzbetriebs. Alle Überlegungen zur Rehabilitation werden geprägt durch die Frage nach der richtigen Dimensionierung. Dies gilt nicht nur für den Neubau, sondern auch für die laufende Rehabilitation. Wird der Verbrauchsrückgang der letzten Jahrzehnte für eine Durchmesserreduzierung genutzt, so können ohne Einbußen der Versorgungsqualität z.B. durch den Einsatz von Langrohrrelining in der Regel deutlich über 20 % der Investitionskosten eingespart werden.

Die Rohrnetzrechnung benötigt wesentliche Teile der Daten, welche bereits beschrieben wurden. Deshalb

bietet es sich an, die technische und die hydraulische Analyse aufeinander aufbauen zu lassen.

Darüber hinaus werden jedoch viele weitere Informationen benötigt. Die wichtigsten sind:

- Einspeiseknoten mit Einspeisedruck und -menge
- Behälter und Pumpen,
- Rauheitswerte
- Verbrauchsstruktur und Anordnung im Netz, üblicherweise heutzutage aus der Verbrauchsabrechnung zählerscharf gewonnen
- Verbrauchsganglinien
- Druck- und Durchflussmesswerte an ausgewählten Netzabschnitten

Aus der hydraulischen Berechnung werden für die Rehabilitationsplanung folgende Daten übernommen:

- maximaler, minimaler und durchschnittlicher Durchfluss jedes Netzabschnitts
- maximale, minimale und durchschnittliche Fließgeschwindigkeit jedes Netzabschnitts
- mittlerer und minimaler Druck an den Entnahmeknoten des Netzabschnitts
- Druckabfall je Netzabschnitt
- Verweilzeit bei mittleren Verbrauchssituationen je Netzabschnitt
- Anzahl der Knickpunkte
- Rauheitswert

Die Informationen werden sowohl zur Bestimmung optimaler Durchmesser als auch zur Netzbewertung genutzt. So dienen die Rauheiten aus der Kalibrierung der Berücksichtigung von Ablagerungen. Alternativ kann, anhand von Material, Alter und Fließgeschwindigkeit eine Abschätzung der Ablagerungsgefährdung getroffen werden.

Durchfluss und Verbrauch werden für die Bewertung der Bedeutung der Netzabschnitte genutzt. Um belastbare Aussagen zu erhalten, ist die Durchführung einer n-1 Analyse vorzuziehen. Nur so können die Auswirkungen eines Leitungsausfalls eindeutig bestimmt werden.

### Betriebswirtschaftliche Informationen

Ziel dieser Analyse ist die Minimierung von Reparaturkosten und Investitionsaufwendungen über den gesamten Lebenszyklus des Netzes hinweg. Neben den technischen Erkenntnissen zu Zustand und Ausfallwahrscheinlichkeit sind hierzu diverse betriebswirtschaftliche Daten zu ermitteln. Diese Informationen lassen sich aus den Jahresverträgen, Leistungsverzeichnissen, dem Anlagenverzeichnis und aus betriebswirtschaftlichen Abrechnungen gewinnen.

### Daten zur Bestimmung des Wiederbeschaffungswerts

Im Unterschied zu den am Markt befindlichen Kalkulationsprogrammen für die Vorabermittlung der Investitionsaufwendungen oder zur Erstellung eines Leistungsverzeichnisses muss im Falle der Bestimmung der optimalen Rehabilitationsstrategie die Kalkulation mit

deutlich weniger Informationen auskommen. Dafür ist aber das gesamte Rohrnetz zu berechnen.

Als Orientierung gilt, dass in einem GIS-System ca. 20.000 Netzabschnitte auf 1.000 km Rohrnetz kommen. Bei einer analogen Datenhaltung sind immerhin noch ca. 12.000 Abschnitte auf 1.000 km Rohrnetz zu erwarten.

Folgende Informationen werden immer benötigt: Länge, Materialart, Nennweite und Baujahr sowie die Identifikationsdaten.

Die oben genannten Informationen stellen das Grundgerüst der Kalkulation dar und sollten jedem GIS problemlos entnommen werden können. Als Schnittstelle des GIS zu peripheren Programmen dient in der sichersten und einfachsten Form eine ASCII-Schnittstelle, also die Ausgabe der Daten im Textformat. Leider bieten viele GIS Systeme weiterhin im Auslieferungszustand keine offenen Schnittstellen an. Zur Datenübernahme sind dann oft spezielle Schnittstellen oder Dienstleistungen zu erwerben.

Neben diesen Daten lassen sich üblicherweise auch die Informationen über Anzahl und Art der eingebauten Schieber, Klappen, Ventile, Hydranten und Anbohrventile für Hausanschlüsse ausspielen.

Informationen über die Verlegebedingungen (Lage, Tiefe, Straßenbefestigung, Erdart, Grundwasserandrang) werden im GIS selten vorgehalten. Sie sind in einer Fachdatenbank zu verwalten. Die Daten werden aus fremden Datenbanken gekauft, aus den Schadensbelegen zugespielt oder für die zu untersuchenden Bereiche als Erfahrungswerte übernommen.

Da i.d.R. die Zuordnung der Leitungen zu Straßen, durch die Onlinekartographiefunktionen von STANET kein Problem mehr darstellt, können so, durch eine einfache Prüfung der Straßenliste auch Informationen zur Verkehrsbelastung zugeordnet werden. Dies wird von

OptNet automatisch genutzt, um Annahmen zu Oberbau und Deckschicht der Straße zu treffen, wenn keine genaueren Angaben vorliegen.

Eine weitere schnelle Möglichkeit der Datenanreicherung ist mit STANET und einem entsprechend vorbereitetem Kartenmaterial möglich. So können Erdklassen, Grundwasserstände, Senkungsgebiete u.Ä. schnell mit einem Lasso markiert und in die Datenmasse eingefügt werden. So können Erfahrungswerte, die nicht detailliert genug vorliegen, um im GIS vorgehalten zu werden, einfach erfasst werden.

Die eigentliche Kalkulation benötigt nun noch die Kostenparameter. Die Aktualisierung dieser muss während der Kalibrierungsphase und später, bei erkennbaren Abweichungen, jederzeit möglich sein.

Die Aufwandsparameter sind:

- Material- und Montageaufwand nach Materialart und Nennweite pro m, Analog der Aufwand für die Schieber, Klappen, Ventile, Hydranten und Hausanschlussarmaturen
- Aufwand für Erdarbeiten, Erdaustausch und Transport
- Aufwand für Straßenbau nach Bauklasse
  - Aufwand für Wasserhaltung pro m
- Gemeinkostenzuschläge und Projektierungskosten (% der Baukosten)
- Aufwand für Rehabilitationsverfahren, wie
  - Langrohrrelining mit/ohne Ringraum
  - Berstlining
  - Press-/Ziehverfahren
- Aufwand für Sanierungsverfahren wie Zementmörtelauskleidung, Gewebeschlauchrelining, Muffendichtung etc.

Für die Kalibrierung der Kosten auf das geltende Preisniveau des Unternehmens werden noch Vorgaben für die Gesamtkosten nach Nennweite benötigt.

Abb. 6.13: Beispiel für die Einstellung globaler Vorgaben für die Kostenberechnung

### Daten zur Bestimmung der Reparaturkosten

Viele der für die Kalkulation der Reparaturkosten benötigten Angaben sind mit den oben genannten Aufwandsparametern identisch. Neu hinzukommen:

- Reparaturmaterialkosten
- Stundenverrechnungssätze

Auch werden Vorgaben für die mittleren Reparaturkosten pro Nennweite benötigt, um das aktuell geltende Preisniveau abzubilden.

Die Daten werden aus den üblichen Betriebsauswertungen entnommen, können in bestimmten Fällen auch für den einzelnen Netzabschnitt nachgewiesen werden.

### Sonstige Informationen

Neben den bereits genannten Informationen sind weitere Daten für die Bewertung der Rehabilitationsstrategie notwendig:

- Anzahl der versorgten Einwohner
- Wasserverkauf und Wasserverluste in m<sup>3</sup>/a bzw. Gasmenge in kWh
- Wasser-, bzw. Gaspreis und Selbstkostenpreis in EUR/m<sup>3</sup> bzw. EUR/kWh
- AfA und Restbuchwertentwicklung der letzten 20 Jahre in EUR
- Abschreibungsdauern
- Zinsfuß für Eigen- und Fremdkapital
- Stärke und Häufigkeit von Inkrustationen/Ablagerungen
- Vorherrschende Reparaturtechnologie

Mit diesen Daten sind die Voraussetzungen für die Bewertung der Netze geschaffen. Trotz des erheblichen Umfangs an erforderlichen Daten ist bis jetzt kein Beispiel bekannt, bei dem eine Bewertung aufgrund fehlender Daten nicht möglich war. Es ist aber regelmäßig notwendig, in gewissem Umfang Datenanreicherungen durchzuführen.

Die Netzmodellierung erfordert die Zusammenführung von Daten aus vielen Quellen. Idealerweise ist, zumindest für das Netz, das GIS-System das führende System. Alle Leitungsdaten und die grundlegenden technischen Daten der Anlagen werden zentral abgelegt und stehen für alle Anwender zur Recherche zur Verfügung.

Detaillierte technische Stammdaten und Konfigurationsdaten sind oftmals in einem Betriebsmittelinformationssystem (BIS), oder im ERP (z.B. SAP). Bewertungsdaten wie z.B. Inspektionsergebnisse und Wartungstermine befinden sich meist im ERP (z.B. SAP). Dazu kommen selbstverständlich die Ergebnisse der hydraulischen Berechnung. Findet diese mit STANET statt, so stehen die Daten OptNet direkt zur Verfügung, ansonsten sind die Ergebnisse ebenfalls zu exportieren und z.B. als CSV- oder Exceldateien zur Verfügung zu stellen. Für die Erstbewertung liegen meist noch zusätzliche Informationen in Form von Exceltabellen, handschriftlichen Einträgen im Lageplan etc. vor.

Die Notwendigkeit der Datenverschneidung, -qualitätsprüfung und ggf. Korrektur und -aufbereitung erfordert die Einrichtung einer Netzdatenbank als Grundlage der

Bewertung. Wichtig ist, die gewonnenen Erkenntnisse in die Quellsysteme einfließen zu lassen. Eine fortwährende Dateneingabe in der OptNet Netzdatenbank sorgt sonst dafür, dass noch ein Datenpool mehr im Unternehmen existiert und es vermehrt zu Widersprüchen in den Daten kommt.

OptNet unterstützt den Nutzer durch Schnittstellen zu STANET, das wiederum Daten aller gängigen GIS-Systeme lesen kann, eine zertifizierte SAP-Schnittstelle und die Möglichkeit, direkt Exceldateien einzulesen. Das enthaltene Update-Verfahren ermöglicht die Aktualisierung der Daten, wobei erkannt wird, ob in dem führenden System (z.B. GIS) Änderungen durchgeführt wurden. Ansonsten werden ggf. die Korrekturen der letzten Aufbereitung übernommen.

Durch die Speicherung aller Ergebnisdaten in einer zentralen Datenbank (Oracle oder PostgreSQL) wird sichergestellt, dass Mitarbeiter immer die gleichen, aktuellen Daten auch nutzen, wenn sie unterschiedliche Sichten auf die Daten benötigen (z.B. kaufmännisch/technisch oder strategisch/operativ). Gleichzeitig stehen die Daten somit für das GIS oder weitere Drittsystem offen zur Verfügung. In SAP können, über die zertifizierte Schnittstelle, direkt Meldungen angelegt werden, um Maßnahmenvorschläge oder Bewertungsergebnisse direkt den Anlagen zuzuordnen. Weiterhin können durch den Endanwender über OptNet-L direkt frei definierbare Auswertungen nach Excel exportiert werden.

#### 6.2.1.10 Zustand

##### Allgemeines zur Bewertung

Nach der Sammlung der notwendigen Datengrundlagen kann die Bewertung von Zustand, Wichtigkeit und Kosten erfolgen. Zusätzlich wird eine Kalibrierung der Widerstandsbeiwerte (Rauhigkeit) des Netzes für das hydraulische Rohrnetzrechnungsprogramm notwendig. Auf diese Kalibrierung wird nicht explizit eingegangen, auch wenn sie Voraussetzung für die Durchmesseroptimierung ist.

Das für die Ergebnisdarstellung genutzte Demo-Netz stellt ein tatsächlich existierendes Wasser-Netz im Innenstadtbereich einer deutschen Großstadt dar.

Die Bewertung der Netzabschnitte erfolgt in zwei Schritten:

- Im ersten Schritt wird eine Abschätzung des Zustands aufgrund aller in den übergebenen Daten vorhandenen Einflussfaktoren und den in OptNet gespeicherten Erfahrungswerten durchgeführt. Diese Zustandsnote vor Kalibrierung zeigt den unter den Bedingungen für einen solchen Netzabschnitt zu erwartenden Zustand. Hierbei werden die bisherigen Schadensereignisse an diesem Netzabschnitt berücksichtigt, jedoch keine Informationen von anderen Netzabschnitten mit gleichen Randbedingungen übernommen.
- Im zweiten Schritt erfolgt eine Kalibrierung der Schadensfunktionen anhand der bisherigen Schäden in der Anlagengruppe. Hierbei werden die Leitungen nach Rohrmaterialgeneration und



Nennweitengruppe in Gruppen unterteilt, von denen anzunehmen ist, dass sie bei der Herstellung hinreichend ähnlich waren. Wenn ihr Alterungsverhalten jetzt voneinander abweicht, so liegt dies vermutlich an den im ersten Schritt ermittelten Einflussfaktoren. Durch die Kombination der Sicht auf die Einzelleitungen und der Sicht auf die Gesamtgruppe wird so ein kalibriertes, belastbares Alterungsmodell aufgebaut. Aufgrund der teils kleinen Gruppen kommt es regelmäßig vor, dass die Informationen nach Kalibrierung wenig aussagekräftig sind.

Bei den für die Rehabilitationsplanung relevanten Gruppen, die in schlechtem Zustand sind und noch eine relevante Menge Leitungen beinhalten, kann durch die Kalibrierung eine sinnvolle Aussage getroffen werden. Bei kleinen Gruppen mit wenig oder gar keinem Schaden ergibt sich jedoch keine Aussage. In diesen Fällen ist die Bewertungsnote vor Kalibrierung relevant.

### Zustandsbewertung anhand der Einflussfaktoren

Ziel der Zustandsbewertung in OptNet ist die Ermittlung von **Alterungsfunktionen für jeden einzelnen Netzabschnitt**. Damit steht nicht nur eine Rangfolge der Gefährdung der Leitungen zum aktuellen Zeitpunkt zur Verfügung sondern es ist eine exakte Darstellung des Alterungsverhaltens jedes einzelnen Netzabschnittes über die Zeit möglich.

Die von OptNet verwendete Alterungsfunktion lautet:

$$S_{\text{berechnet}} = a_0 + ((a'_1 \cdot F_1 \cdot F_2 \cdot \dots \cdot F_n) \cdot T^2) \cdot l \quad (6.3)$$

In dieser Funktion sind

- $a_0$  Korrekturwert zur Berücksichtigung von Einlaufschäden (Montagefehler)
- $a'_1$  Vorgabewert für den Anstieg der Alterungsfunktion (u.a. abhängig vom Material)
- $F_1 \dots F_n$  Einflussfaktoren (bei fehlenden Angaben = 1,0)
- $T$  Alter
- $l$  Länge des Abschnittes [km]

OptNet kann also eine Vielzahl von Einflussfaktoren berücksichtigen. Diese Einflussfaktoren gehen als Faktoren  $F_1$  bis  $F_n$  in die obengenannte Formel ein. Die Werte  $a_0$  und  $a'_1$  sind Vorgabewerte, die auf der Grundlage der bisherigen Untersuchung von mehreren Tausend Kilometern Wasserrohrnetzen ermittelt wurden und als Konstante eingehen.

Multipliziert man die Faktoren  $F_1$  bis  $F_n$  mit  $a'_1$  ergibt sich der Anstieg der Funktion zu:

$$a_1 = a'_1 \cdot F_1 \cdot F_2 \cdot \dots \cdot F_n$$

und die Formel vereinfacht sich zu:

$$S_{\text{berechnet}} = a_0 + (a_1 \cdot T^2) \cdot l \quad (6.4)$$

Die Anzahl an Schäden, die pro Leitungsabschnitt zu erwarten sind, hängt somit in erster Linie von dem Wert

$a_1$  ab. Dieser stellt die Steigung der Schadensfunktion dar.

Um eine belastbare Grundlage für die Höhe der unterschiedlichen Faktoren zu erhalten, wurden von Jürgen Ahrens in den Jahren 1976 und 2006 im Rahmen von zwei Fragebogenaktionen Praktiker aus dem Wasserfach gebeten, die Wichtigkeit von Faktoren zu bewerten.

Hierbei wurde berücksichtigt, dass die meisten Einflussfaktoren nur im Zusammenhang betrachtet werden können: Die Wichtigkeit der Oberflächenbefestigung hängt von der Verkehrsbelastung ab, die Wichtigkeit von aggressivem Grundwasser hängt vom Rohrmaterial ab. Durch Auswertung von mehr als 30.000 Antworten konnten für 40 Einflussfaktoren Vorgabewerte ermittelt werden, die sich bei der Bewertung der Wasser- und Gasnetze bei einer Vielzahl bereits durchgeführter Projekte in der Vergangenheit bewährt haben.

Die Anzahl der benutzten Einflussfaktoren hängt davon ab, welche Informationen zur Verfügung stehen. Um eine Bewertung durchführen zu können, müssen mindestens folgende Angaben vorhanden sein:

- Materialart, Alter, Nennweite und Länge der Leitungen
- Anzahl, Zeitpunkt und Ort der Schäden

Durch die Angabe weiterer Faktoren, wie zum Beispiel Rohrschutz, Bodenart, Grundwasser, Verkehrsbelastung und weiterer, wird die Genauigkeit der Bewertung weiter verbessert.

Das Ergebnis dieser Verschneidung der vorgefundenen Detaildaten mit den in OptNet vorhandenen Erfahrungswerten ist eine Zustandsnote, die den erwarteten Zustand darstellt, sowie ein Vorgabewert für die individuelle Schadensfunktion des Netzabschnitts, der in Folge durch die Kalibrierung auf die tatsächlichen Netzverhältnisse angepasst wird.

### Kalibrierung der Schadensfunktionen

Die für jeden Netzabschnitt individuell anhand der vorliegenden Einflussfaktoren ermittelten  $a_1$  – Werte werden durch eine Kalibrierung auf die tatsächlich – anhand der Schäden des Vorjahres – zu erwartenden Schäden an die örtlichen Verhältnisse angepasst.

Durch die Vorgabefaktoren wird somit keine direkte, pauschale Aussage über die Alterung der Netzabschnitte getroffen, sondern nur eine Aussage darüber, welche Abschnitte gefährdeter sind als Andere. Eine Ausfallwahrscheinlichkeit, die als absolute Zahl angegeben werden kann, sowie die Möglichkeit einer Schadensprognose, ergeben sich erst durch die Kalibrierung.

Die Kalibrierung erfolgt immer in Gruppen, die anhand von Rohrmaterialgeneration und Durchmesser bei Wasser- und Gasrohrnetzen gebildet werden. Für Gas- und Wasserrohrnetze werden bis zu 25 Rohrmaterialgenerationen aus den Angaben des Materials und des Baujahres aus der Datenbank gebildet.

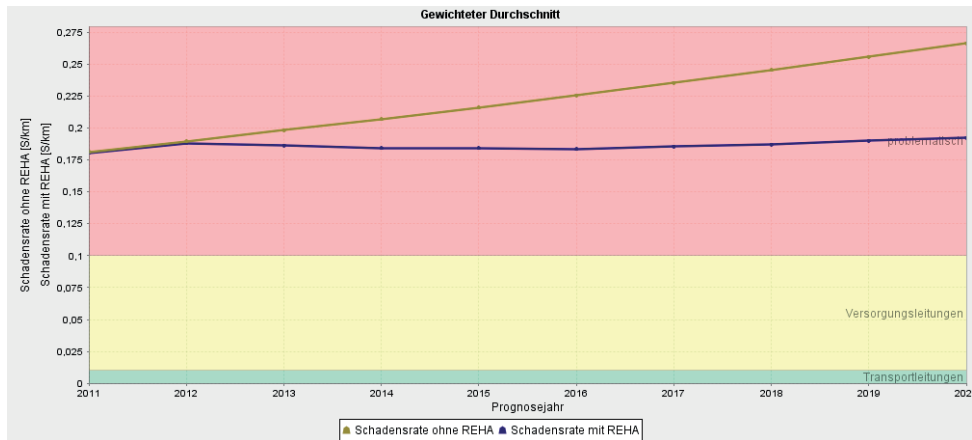


Abb. 6.14: Schadensprognose mit und ohne Erneuerung (Beispiel)

Damit werden die im Laufe der Zeit geänderten Herstellungstechnologien berücksichtigt (z.B. Übergang von Sandguss zu Schleuderguss). Dazu werden 3 Durchmesserklassen gebildet (bis DN 80, von DN 80 bis DN 200 und größer DN 200), da die Erfahrung zeigt, dass Netzabschnitte mit kleineren Durchmessern höhere Schadensraten aufweisen (siehe Kap. 3.2.1.8 Einteilung der Rohrmaterialien nach Generationen).

Nach der oben erläuterten Kalibrierung der  $a_1$  – Werte steht für jeden Netzabschnitt eine individuelle Alterungsfunktion zur Verfügung, die eine Berechnung der Schadenswahrscheinlichkeit für die Folgejahre ermöglicht.

Auf Grundlage der ermittelten Schadensfunktionen kann eine Prognose der Schadenserwartung für den Prognosezeitraum durchgeführt werden:

Die Qualität der Zustandsbestimmung wurde bei den Berliner Wasserbetrieben für das Medium Wasser nach-

gewiesen [Maler und Ahrens, 2007]. Über einen Zeitraum von 10 Jahren kam es zu einer minimalen Abweichung der vorhergesagten Schäden um 4,4 % (über den gesamten Prognosezeitraum!). Zu beachten ist allerdings, dass die Berliner Wasserbetriebe 1997 über fast alle Schäden der Jahre 1977 bis 1996 verfügten.

Das Ergebnis der technischen Bewertung kann als Ausfallwahrscheinlichkeit grafisch dargestellt werden. Um den Vergleich mit dem erwarteten Zustand zu erleichtern, wird die Ausfallwahrscheinlichkeit in Intervalle eingeteilt und als „Zustandsnote kalibriert“ angegeben. Dadurch werden sofort besonders gefährdete Bereiche sichtbar:

Selbstverständlich kann die Ausfallwahrscheinlichkeit, ebenso wie auch alle anderen ermittelten Werte, jederzeit exportiert und damit zum Beispiel in ein GIS-System eingelesen werden.

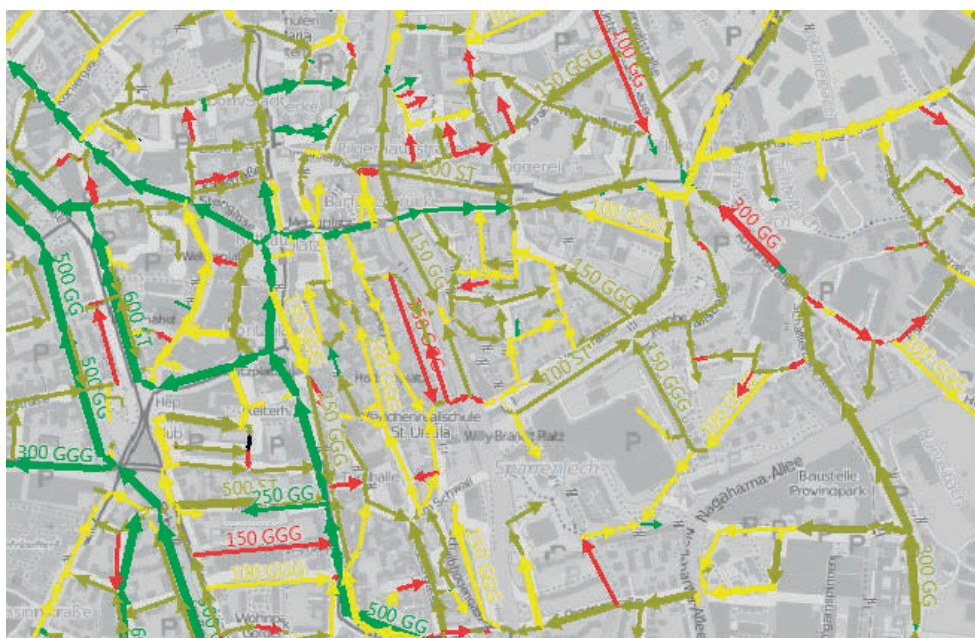


Abb. 6.15: Einfärbung des Netz nach der kalibrierten Zustandsnote

### Wichtigkeit

Eine Analyse des internen und externen Kontextes des Unternehmens, sowie darauf aufbauende Beziehungen zu den Stakeholders und Erwartungen der Stakeholder, wie in ISO 55000 aufgelistet, ergibt eine Vielzahl von Zielvorgaben für das Asset Management. Wie oben dargestellt, werden diese üblicherweise getrennt in Zustand und Wichtigkeit ermittelt.

Unter dem Aspekt der Wichtigkeit werden somit unterschiedliche Zielvorgaben wie Versorgungssicherheit, Compliance, aber auch soziale Ziele wie Image zusammengefasst. Die im Einzelnen zu berücksichtigenden Zielvorgaben sind jeweils individuell aus den Unternehmenszielen abzuleiten. Um den Einstieg in dieses komplexe Thema zu vereinfachen, bietet OptNet einige vordefinierte Bewertungsnoten an, die Aspekte der Versorgungssicherheit und der Wirtschaftlichkeit automatisiert ermitteln. Die ermittelten Werte können in OptNet-A durch den Nutzer weiter verwertet und mit eigenen Bewertungen kombiniert werden.

Für jeden Bewertungsfaktor werden Einzelfaktoren entsprechend der ff. Tabellen gebildet. Einzelwerte werden jeweils auf Bewertungsnoten von 1–100 gemappt. Können Einzelwerte nicht gebildet werden (z.B. keine Hydraulik vorhanden), werden diese auf 0 bzw. 1 gesetzt. Zum Schluss werden die Einzelwerte mit den entsprechenden Anteilen multipliziert und summiert. Die Bewertungsnote „BW\_RANG“ wird aus den 4 Einzelnoten entsprechend dem vom Anwender gewählten Verhältnis gebildet.

### Ermittlung der Bedeutung für die Versorgungssicherheit (BW\_BEDEUT)

Mit „BW\_BEDEUT“ wird die Bedeutung der Leitung anhand der angeschlossenen Kunden bzw. Abnahmen ermittelt. Wurde eine n-1 Analyse (bzw. in STANET die Funktion „kritische Leitungen bestimmen“) durchgeführt, sollte vorzugsweise die „BW\_SICHERH“ verwendet werden.

Tab. 6.3: Ermittlung der Versorgungssicherheit

WERT	Bedeutung	Anteil
DN	Nennweitenklasse	10 %
Verbrauch	Verbrauch der angeschlossenen Hausanschlusszähler im Verhältnis zum Gesamtverbrauch.	30 %
K_VERBRAUCH	aus n-1 Analyse mit OptNet.	10 %
IMAGE	Imageverlust. Kann vom Anwender mit ff. Werten befüllt werden: 1: kein Imageschaden, 2: gering, 3: spürbar, 4: hoch	5 %
FRISIKO	Risikobeurteilung durch Anwender. Sinnvolle Werte zwischen 0 (kein) und 9 (sehr hoch)	10 %
ANHA	Anzahl der Hausanschlüsse.	5 %
VERBRAUCHER KLASSE	Angabe der Klasse angeschlossener Verbraucher. 1: Sonderkunde, 2: Großkunde, 3: normaler Kunde	10 %

### Bewertung der Wirtschaftlichkeit (BW\_AUFWAND)

Bewertung des Effekts einer Auswechslung. Berücksichtigt werden derzeitiger Aufwand, Amortisationszeit, Restnutzungsdauer, Investitionskosten sowie eine mögliche Reduktion der Abschreibung.

Tab. 6.4: Wirtschaftlichkeit

WERT	Bedeutung	Anteil
REP-JAHR/WBW	Quotient aus Reparaturkosten zu Wiederbeschaffungswert der Leitung	30 %
RESTND	Restnutzungsdauer (aus Optimaler Nutzungsdauer ermittelt)	20 %
AMOR	Amortisationsdauer	30 %
WBP	Verändert sich der Einheitspreis für die Leitung (z.B. nach Durchmesseroptimierung), führt ein geringes Verhältnis aus WBP_NEU zu WBP zu einer Herabstufung, weil dadurch geringere Abschreibungen erzielt werden.	10 %
WBP_NEU/WBP	Risikobeurteilung durch Anwender. Sinnvolle Werte zwischen 0 (kein) und 9 (sehr hoch)	10 %

### Bewertung der Wichtigkeit für die Versorgungssicherheit (BW\_SICHERH)

Bewertung der Auswirkungen auf Versorgungssicherheit anhand der Ergebnisse einer n-1 Analyse. Berücksichtigt eine n-1-Bewertung mit OptNet wenn vorhanden, sonst die Ergebnisse aus „kritische Leitungen bestimmen“ mit STANET. Da bei STANET viele Leitungsabschnitte ignoriert werden, wird automatisch für Leitungen für die z.B. die Anzahl betroffener Abnehmer 0 ist die Anzahl der Hausanschlüsse (ANHA aus Update), bzw. statt der nicht gelieferten Menge der Durchfluss der Leitung genommen, so dass sich immer eine Abstufung der Leitungsabschnitte ergibt. Wenn keine n-1 Analyse durchgeführt wurde, ist „BW\_BEDEUT“ i.d.R. aussagekräftiger. Die Zusammensetzung der Bewertungsnote hängt davon ab, ob die n-1 Analyse mit OptNet oder STANET durchgeführt wurde.

Bewertung, wenn n-1 Analyse mit OptNet durchgeführt wurde:

Tab. 6.5: Bewertung der Versorgungssicherheit

WERT	Bedeutung	Anteil
M_UMKEHR	Länge Leitungen, bei denen eine Umkehr der Fließrichtung erfolgt.	10 %
M_MINDRUCK	Länge Leitungen, bei denen der Mindestdruck unterschritten wird.	50 %
M_MAXFLUSS	Länge Leitungen, bei denen die maximale Fließgeschwindigkeit überschritten wird	10 %
AUSFALLDAU	Ausfalldauer	20 %
Sperrdruck	Knotendruck bei Sperrung.	10 %





Abb. 6.16: Auswirkungen auf die Versorgungssicherheit („kritische Leitungen bestimmen“ in STANET)

Bewertung, wenn kritische Leitungen mit STANET ermittelt wurden:

Tab. 6.6: Bewertung kritischer Leitungen

WERT	Bedeutung	Anteil
ANHA	Anzahl angeschlossener Hausanschlussleitungen. (unabhängig von n-1 Analyse)	10 %
CRITICHYD	Verbrauch der unterversorgten Abnehmer im Vergleich zum Gesamtverbrauch.	10 %
CRITICHYD	Anzahl unterversorgter Sonderabnehmer	20 %
CRITICTSM	Verbrauch der unterversorgten Abnehmer im Vergleich zum Gesamtverbrauch.	30 %
CRITSOTOP	Anzahl unterversorgter Sonderabnehmer	30 %

Die Bewertungsnoten stehen auch in STANET, bzw. für das GIS zum Einfärben des Netzes zur Verfügung.

### 6.2.1.11 Kosten

#### Kalibrierung der Wiederbeschaffungswerte

Eine optimale Rehabilitationsstrategie versucht, den Zeitpunkt zu ermitteln, an dem die Erneuerung einer

Leitung günstiger ist als wiederholte Reparaturen. Dazu sind neben den technischen Untersuchungen auch Wertbestimmungen unerlässlich.

Der Wiederbeschaffungswert des Netzes zum geltenden Preisniveau ist eine der Voraussetzungen für die Bestimmung der optimalen Nutzungsdauer.

Die Angaben der Anlagenbuchhaltung sind nur begrenzt aussagefähig, da die zugrunde liegenden Anschaffungskosten oftmals noch völlig andere Randbedingungen widerspiegeln: So wurden die Leitungen üblicherweise bei Ersterschließung gebaut, während zwischenzeitlich Mehrkosten für Straßenaufbruch u.Ä. zu erwarten sind. Hinzu kommen Sonderfälle, wie Ortsteile, die für 1 EUR übernommen wurden u.Ä., so dass die historischen Anschaffungskosten laut Anlagenbuchhaltung immer weit unter dem Wert liegen, der sich ergibt, wenn man z.B. über den Index des statistischen Bundesamtes von realistisch ermittelten Wiederbeschaffungswerten auf das Baujahr zurück rechnet.

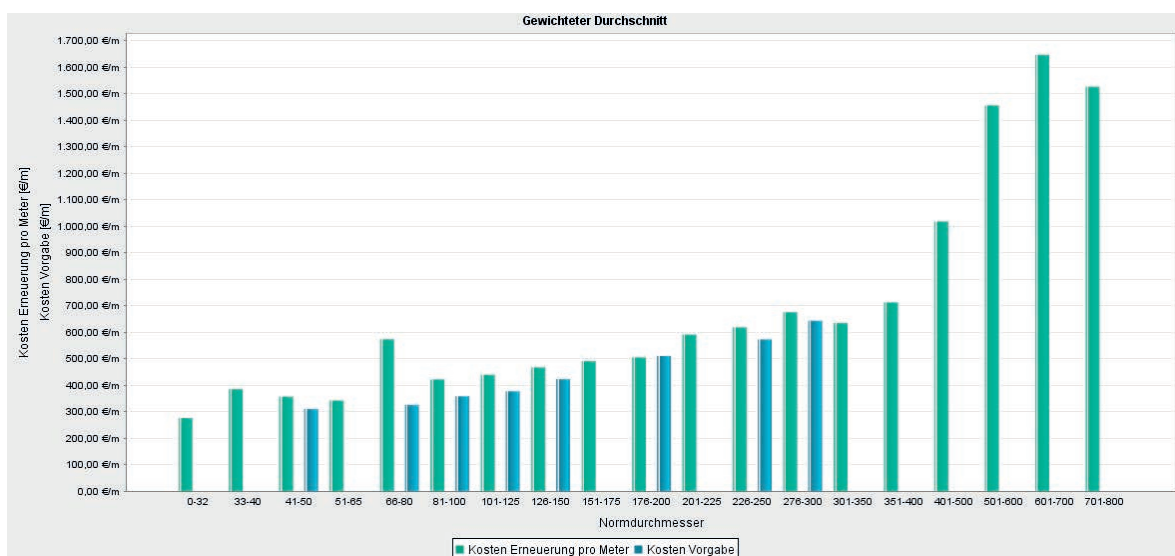


Abb. 6.17: Kontrolle des Kalkulationsergebnisses

Der Bewertungssoftware OptNet steht ein internes Kalkulationsprogramm zur Verfügung, welches das in Abhängigkeit von der Informationsbasis und der durch den Nutzer vorgegebenen Preisbasis eine ausreichend genaue Kalkulation der Wiederbeschaffungswerte und der Reparaturkosten vornimmt.

Die Abb. 6.17 zeigt die Vorgaben des Unternehmens und das Ergebnis der Kalkulation, nur nach Nennweitengruppen differenziert. Für die Kontrolle der Kostenparameter ist dies in vielen Fällen bereits ausreichend.

Da der Wiederbeschaffungswert für jeden Netzabschnitt unter Berücksichtigung der Ausrüstungen und Hausanschlüsse bestimmt wird, ist der Nachweis des Gesamtwertes des Netzes nunmehr aufwendig.

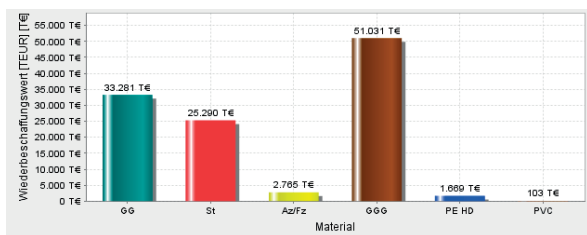


Abb. 6.18: Wiederbeschaffungswert des Netzes nach Material

### Kalibrierung der Reparaturkosten

Ebenso werden auch die Reparaturkosten kalibriert. Abspürkosten entsprechend der ermittelten Schadensrate pro Straße bzw. Kosten durch Wasserverluste werden automatisch mit berücksichtigt.

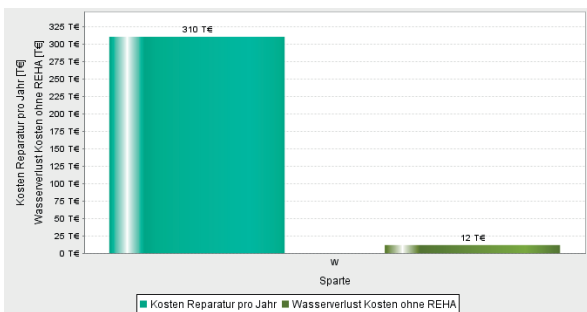


Abb. 6.19: Kosten für Reparatur und enthaltene Wasserverlustkosten

### 6.2.1.12 Übliche Nutzungsdauern

Für die Bestimmung der Alterungsfunktionen werden oftmals die Nutzungsdauern der Vergangenheit herangezogen. Diese üblichen Nutzungsdauern unterscheiden sich jedoch maßgeblich von optimalen Nutzungsdauern. Sie werden bei weit mehr als der Hälfte der Maßnahmen üblicherweise fremdbestimmt, d.h. die Maßnahme wird vorgezogen, weil z.B. die Straße oder der Kanal daneben neu gebaut wird. Verwendet man diese üblichen Nutzungsdauern, die meist in der Größenordnung unter 70 Jahren liegen, so gibt die Alterungsfunktion nicht die tatsächliche Alterung des Netzes wieder, sondern bildet nur das „so haben wir das schon immer gemacht“ ab. Die Möglichkeit, den durch

eine frühzeitige Erneuerung verursachten Verlust von Restsubstanzwert zu quantifizieren wird dabei verschenkt.

### Optimale Nutzungsdauer nach Michalik [Michalik, 1985]

Mit den bisher gebildeten Werten für den Anstieg der Alterungsfunktion, dem Wiederbeschaffungswert/Rehabilitationsaufwand und den Reparaturkosten kann die wirtschaftlich optimale Nutzungsdauer bestimmt werden.

Die optimale Nutzungsdauer ist das Kostenminimum aus der einmaligen Investition und der laufenden Instandhaltung. Die laufenden Betriebsaufwendungen werden nicht betrachtet, da sie sich für die Bestimmung des Optimums neutral verhalten.

$$K_{\min} = \frac{[\text{Investitionskosten} + \sum_{t=1}^T f(t) \cdot \text{Reparaturkosten}]}{T} \quad (6.5)$$

Bei der Verwendung der Formel 6.5 ist nach Michalik die Summe der Kosten eines beliebigen Zeitintervalls dem Integral

$$K_x = C + \int_0^x f(t) dt \quad (6.6)$$

mit:

C = Investitionskosten

gleichzusetzen, wobei x die Nutzungsdauer und Summe f(t) die Reparaturkosten in Abhängigkeit von der Nutzungsdauer sind.

Nach x Jahren ergeben sich die Reparatur- und Amortisationskosten K, deren Wert minimiert werden soll.

$$K = \frac{S_x}{x} = \frac{1}{x} \left[ C + \int_0^x f(t) dt \right] \rightarrow \text{Minimum} \quad (6.7)$$

Die erste Ableitung ergibt sich zu

$$K'(x) = -\frac{1}{x^2} \left[ C + \int_0^x f(t) dt \right] + \frac{1}{x} f(x) = 0 \quad (6.8)$$

Daraus folgt letztlich

$$xf(x) = C + \int_0^x f(t) dt \quad (6.9)$$

Werden die Reparaturkosten durch die gewählte quadratische Funktion gebildet, ergibt sich

$$f(x) = a_0 + (a_1 \cdot x^2) \cdot \text{Reparaturkosten} \quad (6.10)$$

In die Formel 6.8 eingesetzt, ergibt sich

$$x_{\min} = \sqrt[3]{\frac{2+1}{2} \cdot \frac{C}{a_1 \cdot \text{Reparaturkosten}}} \quad (6.11)$$

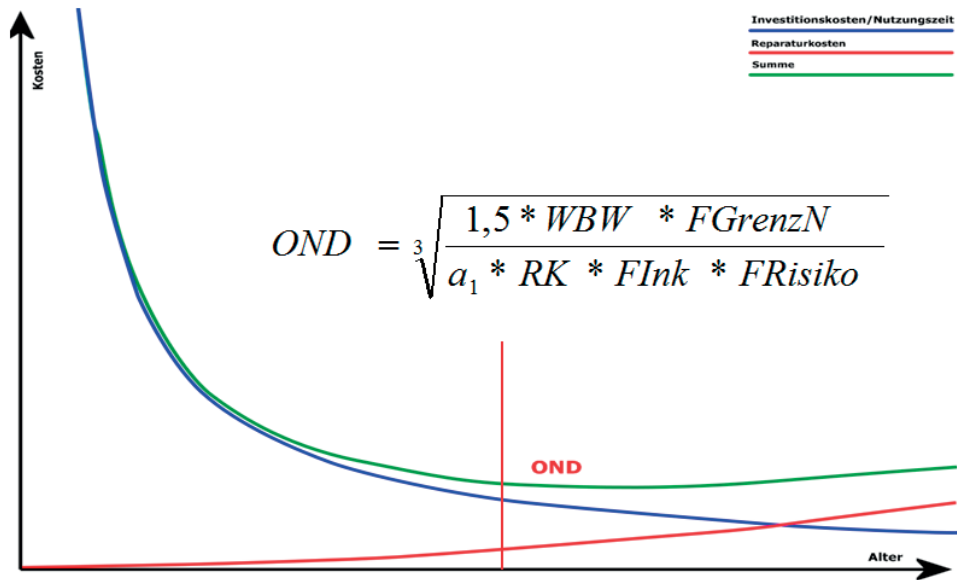


Abb. 6.20: Formel Optimale Nutzungsdauer

Diese optimale Nutzungsdauer (*OND*)  $x_{\min}$  wird für jeden einzelnen Abschnitt bestimmt. Durch weitere Faktoren werden Inkrustations- und Risikofaktoren eingeführt.

Bei OptNet lautet die Gleichung zur Bestimmung der optimalen Nutzungsdauer:

$$OND = \sqrt[3]{1,5 \cdot \frac{\text{Wiederbeschaffungswert} \cdot \text{Grenznutzungsfaktor}}{a_1 \cdot \text{Reparaturkosten} \cdot \text{Inkrustationsfaktor} \cdot \text{Risikofaktor}}} \quad (6.12)$$

Die Abb. 6.20 zeigt die Bestimmung des Kostenminimums, bei der die Investitionskosten über die Nut-

zungsjahre verteilt werden und die Reparaturkosten entsprechend der Alterungsfunktion steigen.

In dem Beispielnetz stellt sich das Ergebnis wie in Abb. 6.21 dar.

Natürlich wird die optimale Nutzungsdauer für jeden Netzabschnitt ermittelt. In dem Beispiel ist gut zu erkennen, dass unterschiedliche Nutzungszeiträume für die verschiedenen Materialien bestimmt werden.

Aus dem Verhältnis von OND/Alter kann bereits abgelesen werden, ob der jeweilige Restnutzungsanteil (Substanzwert) hoch oder eher niedrig ist. Die Bestimmung des jährlichen Substanzverlustes ist sehr wichtig, weil in dieser Höhe investiert werden muss, um eine nachhaltige Daseinsvorsorge zu gewährleisten.

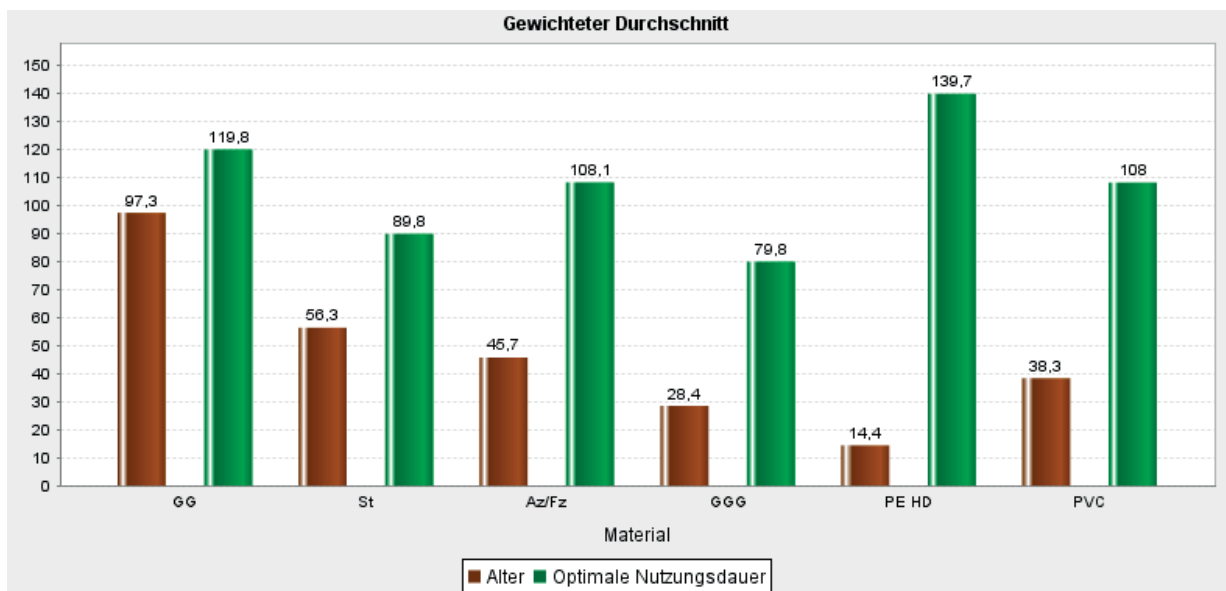


Abb. 6.21: Alter und Optimale Nutzungsdauer nach Material



### 6.2.1.13 Optimale Gestaltung des Netzes

#### Allgemein

Die Anforderungen und Herangehensweisen an die Netzoptimierung sind vielfältig.



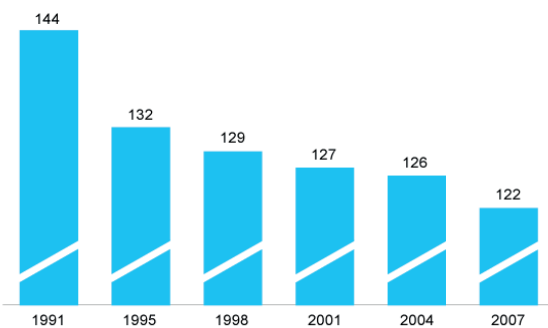
Abb. 6.22: Mögliche Optimierungsansätze zur Netzgestaltung

Neben der Durchmesseroptimierung in gleicher Trasse können verschiedene Optionen zur Neugestaltung von Druckzonen im Sinne der Wirtschaftlichkeit oder der Energie- und CO<sub>2</sub>-Optimierung sinnvoll sein. Entsprechende Optimierungsplanungen sind in die Rehabilitationsplanung frühzeitig einzuarbeiten.

### 6.2.1.14 Durchmesseroptimierung

#### Hintergrund

Der in den letzten Jahrzehnten stetig zurückgegangene Verbrauch stellt Netzbetreiber vor die Herausforderung, für ihre strategische Netzplanung Optimierungspotentiale durch mögliche Durchmesserreduzierungen abzuschätzen. Durch die konsequente Nutzung von grabenlosen Rehabilitationsverfahren kann die mögliche Durchmesserreduzierung neben Kostenersparnissen von i.d.R. weit über 20 %, auch deutlich zur Kundenzufriedenheit beitragen und erlaubt bei sinkenden Budgets gleichbleibende Erneuerungsraten.



<sup>1</sup> Verhältnis der Wasserabgabe an Haushalte und Kleingewerbe zu den angeschlossenen Einwohnern.

© Statistisches Bundesamt, Wiesbaden 2009

Abb. 6.23: Rückgang des Wasserverbrauchs 1991-2007

In Wassernetzen ergibt sich, neben der finanziellen Optimierung, auch eine Verbesserung der Wasserqualität durch Reduktion von Standzeiten und Erhöhung der Fließgeschwindigkeiten.

Eine Optimierung jeweils einmal mit und einmal ohne Löschwasserbedarf ermöglicht darüber hinaus den exakten Nachweis der durch die Löschwasservorhaltung gebundenen Investitionskosten.

#### Voraussetzungen

Voraussetzung für eine erfolgreiche Optimierung ist ein hydraulisch rechenfähiges, kalibriertes Netzmodell. Vorgaben zu Grund- und Objektschutz sowie Hindernissen, die die Nutzung von Hydranten unmöglich machen (z.B. Gleise, Flüsse) werden berücksichtigt.

Die in OptNet durchgeführte Ermittlung der Wiederbeschaffungswerte erlaubt später eine detaillierte Betrachtung der Kostenvorteile von offener/grabenloser Bauweise je Netzabschnitt unter Berücksichtigung aller notwendigen Kopflöcher für Armaturen.

Es wird empfohlen eine n-1 Analyse durchzuführen und die ermittelten Auswirkungen von Netzausfällen als Grenzwert für die weitere Optimierung zu nutzen, um negative Auswirkungen der Durchmesseroptimierung auf die Versorgungssicherheit auszuschließen.

#### Das Analytische Verfahren: Ideal-Netz

Für die Durchmesseroptimierung von Netzen existieren analytische oder genetische Ansätze, die imstande sind, ein Optimum der Rohrleitungsdurchmesser unter Beachtung der Trasse und Verbrauchsstruktur zu erzielen. Diese sind jedoch mit zwei Nachteilen behaftet: Einerseits ist es notwendig, die Netze zu vereinfachen, da die Rechenzeiten bei Stadtnetzen bereits im Bereich mehrerer Wochen liegen können, andererseits haben sie jedoch das schwerwiegendere Problem, dass sie die vorhandenen Rohrleitungsdurchmesser nicht berücksichtigen.

Das mathematische Optimum für das Gesamtvolumen des Netzes ergibt sich i.d.R. wenn eine nicht unerhebliche Menge an Vergrößerungen durchgeführt wird, bevor dann großflächig Reduktionen zugelassen werden können. Dies hat zur Folge, dass bei mit entsprechenden Methoden ermittelten Idealnetzen typischerweise eine Umsetzungsstrategie erarbeitet wird, mit der sichergestellt wird, dass erst die notwendigen Vergrößerungen durchgeführt werden. Echte Einsparungen ergeben sich dann teils erst nach über einem Jahrzehnt.

#### Das heuristische Verfahren: Best-Netz

Das in OptNet genutzte heuristische Verfahren zur optimalen Gestaltung von Rohrleitungssystemen (Gas/Wasser) erlaubt die Bestimmung eines kostenoptimalen Netzes unter Berücksichtigung der hydraulischen Grenzwerte. Das im Ergebnis der Berechnungen erzeugte Best-Netz ist das Netz, das mit dem geringsten Aufwand aus dem Ist-Netz entwickelt werden kann.

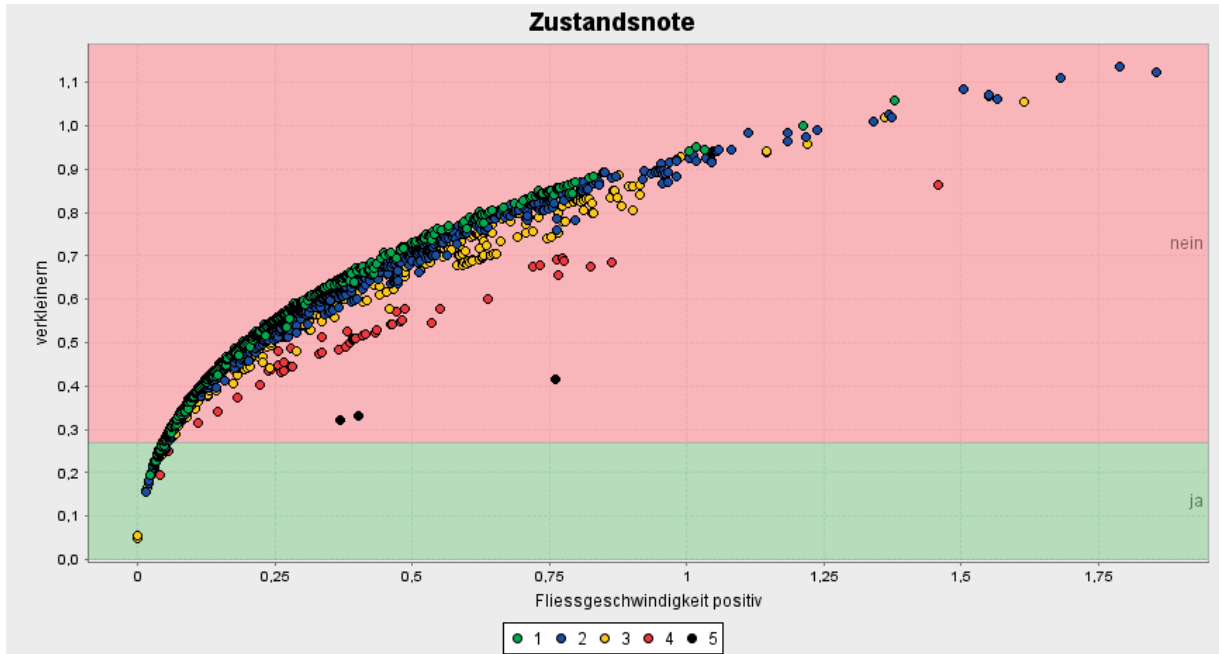


Abb. 6.24: Heuristischer Optimierungsansatz

Die Optimierung erfolgt unter Berücksichtigung möglicher zukünftiger Erweiterungen. Durch das gewählte Verfahren wird sichergestellt, dass im Gegensatz zum sonst üblichen Greenfield-Verfahren, nur dann eine Durchmesserergrößerung notwendig wird, wenn das Netz bereits gegenwärtig überlastet ist. Damit kann die Reihenfolge der Erneuerungsmaßnahmen unbeeinflusst von der Durchmesseroptimierung nach technischen und wirtschaftlichen Gesichtspunkten durchgeführt werden.

Durch die optimale Netzgestaltung können erhebliche Investitionseinsparungen erzielt, die Effizienz des Netzes bestimmt und die Effizienzsteigerungen in Abhän-

gigkeit von den Erneuerungs-Budgets vorausgesagt werden.

Optional kann die Optimierung gezielt für eine Nutzung von grabenlosen Erneuerungsverfahren durchgeführt werden. Durchmesserreduzierungen werden dann nur vorgeschlagen, wenn sie Reliningverfahren ermöglichen. Dies ermöglicht eine weitere Optimierung der Investitionskosten. Wird darüber hinaus der Zustand und/oder die Wichtigkeit der Netzabschnitte berücksichtigt, kann der Barwert über die Netznutzungsdauer noch weiter optimiert werden.

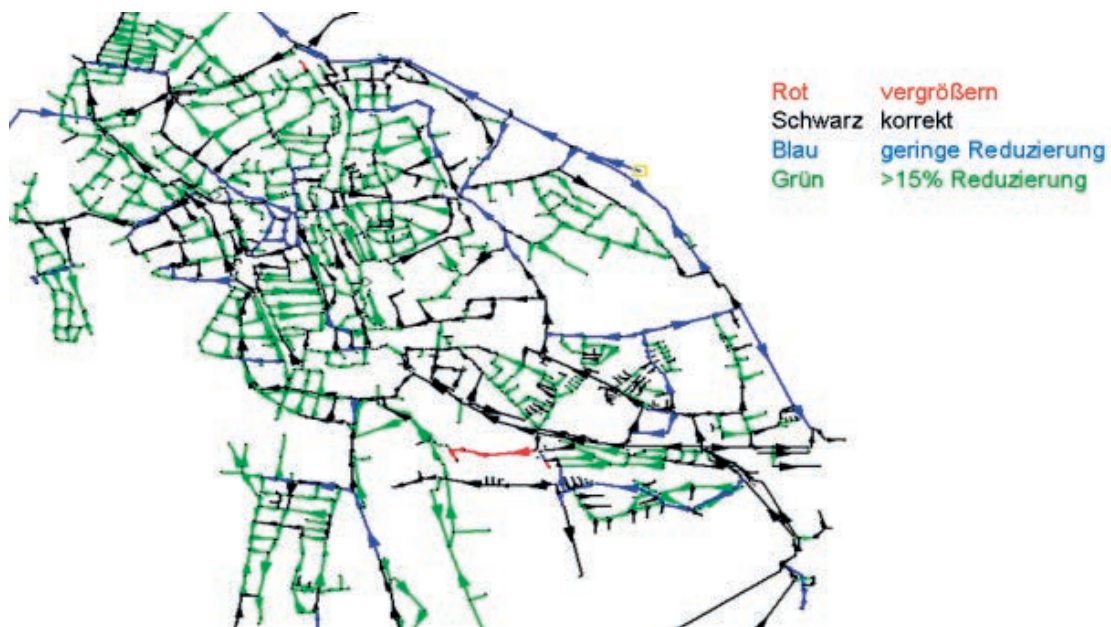


Abb. 6.25: Beispieldarstellung: Optimiertes Teilnetz

### 6.2.1.15 Entwicklung der Rehabilitationsstrategie

#### Substanzwertverlust

Der aus dem Verhältnis von Alter und Optimaler Nutzungsdauer ermittelte Substanzwert

$$\text{Substanzwert} = \left(1 - \frac{\text{Alter}}{\text{OND}}\right) \cdot \text{Wiederbeschaffungswert} \quad (6.13)$$

ermöglicht die Ermittlung des jährlichen **Substanzverlusts**. Langfristig sind Investitionen in Höhe des jährlichen Substanzverlusts notwendig, um den vom DVGW geforderten nachhaltigen Werterhalt zu erreichen. Kurz- bis mittelfristig können jedoch auch deutlich niedrigere oder höhere Rehabilitationsraten bei besonders gutem oder besonders schlechtem Zustand sinnvoll sein.

Der mittlere Zustand alleine ist hierbei oftmals nicht ausreichend für eine Entscheidung. Im Extremfall kann eine mittlere Zustandsnote von 3 erreicht werden, indem alle Netzabschnitte die Note 3 haben, oder indem eine Hälfte 1 hat und die andere Hälfte 5. In ersterem Fall stehen keine Netzabschnitte zur Wahl, deren Ausfallwahrscheinlichkeit hoch genug ist, um einen effektiven Einsatz des Budgets zu ermöglichen. Um zu vermeiden, dass alle Leitungen irgendwann gleichzeitig ersetzt werden müssen, würde man dennoch ein regelmäßiges Ersatzbudget veranschlagen, dieses aber deutlich unterhalb des Substanzverlusts ansetzen und z.B. nach Wichtigkeit verteilen. Im zweiten Extrembeispiel ist bereits die Hälfte der Leitungen in einem sehr schlechten Zustand. Wollte man diese innerhalb der nächsten 10 Jahre ersetzen, müsste man also ein Rehabilitationsbudget in Höhe von 5 % des Wiederbeschaffungswertes pro Jahr ansetzen.

Das im Einzelfall sinnvolle Investitionsbudget unterliegt daher immer der Entscheidung des Planers. Neben der Optimalen Nutzungsdauer sind auch die Auswirkungen auf Abschreibungen, eine gleichmäßige Auslas-

tung von Personal und Fremdfirmen und ähnliche Faktoren zu berücksichtigen.

### 6.2.1.16 Bestimmung der notwendigen Rehabilitationsrate

Wie oben erläutert, stellt die Optimale Nutzungsdauer den technisch-wirtschaftlich optimalen Zeitpunkt der Erneuerung einer Leitung dar. Auch wenn diese sinnvollerweise netzabschnittsscharf ermittelt werden sollte, ist sie jedoch dennoch eine statistische Größe. Für die Ausfallwahrscheinlichkeit ist entsprechend eine Streuung anzunehmen, so dass sich der optimale Rehabilitationsbedarf erst aus der Kombination der Optimalen Nutzungsdauer mit einer Überlebensfunktion ergibt.

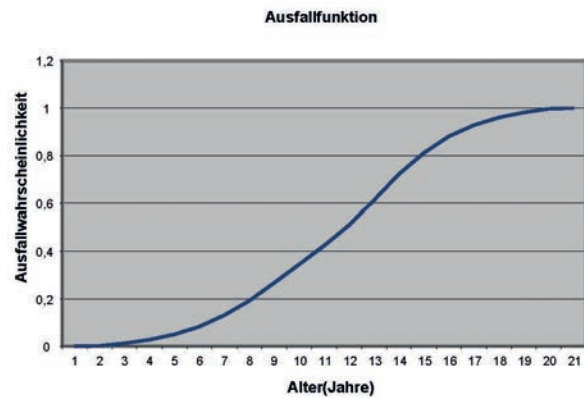


Abb. 6.26: Verwendete Überlebensfunktion

Für jeden Zeitpunkt des Nutzungszeitraumes ergibt sich so eine zugehörige Überlebenswahrscheinlichkeit. Damit ergibt sich für jeden Alterswert unter Berücksichtigung der jeweiligen Länge der jährliche Erneuerungsanteil. Werden diese für jeden Netzabschnitt bestimmt und addiert, ergibt sich der gegenwärtige Rehabilitationsbedarf.

Für eine langfristige Erneuerungsstrategie ist die Prognose der Rehabilitationsrate notwendig, um frühzeitig auf zukünftige Ereignisse reagieren und Rehabilitationsraten vergleichmäßigen zu können.

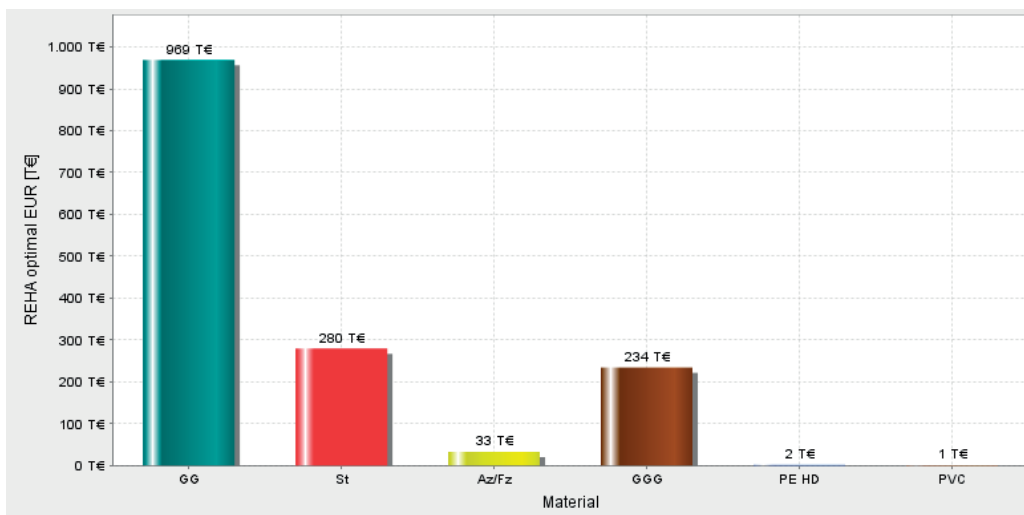


Abb. 6.27: Optimale Rehabilitationsinvestition derzeit



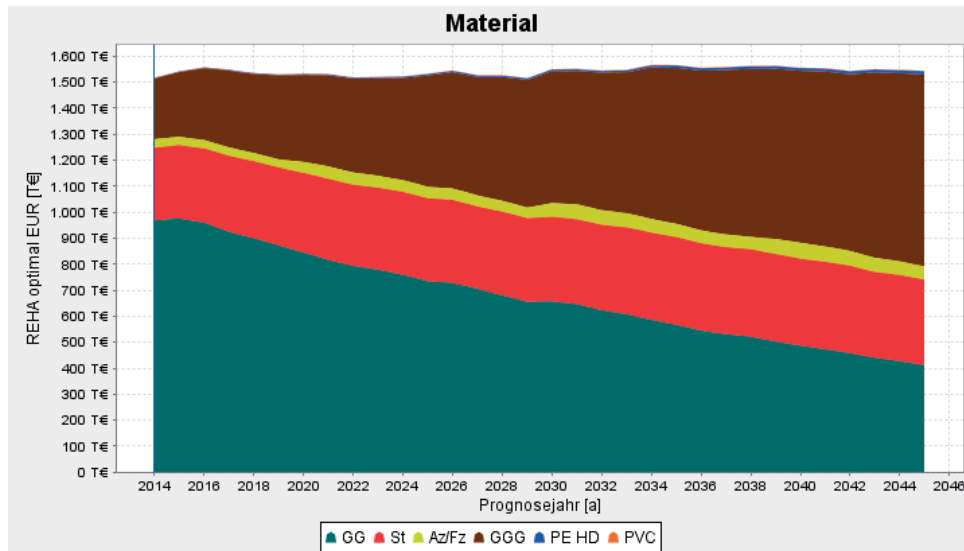


Abb. 6.28: Optimale Erneuerung nach Material für 30a

Diese verhältnismäßig konstant verlaufende Entwicklung ist typisch für ältere, höher verschlissene Netze und gilt nur unter der Voraussetzung, dass die empfohlene Rehabilitationsrate, die in diesem Fall sogar über dem jährlichen Substanzwertverlust liegt, auch tatsächlich realisiert wird.

Die Abb. 6.29 ermöglicht einen Vergleich der vorgeschlagenen optimalen Rehabilitation (violett) und dem Budget aus AfA und Einsparungen.

Der Wert „Budget aus AfA und Einsparungen“ ist ein Hilfswert, bei dem die Abschreibung des vorhandenen Netzes und der geplanten Erneuerungen auf Basis der historischen Anschaffungskosten berechnet werden. Diese sind aus dem Wiederbeschaffungswert und dem Index des statistischen Bundesamtes ermittelt und entsprechen somit nicht den Werten der Anlagenbuchhaltung. Insbesondere für den Extremfall, dass z.B. Orts- teile zu einem symbolischen Preis gekauft wurden,

zeigt sich ein realistischer Wertverlust unter aktuellen Randbedingungen. Dazu werden die Einsparungen durch die Reduktion der Schadensrate (Reparaturkosten und Wasserverlust) und bei Gasnetzen durch eine etwaige Reduktion der Abspürkosten addiert.

Auffällig ist, dass die optimale Erneuerungsrate deutlich über dem jährlichen Substanzwertverlust liegt. Dies ist nur bei Netzen mit geringem Restsubstanzwert sinnvoll und tritt in den letzten Jahren nur noch selten auf. In diesem bereits etwas älteren Netz weisen die GG- und Stahlleitungen Schadensraten von deutlich über 0,2 auf. Da diese beiden Materialien noch knapp 50% des Netzes ausmachen, ergibt sich ein sehr hoher Erneuerungsaufwand. In den meisten Netzen ist heutzutage insbesondere der GG-Anteil deutlich niedriger, so dass die empfohlene optimale Rehabilitation oft merklich unter dem jährlichen Substanzwertverlust liegt.

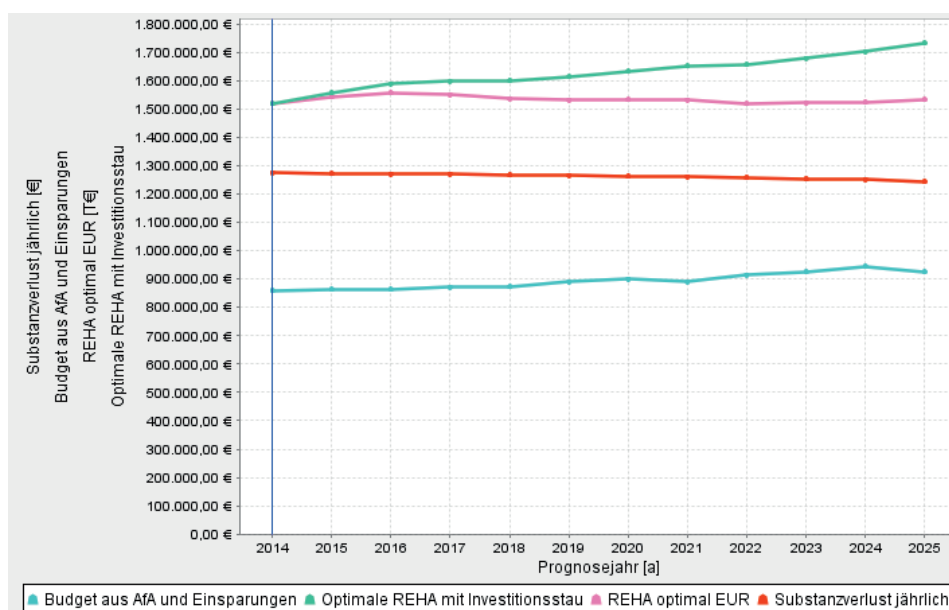


Abb. 6.29: Vergleich optimale Rehabilitation, Substanzwert und Budget aus AfA und Einsparungen

Die grüne Linie zeigt, wie sich der Investitionsbedarf erhöht, wenn bis zu dem jeweiligen Jahr keine Erneuerung durchgeführt wurde. Je länger die Investition unterhalb des Optimums bleibt, desto mehr Investitionsstau muss auf die verbleibende Restnutzungsdauer verteilt werden. Kurze Reduktionen der Investition führen nur zu geringen Auswirkungen. Grundsätzlich ist es jedoch ratsam, Investitionen möglichst zu vergleichmäßigen, da sonst erhebliche Mehrkosten durch Über- und Unterlast des eigenen Personals sowie auch durch auslastungsabhängig differierende Ausschreibungsergebnisse zu erwarten sind.

**6.2.1.17 Entwicklung des Abnutzungsvorrates und der Schadensrate**

Nur in den seltensten Fällen wird es möglich sein, das vorgeschlagene Budget 1:1 zu übernehmen. Es ist also notwendig, verschiedene Budgetvarianten miteinander zu vergleichen. Hierbei sind auf dieser Betrachtungsebene keine Auswirkungen auf Aspekte der Wichtigkeit erkennbar. Das Modell sieht jeweils nur einen direkten

Ersatz, zwar ggf. in geänderter Materialart, aber in gleicher Trasse und Verknüpfung vor. Bei der Maßnahmen-detailplanung ist zu prüfen, inwieweit zum Beispiel eine Trassenänderung eine Reduktion der Gefährdung der Unternehmensziele ermöglicht.

Zum Vergleich mehrerer Strategievarianten dienen daher nur die Auswirkungen der Zustandsveränderung. Sie werden darstellbar über die Schadensrate und den Substanzwert.

Abb. 6.30 zeigt den Verlauf der Schadensrate mit und ohne Erneuerung. Es zeigt sich, dass der bereits sehr steile Anstieg der Schadensrate mit dem vorgesehenen Budget deutlich abgebremst werden kann, jedoch nicht völlig vermieden wird. Die Frage, ob höhere Investitionen sinnvoll sind, um die bereits hohe Schadensrate weiter zu reduzieren ist zu prüfen. Dabei ist jedoch zu berücksichtigen, dass bei zunehmendem Budget vermehrt Netzabschnitte mit niedrigerer Ausfallwahrscheinlichkeit erneuert werden müssen und es somit zu einer Vernichtung von Restsubstanzwerten kommt.

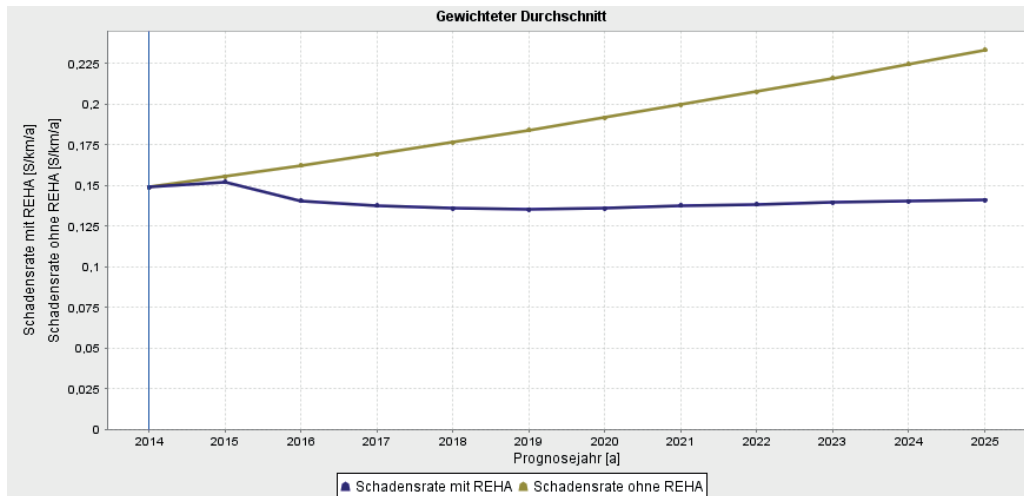


Abb. 6.30: Verlauf Schadensrate mit und ohne Erneuerung

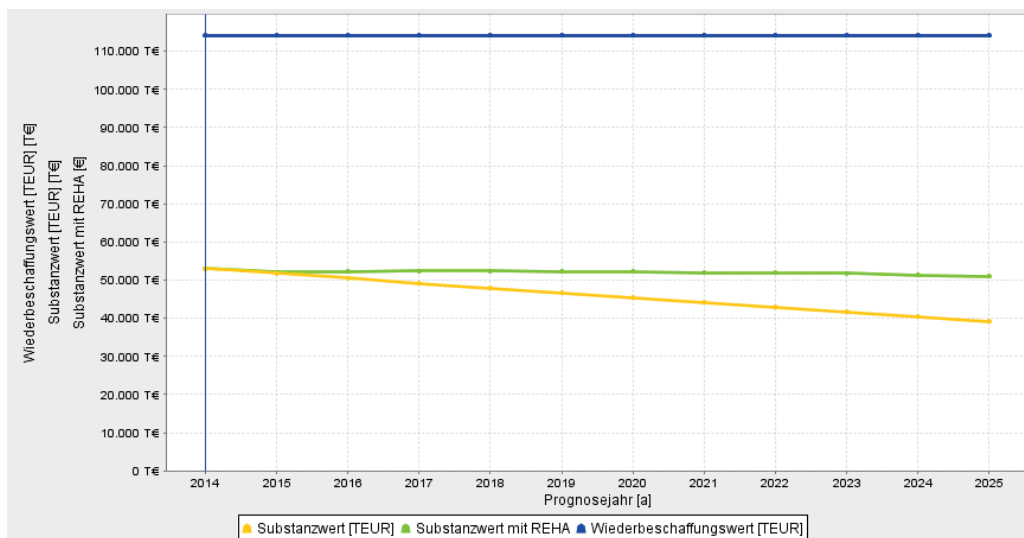


Abb. 6.31: Verlauf des Substanzwertes mit und ohne Rehabilitation

In *Abb. 6.31* zeigt sich, dass bei der gewählten Investition der Substanzwertverlust in etwa verhindert wird. Wie *Abb. 6.29* zeigt, ist die Investition zwar deutlich über dem jährlichen Substanzwert, bereits bei diesem Budget werden aber nicht ausschließlich Leitungsabschnitte erneuert, die keinen Restsubstanzwert haben. So kommt es innerhalb der 10 Jahre zu einer Vernichtung eines Restsubstanzwerts von rund 3,4 Mio. EUR. Eine Erhöhung des Budgets wird den prozentualen Verlust an Restsubstanzwert weiter steigen lassen und macht die Investition somit zunehmend ineffektiv.

### 6.2.1.18 Maßnahmenplanung

#### Vorgehensweise

Insbesondere im Netz ist eine vollständig automatisierte Planung der Maßnahmen nicht möglich. Die automatisch ermittelten Maßnahmenvorschläge sind durch den Planer auf die Vorgaben von Straßenbauamt oder Kommune für koordinierte Baumaßnahmen abzustimmen und in sinnvolle Lose zusammen zu fassen. Entsprechende Vorschläge durch OptNet-L sind deswegen jederzeit vom Nutzer änderbar. Insbesondere die „fremdbestimmten“ Maßnahmen, d.h. diejenigen, die eben zum Beispiel durchgeführt werden, weil die Straßenoberfläche „sowieso“ erneuert wird, stellt den Asset Manager vor Probleme.

Die durch Asset-Management Systeme ermittelten Budgets gehen i.d.R. davon aus, dass das Geld in besonders hoch gefährdete Leitungsabschnitte investiert wird. Die Investition in andere Netzabschnitte reduziert zwar die Kosten pro Meter, gleichzeitig werden hierbei jedoch i.d.R. Netzabschnitte mit deutlich niedrigerer Ausfallwahrscheinlichkeit gewählt. Dies führt zu einer Erneuerung von Abschnitten, die zwar oftmals schon abgeschrieben sind, jedoch noch erhebliche Restsub-

stanzwerte haben. Der Kosteneinsparung bei der Oberfläche stehen somit die Vernichtung von Substanzwerten und die geringere Investitionseffizienz gegenüber. OptNet-L ermöglicht es, die Auswirkungen auf die zukünftige Schadensrate und den zukünftigen Substanzwert zu simulieren.

Basierend auf einer grafischen Darstellung der vorgeschlagenen Maßnahmen z.B. in STANET wie in *Abb. 6.29* dargestellt, oder auch im GIS, kann der Planer die Maßnahmenliste bearbeiten. So können Maßnahmen zu Projekten zusammengefasst werden, das Erneuerungsjahr verändert, Maßnahmen vorgezogen oder auch komplett von der Maßnahmenliste entfernt werden. Durch OptNet-L werden dann anhand der ermittelten Ausfallwahrscheinlichkeit zusätzliche Maßnahmen vorgeschlagen bis das geplante Budget ausgeschöpft ist.

Die Optimierung der Maßnahmenplanung ist so ein iterativer Prozess, bei dem die Vorschläge von OptNet mit den Anforderungen Dritter und den eigenen Planungsvorgaben kombiniert werden. Hierbei kann zu jedem Zeitpunkt ermittelt werden, welche Auswirkungen sich durch die Änderungen auf den zukünftigen Substanzwert und die zukünftige Schadensrate des Netzes ergeben.

*Abb. 6.33* zeigt nicht nur der vorgeschlagene Verlauf der Investitionen dargestellt werden, sondern für Substanzwert und Schadensrate wird der Verlauf mit und ohne Investition ausgewiesen. So kann ggf. der zusätzliche Mittelbedarf, der notwendig wird, um den Substanzerhalt im von OptNet vorgeschlagenen Umfang zu ermöglichen, nachgewiesen werden. Bei einem Anteil an fremdgesteuerten Maßnahmen von üblicherweise zwischen 50% und 70% kann durchaus mehr als das doppelte Budget notwendig werden.



Abb. 6.32: Grafische Darstellung von Maßnahmen



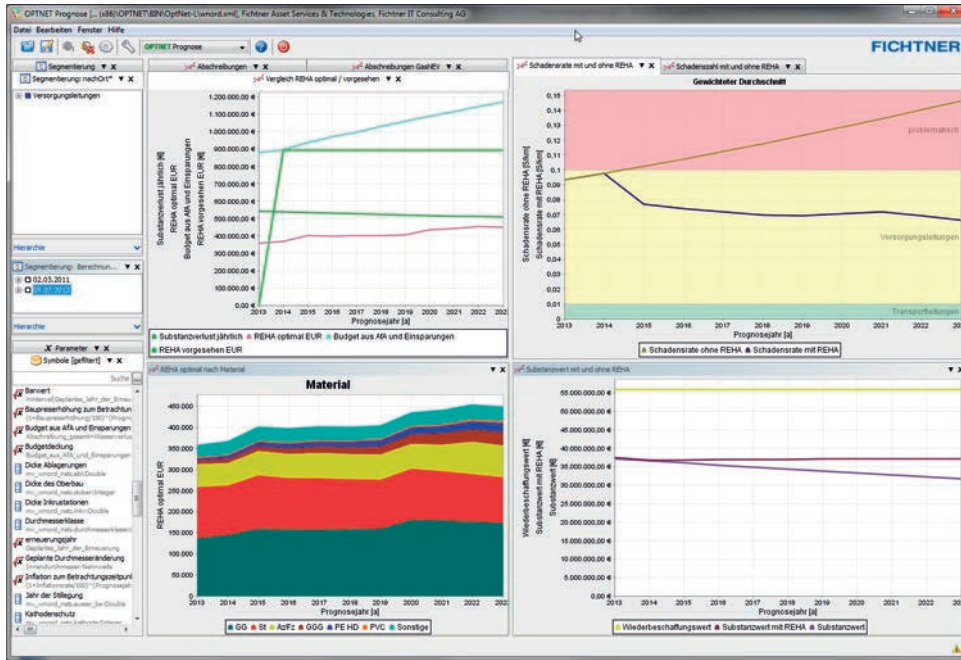


Abb. 6.33: Optimale Rehabilitation und Auswirkung der geplanten Maßnahmen in OptNet-L

### 6.2.1.19 Aufwand und Nutzen der Rehabilitation

Ein Problem der Durchsetzung einer Rehabilitationsstrategie ist, dass zunächst mehr Geld benötigt wird, als kurzfristig eingespart werden kann.

Es gab auch Überlegungen [Schmidt, 1999], nur soviel zu rehabilitieren, wie durch die Rehabilitation an Kosten eingespart werden kann (Quasikostenneutralität). Dieser Punkt wird erst bei einer jährlichen Schadensrate von 4-6 Schäden pro km erreicht. Natürlich kommen kurze Netzabschnitte von weniger als 100 m vor, an denen in mehreren Jahren Schäden registriert werden und die dieser Forderung entsprechen.

Durch das Verzögern von Erneuerungsmaßnahmen bis dieser Zustand eingetreten ist, werden jedoch viele Nachteile in Kauf genommen:

- Die extrem hohe Schadensrate führt über die Gesamtlebensdauer zu unwirtschaftlich hohen Reparaturkosten und -aufwänden. Es werden erheblich mehr Personal sowie weitere Ressourcen notwendig.
- Netzabschnitte werden regelmäßig mehrfach repariert werden müssen, bevor sie ausgewechselt werden, wodurch sich für die einzelne Leitung eine Erhöhung der Lebenszykluskosten ergibt.
- Die hohe Schadensrate, insbesondere unter der Annahme, dass oftmals mehrere Schäden hintereinander an der gleichen Stelle zu reparieren sind, führt zu einem schlechten Image bei Kunden und Anwohnern.
- Zu dem Zeitpunkt, an dem eine so hohe Schadensrate auftritt, ist anzunehmen, dass es zu einem schneller werdenden Verfall von großen Teilen des Netzes kommt. Sprunghaft muss dann die Erneuerung auf sehr hohe Raten hochgefahren werden. Eine so schnelle Änderung der Erneuerungsrate ist

weder mit der eigenen Planungsabteilung möglich, noch werden die regionalen Bauunternehmer leistungsfähig genug sein. Dies bedeutet erhebliche Mehrkosten.

Es gibt daher mehrere geldwerte Vorteile, welche durch die kontinuierliche und gut vorbereitete Rehabilitationsplanung ausgewiesen werden können:

- Erhöhung der Versorgungssicherheit
- Senkung der notwendigen Investitionskosten
- Reduzierung der Schäden und Reparaturkosten
- Erhöhung des Abnutzungsvorrats/Substanzwerts
- Erhöhung der AfA
- Vergleichmäßigen des Aufwandes

Im Rahmen der Übernahme von Konzessionen sind Vorgaben über den zu erreichenden Substanzwert und die zulässigen Schadensraten vertraglich zu vereinbaren, um eine nachhaltige Investition zu gewährleisten. Auch für den Betreiber ergeben sich hieraus jedoch Vorteile, da er den Aufwand im Vorfeld genauer beurteilen kann.

Die Anwendung einer begründeten Rehabilitationsstrategie wird aber auch zu direkten Kosteneinsparungen führen. Bereits bei einer Optimierung der Nutzungsdauerannahmen um nur 5 %, kann bei einer Rehabilitationsrate von 1 % jährlich eine Fehlinvestition von 25.000 EUR pro 100 km Netz verhindert werden. Weitere Vorteile sind u.a.:

- Das Vorliegen von mittel- und langfristigen Investitionsplänen erlaubt eine gezielte Steuerung von Investitionen und erleichtert die Finanzierung.
- Die vorliegenden Maßnahmenlisten erlauben eine frühzeitige Abstimmung mit anderen Spartenägern und somit weitere Reduzierungen der Investitionskosten.

- Die Kenntnis der verbleibenden Restsubstanzwerte kann die Entscheidung, ob im Rahmen z.B. einer Straßenbaumaßnahme eine Erneuerung erfolgen soll erleichtern und Fehlentscheidungen vermeiden. Sie kann auch genutzt werden, um mehrere Planungsvarianten zu vergleichen.
- Investitionen können an die Leistungsfähigkeit der eigenen Abteilungen bzw. auch der lokalen und regionalen Bauunternehmen angepasst und gleichmäßig werden, so dass Unter- und Überlastsituationen vermieden werden.

Durchgeführte Untersuchungen an über 60 Wasser- und Gasrohrnetzen in Deutschland und im Ausland zeigen, dass in der Kombination aus OptNet und STANET Investitionskosteneinsparungen von bis zu 25 % möglich sind. Zu den darüber hinaus innerhalb des Unternehmens eingesparten Prozesskosten liegen keine Auswertungen vor.

Es wird empfohlen, die Bewertungsergebnisse in einer Expertise festzuschreiben und die Prioritätenliste für einen 10-Jahres-Zeitraum festzulegen. Durch die konsequente Erfassung aller Störungen, die sukzessive Verbesserung der Datenbasis an Stellen, an denen die Berechnungsergebnisse Abweichungen von den Erfahrungen des Betriebspersonals zeigten und die, idealerweise jährliche Wiederholung von Rohrnetzrechnung und Bewertung wird die Bestimmung der optimalen Rehabilitationsrate und der Maßnahmenprioritäten kontinuierlich verbessert und weiter abgesichert.

### 6.3 EDV-gestützte Rehabilitationsplanung mit KANEW

Dipl.-Ing. I. Kropp

#### 6.3.1 Zielstellung des EDV-Programms KANEW

Nach dem Neu- und Ausbau der Wasserversorgungsnetze im vergangenen Jahrhundert hat in den letzten beiden Jahrzehnten das „Zeitalter der Rehabilitation und des Netzumbaus“ begonnen. Die mit zunehmendem Alter einhergehende Zustandsverschlechterung der Rohrleitungsnetze führt zu mehreren wichtigen Fragen:

1. **Wie viel muss in den kommenden Jahren und Jahrzehnten strategisch in die Erhaltung des Netzes investiert werden, damit bestimmte Mindestanforderungen eingehalten werden?**
2. **Welche Netzabschnitte sollten rehabilitiert werden, damit die zur Verfügung stehenden finanziellen Mittel möglichst effizient eingesetzt werden?**
3. **Wie ist eine zuverlässige und (dauerhafte) Versorgung mit möglichst geringen Versorgungsunterbrechungen und Verlusten zu gewährleisten?**

Anders als beim Entwurf neuer Netze und Netzerweiterungen können diese Fragen nicht einfach durch eine Optimierungsrechnung gelöst werden. Die bestehenden Unwägbarkeiten, u.a. wegen fehlenden Informationen oder nicht ausreichend bekannten Randbedingungen (z.B. Unsicherheiten bei Bevölkerungsprognosen →

Entwicklung der Kundenzahlen, -verbräuche) erfordern vielmehr einen Ansatz, mit dem eine robuste Lösung entwickelt werden kann, die auch noch bei Änderung der Randbedingungen in bestimmten Grenzen funktioniert.

#### 6.3.2 Planungssoftware KANEW

Mit der Planungssoftware **KANEW** steht ein Werkzeug zur Verfügung, das verschiedene Aufgabenbereiche in der Rehabilitationsplanung, wie in *Abb. 6.34* dargestellt, unterstützt [Herz, 1996]. Der Einsatz der Software eignet sich gleichermaßen für Unternehmen mit guter und weniger guter Datenlage.

Die Anwendung ist nicht auf Rohrleitungen beschränkt. Es können vielmehr alle Anlagenelemente eines Leitungsnetzes, wie z.B. Armaturen oder Hydranten, in die Untersuchung einbezogen werden. In den nachfolgenden Ausführungen wird aber primär von Leitungsschnitten gesprochen.



Abb. 6.34: KANEW-Anwendungsbereiche in der Rehabilitationsplanung

#### 6.3.3 Historie und Erstanwendungen

Die theoretischen Grundlagen von KANEW wurden von Prof. Herz Anfang der 1990er Jahre erarbeitet und erstmalig 1995 veröffentlicht [Herz, 1995]. Das zugrunde liegende Alterungsmodell wird in den Arbeitsblättern des DVGW W 401 (Rehabilitation von Wasserrohrnetzen) und G 401 (Rehabilitation von Gasrohrnetzen) als anzuwendende Methode für die strategische Planung empfohlen.

Erste Anwendungen mit KANEW wurden im süddeutschen Raum und der Schweiz seit 1993 durchgeführt (u.a. für Freiburg, Karlsruhe, Stuttgart, Zürich).

Im Rahmen eines von der AWWA-RF geförderten Forschungsvorhabens wurde 1999 die erste Version einer eigenständigen KANEW-Software entwickelt und auf mehrere Städte in den USA (u.a. Boston, Los Angeles, Philadelphia) angewendet [Deb et al., 1998].

Version 1.0 der Software erlaubte lediglich die Berechnung der Restnutzungsdauer und des jährlichen Erneue-

rungsbedarfs von Infrastrukturelementen auf der Basis ihrer Nutzungsdauerverteilungen. Mit Version 2 wurde die Möglichkeit der Simulation von Rehabilitationsstrategien eingeführt. In Version 3 wurde die vorhandene Code-Basis umgestellt. Diese Entwicklung fand im Rahmen des EU-Forschungsprojektes CARE-W statt. Seit dem wurden mit Version 4 und aktuell Version 5 die Simulationsmöglichkeiten für Rehabilitationsstrategien, die risikoorientierte Bewertung von Netzelementen sowie die Anzahl an technischen und ökonomischen Kennzahlen massiv erweitert.

Bisherige Anwendungen von KANEW erfolgten für Wasserrohrnetze, Gasrohrnetze, Stromnetze, Fernwärmenetze, Kanalnetze und sogar Straßenbäume in Deutschland, Europa und Nordamerika.

### 6.3.4 Anwendung des EDV-Programms KANEW

#### 6.3.4.1 Asset Management Framework

Das gesamte Spektrum des Asset Managements umfasst heute nicht nur die Themenfelder Strategie und Maßnahmenplanung, die durch KANEW selbst abgedeckt werden sondern auch Aspekte des Netzbetriebs, wie optimale und zukunftsfähige Dimensionierung, Optimierung von Netzstrukturen oder die Bewertung der Versorgungszuverlässigkeit (Abb. 6.34). All diese Punkte können mit einer guten hydraulischen Simulationssoftware, z.B. SIR 3S, modelliert und berechnet werden. Entsprechende Ergebnisse können dann in KANEW berücksichtigt werden bei der Rehabilitationsplanung [Kropp et al., 2013].

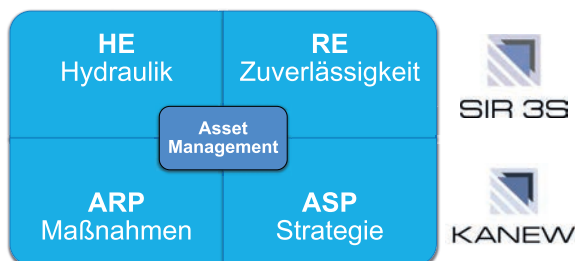


Abb. 6.35: KANEW Asset Management Framework

#### 6.3.4.2 Strategien der Instandhaltung

Eine geeignete Form der Rehabilitationsstrategie ist in jedem Fall die vorbeugende und zustandsorientierte Instandhaltung oder Inspektionsstrategie. Hierbei wird neben dem aktuellen Zustand der Anlagen auch die künftige Entwicklung (Zustandsverschlechterung) in die Planung einbezogen. Die verfügbaren Budgets können dadurch effizient eingesetzt werden, weil sich die Kosten am tatsächlichen Bedarf orientieren.

Die ereignisorientierte Ausfallstrategie, auch Feuerwehrstrategie genannt, ist auf keinen Fall anzuwenden, da mit dem ausschließlichen Reagieren auf Störungen und externe Ereignisse der langfristige Erhalt einer kontinuierlichen Versorgung nicht garantiert werden kann.

Die so genannte Präventivstrategie ist auch nicht Ziel führend, da hier Instandhaltungsmaßnahmen nach fes-

tem Plan durchgeführt werden ohne den aktuellen Zustand zu berücksichtigen. Ein Vorgehen nach dieser Strategie führt eher zu einem unwirtschaftlichen Einsatz der Mittel.

KANEW unterstützt mit seinen Analyse- und Planungsfunktionen die Simulation von zustands- und risikoorientierten Strategien, wobei auch andere Strategiearten als Benchmark herangezogen werden können.

#### 6.3.4.3 Der KANEW Analyserahmen

Die Rehabilitationsplanung mit KANEW ist durch drei Hauptbestandteile gekennzeichnet:

##### 1. Zustandsanalyse und Bewertung:

Eine Zustandsanalyse und Bewertung wird durchgeführt, um die Parameter für Schadensprognose und Alterungsmodellierung (Nutzungsdauern) sowie Kriterien für die laufende Erneuerung zu bestimmen. Schadensstatistik bzw. -dynamik, Wasserverluste und Reha-Statistiken werden hierfür ausgewertet. Anhand dieser Daten lässt sich auch die Effizienz vergangener Erneuerungen analysieren und die Kostenbasis für ökonomische Betrachtungen mit KANEW ableiten.

##### 2. Prognose und Strategie - Entwicklung einer mittel- bis langfristigen Rehabilitationsstrategie:

Die strategische Rehabilitationsplanung von Leitungsnetzen zielt darauf ab, langfristig den Netzzustand zu erhalten oder zu verbessern. Gesucht wird eine Strategie, mit der dieses Ziel mit einem möglichst geringen finanziellen Aufwand erreicht werden kann. Dies fällt in den Entscheidungsbereich des mittleren bis oberen Managements und wird künftig im Hinblick auf die Neuordnung des Energie- und Wassermarkts mit Sicherheit an Bedeutung gewinnen, wenn beispielsweise Preis- und Tarifstrukturen mit Hilfe solcher Instrumente gegenüber Regulierungsbehörden gerechtfertigt werden müssen.

##### 3. Laufende Erneuerungsplanung - Setzen von Prioritäten bei der Rohrnetzerneuerung:

An welcher Stelle und wie das verfügbare Investitionsbudget letztendlich eingesetzt wird, ist eine Frage der Prioritätensetzung bei der Umsetzung der Strategie in konkrete Rehabilitationsprojekte. Prioritäten bei der Rehabilitation werden zustands-, risiko- und kostenorientiert für jedes einzelne Netzelement auf der Grundlage definierter Bewertungskriterien festgelegt.

Ein auf die Aspekte der Rehabilitationsplanung abgestimmtes Kennzahlensystem unterstützt die Steuerung des Unternehmenserfolgs durch die Kontrolle der Erreichung von festgelegten Unternehmenszielen bei der Umsetzung der Rehabilitationsstrategie in konkrete Rehabilitationsprojekte.

Der **KANEW-Ansatz** basiert auf einer Philosophie „robuster“ Lösungen, die realitätsnah neben dem technisch Erforderlichen immer auch das finanziell Machbare berücksichtigen.



### 6.3.4.4 Zustandsanalyse und Bewertung

Die mit dem Alter von Rohrleitungen fortschreitende Zustandsverschlechterung ist ganz offensichtlich. Doch Leitungen altern nicht alle gleich schnell. Eine Analyse der Bestands- und Schadensdaten ist daher für die Zustandsbewertung unerlässlich. Zu einer aussagekräftigen Auswertung der Schadensdaten ist eine möglichst genaue Zuordnung von Schadensereignissen zu den Leitungen erforderlich. Ziel ist zunächst die Bestimmung von Leitungsgruppen, die ein ähnliches Alterungsverhalten aufweisen. Für die mittel- bis langfristige Prognoseberechnung ist eine Differenzierung nach solchen „alterungshomogenen Leitungsgruppen“ hinreichend genau. Alterungshomogene Leitungsgruppen lassen sich beispielsweise nach Material, Bauperioden oder Nennweiten bilden.

Auf Basis der Schadensentwicklung über das Alter können Trend-Funktionen der Schadensentwicklung in KANEW kalibriert werden (Abb. 6.36). Hierbei stehen verschiedene Funktionstypen zur Auswahl, z.B. konstante Entwicklung, linearer Trend, exponentieller Trend, Weibull-Funktion. Für bis zu 3 Alterungsperioden können unterschiedliche Funktionstypen gewählt werden, um die Schadensentwicklung möglichst realitätsnah abzubilden.

Durch Festlegung von Eingriffsgrenzen (=maximale Schadensrate) lässt sich aus der Schadensentwicklung eine Nutzungsdauer für Leitungsgruppen ableiten [DVGW, 2006b]. Falls eine Bestandshistorie vorliegt, kann diese zur Validierung der Nutzungsdauer herangezogen werden (Abb. 6.37).

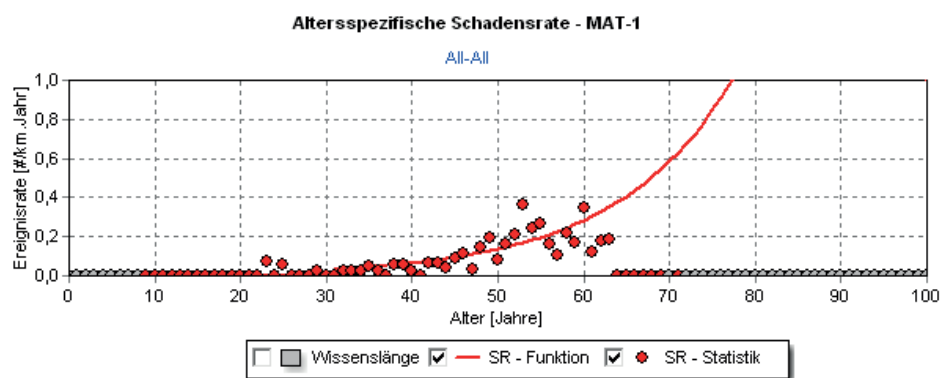


Abb. 6.36: Reale Schadensentwicklung und Trendfunktion

Die Balken in Abb. 6.37 stellen hierbei die realen Erneuerungslängen in der Vergangenheit dar aus denen sich durch Berechnung von Erwartungswert und Standardabweichung die entsprechenden Alterungsfunktionen für die tatsächliche Nutzungsdauer ermitteln lassen.

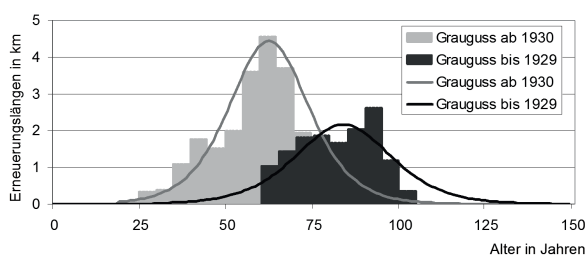


Abb. 6.37: Bestimmung der Nutzungsdauer aus der Erneuerungsstatistik (Beispiel)

Die Nutzungsdauer kann durch den Erwartungswert und die Standardabweichung beschrieben werden. Bei jüngeren Leitungstypen wie den neuesten Stahl-, Duktiguss- oder Kunststoffrohren muss die zu erwartende Nutzungsdauer häufig durch Expertenschätzungen bestimmt werden, da noch keine ausreichenden Informationen über das tatsächliche Alterungsverhalten bekannt sind. Die Erneuerung einer Rohrleitung erfolgt natürlich nicht ausschließlich zustandsorientiert.

Neben der unterschiedlichen Zustandsverschlechterung deckt die Berücksichtigung einer Streuung daher auch solche Fälle ab, in denen andere Gründe zur Er-

neuerung einer Leitung führen, beispielsweise die Anpassung an geänderte hydraulische Erfordernisse, oder im Zuge von Baumaßnahmen an parallelen Leitungssystemen. Aus der Analyse der Schadensdaten lässt sich auch eine Funktion bestimmen, mit der im Rahmen der Strategiesimulationen die künftige Entwicklung der Schadenshäufigkeit prognostiziert werden kann.

Das in KANEW verwendete **Kohortenüberlebensmodell** ist ein Prognosemodell, wie es in der Demografie zur Vorhersage natürlicher Bevölkerungsentwicklungen verwendet wird [Herz, 1995]. Kohorten sind hier Jahrgänge von Leitungsgruppen mit unterschiedlichem Alterungsverhalten. Die Eingangsdaten in das Modell sind der Leitungsbestand bzw. die Länge eines Netzes, untergliedert nach Leitungsgruppen und Installationsjahr. Die altersspezifischen Erneuerungsraten werden aus der jeweiligen Nutzungsdauerverteilung und Überlebensfunktion der Leitungsgruppen abgeleitet.

Der zugrunde liegende **Alterungsprozess** wird mathematisch mit einer vom Alter abhängigen Überlebenswahrscheinlichkeit beschrieben, d.h. ein bestimmter Anteil des Bestands geht in einen Zustand über, in dem er nicht mehr genutzt werden kann bzw. ein Teil nicht mehr so funktioniert, wie es ursprünglich vorgesehen war. Die Leitung muss dann erneuert oder saniert werden. Aus dem Netzbestand und den Alterungsfunktionen berechnet das Modell die künftigen Ausfallraten und damit die Rehabilitationslängen für jede Leitungsgruppe. Die im KANEW-Ansatz verwendeten **Alte-**

**rungsfunktionen** sind aus der für die Alterung von Infrastrukturbeständen speziell entwickelten **Herz-Verteilung** hergeleitet. Die entsprechenden Funktionen sind in *Abb. 6.39* dargestellt [Herz, 1995]. Ist die Altersverteilung eines Leitungsbestands bekannt, und kann die Nutzungsdauerverteilung der einzelnen Leitungstypen bestimmt werden, dann lassen sich die in der Zukunft Jahr für Jahr zu rehabilitierende Leitungslängen verschiedener Leitungsgruppen berechnen.

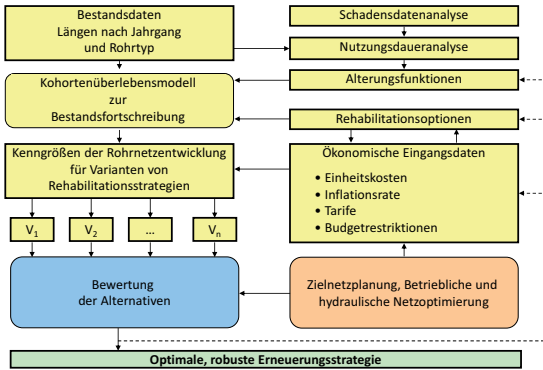


Abb. 6.38: Der KANEW - Analyserahmen

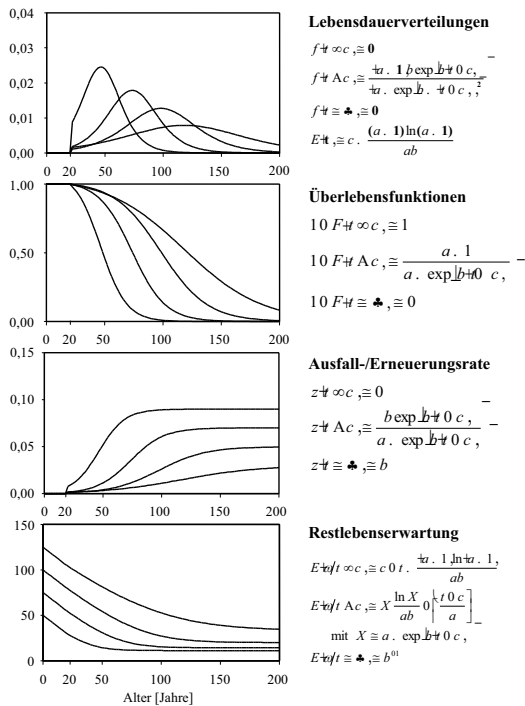


Abb. 6.39: Alterungsfunktionen der Herz-Verteilung mit einer Resistenzzeit von 20 Jahren und Nutzungsdauererwartungen von 50, 75, 100 und 125 Jahren

**6.3.4.5 Bedarfsprognose und Strategie**

Der prognostizierte Rehabilitationsbedarf ergibt sich rechnerisch aus der Altersverteilung des aktuellen Leitungsbestands und den zu erwartenden Nutzungsdauern der Leitungsgruppen. Ausgangspunkt jeder Prognose- und Strategieberechnung ist daher der Leitungsbestand gegliedert nach Leitungsgruppen und Bauperioden. Aus dem Alter einer Leitung und der Nutzungsdauerverteilung kann auch der Erwartungswert der Restnutzungs-

dauer bestimmt werden. Das Modell berechnet hieraus den künftigen Erneuerungsbedarf der Leitungsgruppen in km-Leitungslänge (*Abb. 6.40*).

Der Netzbetreiber sollte auf diesen prognostizierten Bedarf mit einer angemessenen Strategie reagieren. Investitionsprogramme werden in der Regel für einen überschaubaren Zeitraum von fünf bis zehn Jahre festgelegt, während die Wirkungen über einen Zeithorizont von 40 bis 50 Jahren prognostiziert werden sollten.

Im Programm **KANEW** stehen hierfür verschiedene Rehabilitationsstrategietypen zur Verfügung:

- 1. Alterungs-Strategie**  
 Im Strategiezeitraum können für jede Leitungsgruppe Vorgaben hinsichtlich Umfang und Art von Erneuerungen definiert werden. Weiterhin können Rückbau- und Neubau (Netzerweiterung) berücksichtigt werden.
- 2. Zielwertstrategie**  
 Hier kann festgelegt werden, dass auf Netzebene (global) oder auf Ebene der Leitungsgruppen (lokal) eine maximale Schadensrate oder ein maximales Alter nicht überschritten wird. Gleichzeitig können auch vorhandene Budgetrestriktionen angegeben werden. Auf Basis dieser Vorgaben wird dann ein optimales Reha-Programm ermittelt, um die Zielvorgaben zu erreichen. Bei Vorgabe von Budgetrestriktionen kann es aber vorkommen, dass mit den vorhandenen finanziellen Mitteln ein gewünschter Zielwert trotzdem nicht eingehalten werden kann.
- 3. Prio-Strategie**  
 Wenn eine Einzelbewertung von Leitungsabschnitten vorliegt, z.B. mit KANEW ermittelt, kann ein Reha-Programm auf Basis von Erneuerungsprioritäten erstellt werden. Die Abschnitte mit der höchsten Priorität werden in dem Fall zuerst rehabilitiert.

Für jede Reha-Strategie werden Kennzahlen berechnet, die dann für einen Vergleich von alternativen Reha-Strategien genutzt werden können. Das sind z.B. die Entwicklung der **Schadensrate**, des **Netzalters** und der **Restnutzungsdauer** sowie **CAPEX** und **OPEX**.

In *Abb. 6.41* sind für zwei alternative Strategien und für den berechneten Bedarf die zukünftig erforderlichen den tatsächlichen Rehabilitationsraten der Vergangenheit gegenüber gestellt. Beide Strategien sind für zehn Jahre festgelegt, ihre Auswirkungen werden dagegen bis zum Jahr 2050 betrachtet. Strategie 1 orientiert sich dabei an den Erneuerungsraten, die in der Vergangenheit im Mittel bei 0,8 Prozent der Netzlänge lagen. In Strategie 2 wird der Extremfall unterstellt, dass in den kommenden zehn Jahren überhaupt keine grundlegenden Rehabilitationsmaßnahmen durchgeführt werden, sondern nur die dringendsten Schäden repariert werden. Darunter ist die Kostenbilanz für die Bedarfsprognose und beide Strategien dargestellt. Darin sind die Jahr für Jahr anfallenden, diskontierten Investitionskosten enthalten und als monetäre Nutzen die aufsummierten und ebenfalls diskontierten Kosten für Reparaturen und Verluste, die durch die neuen Rohrleitungen vermieden werden.

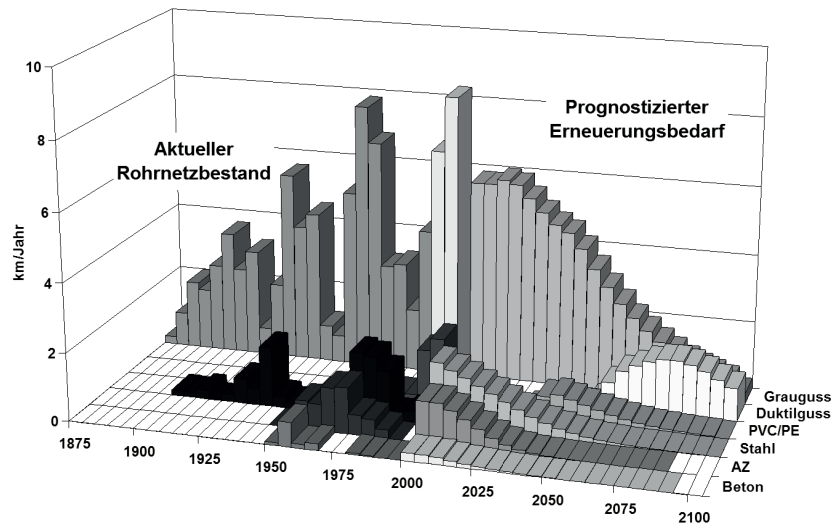


Abb. 6.40: Bestandslängen nach Leitungsgruppen und prognostizierter Erneuerungsbedarf

Wie nicht anders zu erwarten, ist das Nichtstun die zunächst deutlich günstigere Alternative. Sowohl bei der Bedarfsprognose als auch bei Strategie 1 zeigt sich jedoch bereits in den ersten Jahren eine deutlich positive Tendenz in der **Kostenbilanz**. Im Fall des Nichtstuns

wird dagegen der Investitionsbedarf nur auf die Zukunft verlagert. Deutlich zu sehen ist auch, dass sich die Investitionen so betrachtet erst nach ca. 30 Jahren rechnen, also erst weit über den heute üblichen Planungshorizont hinaus.

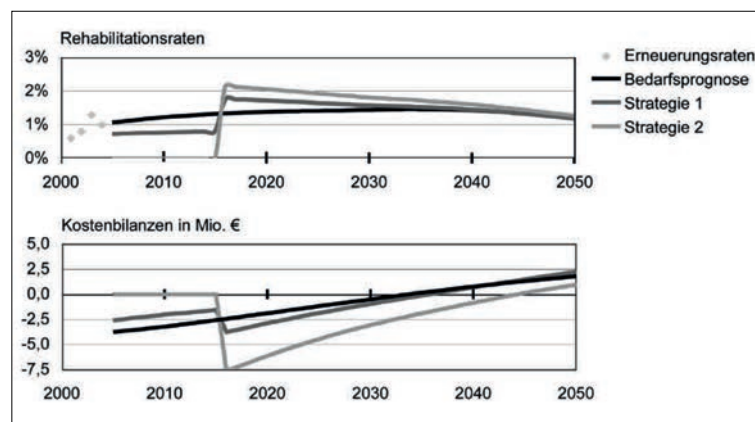


Abb. 6.41: Netzerneuerungsraten: Rehabilitation in der Vergangenheit, Bedarfsprognose und Strategieberechnungen (oben), und entsprechende Kostenbilanzen (unten) [Baur und Herz, 2004]

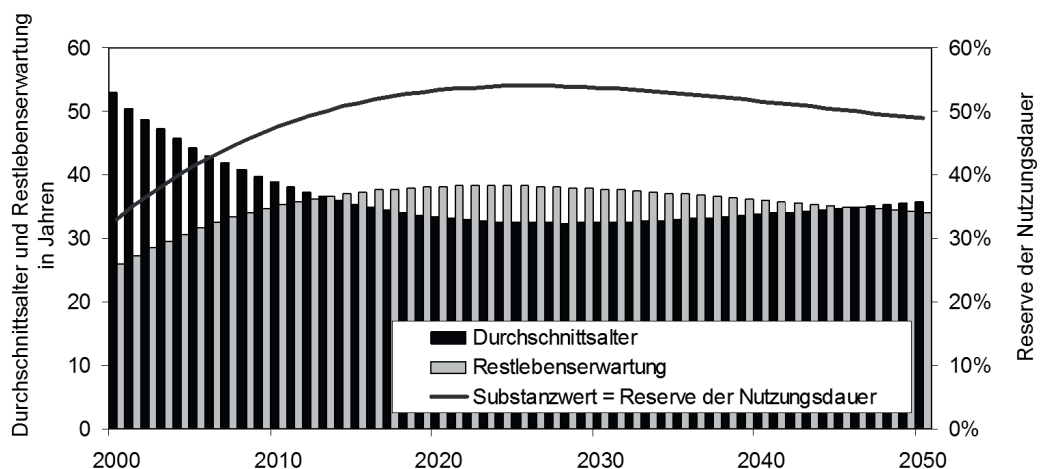


Abb. 6.42: Durchschnittsalter, Restlebenserwartung und Entwicklung des Substanzwerts



Langfristig sollte sich die Erneuerungsstrategie auch an der Entwicklung der Nutzungsdauerreserve orientieren [Kropp und Leuschke, 2005]. Sie kann als technischer **Substanzwert** definiert und folgendermaßen berechnet werden:

**Substanzwert =** **mittlere Restnutzungsdauer/mittlere Nutzungsdauer der Leitungen**

Restnutzungsdauer: mittlerer Erwartungswert für die Restnutzungsdauer der Leitungen

Nutzungsdauer: mittleres Alter + mittlere Restnutzungsdauer

In Abb. 6.42 ist diese Reserve der Nutzungsdauer neben der Entwicklung des Durchschnittsalters und der mittleren Restnutzungsdauer für die berechnete Bedarfsprognose dargestellt. Der technische Substanzwert ist eine relative Größe, die auf die Nutzungsdauererwartung der Leitung im jeweiligen Verlegejahr bezogen ist. Im Sinne einer nachhaltigen Zustands- und Wertentwicklung des Netzes sollte ein Absinken des technischen Substanzwerts unter 40% vermieden werden.

#### 6.3.4.6 Prioritäten bei der Netzerneuerung

Während die Entwicklung einer langfristig orientierten Strategie auf der Netzebene und der Ebene der Leitungsgruppen erfolgt, werden Prioritäten bei der Rehabilitation für einzelne Leitungsabschnitte festgelegt. Dies geschieht anhand festgelegter Entscheidungskriterien (z.B. **Kriterien in W403 [DVGW, 2010b]**) heute zumeist risikoorientiert.

Eine differenzierte Zustandsbewertung einzelner Leitungsabschnitte erfolgt durch eine detaillierte Auswertung der **Schadensdaten** und sollte auch die **hydraulischen Verhältnisse**, möglichst auf der Basis einer Modellrechnung, berücksichtigen. Das Alter der Rohrleitung ist von sekundärer Bedeutung. Allerdings lässt sich aus dem Alter in Verbindung mit der Leitungsgruppe die **Restnutzungsdauer** ableiten. Es kommt nicht nur auf die Häufigkeit bisheriger und künftiger Rohrbrüche und Leckagen an, sondern auch auf lokale

und globale Auswirkungen im Schadensfall. Beispielsweise führt ein Rohrbruch an einer Versorgungsleitung in einer Hauptverkehrsstraße mit mehreren Linien des öffentlichen Nahverkehrs zu weitaus höheren Kosten als dies der Fall wäre, wenn sich die Rohrleitung unter einer weniger bedeutsamen Nebenstraße befinden würde. Das **Schadensrisiko** ist – bei gleicher Schadenswahrscheinlichkeit – in der Hauptverkehrsstraße damit wesentlich höher. Für die Rehabilitation ergeben sich bei gleichem Schadensrisiko zwei Handlungsmöglichkeiten: Sind die Kosten im Schadensfall verhältnismäßig gering, kann lange Zeit reagiert und repariert werden; je höher die direkten und indirekten Kosten im Schadensfall werden, desto eher sollte auch bei geringer Schadensanfälligkeit vorbeugend erneuert werden. Abb. 6.43 zeigt eine Risiko-Matrix, wie sie mit KANEW erstellt werden kann.

Auf der x-Achse wird die Eintrittswahrscheinlichkeit eines Schadens dargestellt, auf der y-Achse die Auswirkungen eines Schadens. In beiden Fällen können mehrere Kriterien bei der Bewertung miteinander kombiniert und zusätzlich untereinander gewichtet werden, um bei Bedarf eine individuelle Bedeutung von Kriterien zu berücksichtigen.

Mit KANEW können Kriterien frei definiert werden. Je nach Datenverfügbarkeit und spezifischen Randbedingungen können Kriterien für eine Rohrnetzbewertung gewählt werden.

Kriterien für die Eintrittswahrscheinlichkeit können sein:

- Anzahl Schäden, die bereits aufgetreten sind
- Erwartete Anzahl Schäden in der Zukunft, berechnet durch die Schadensprognose
- Schadensfolgedichte; bewertet bei Leitungen mit mehr als einem Schaden den zeitlichen Abstand der jüngsten beiden Schäden, je näher diese beiden Schäden zeitlich zusammenliegen, desto schlechter ist der Zustand zu bewerten
- Zugehörigkeit zu einem besonders schlechten Werkstoff

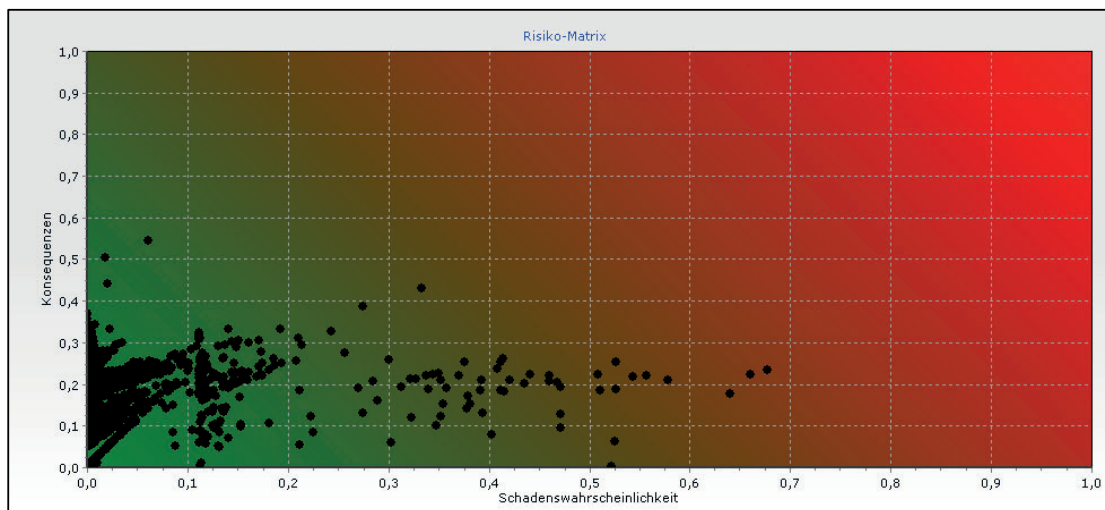


Abb. 6.43: Risiko-Matrix einer Rohrnetzbewertung

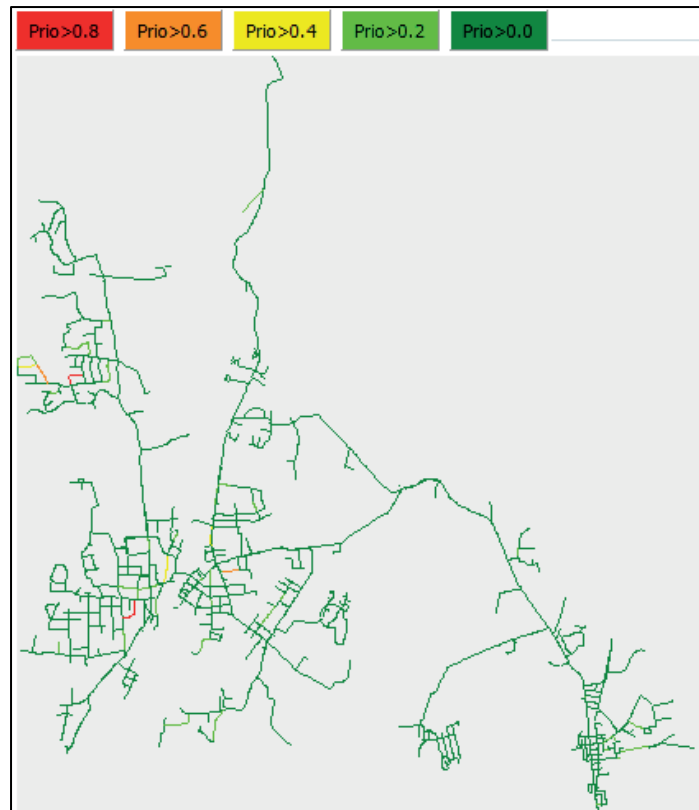


Abb. 6.44: Prioritäten aus der Rohrnetzbewertung

Kriterien für die Bewertung der Konsequenzen eines Schadens können sein:

- Wichtigkeit einer Leitung
- Entwicklung der Versorgungssicherheit bei einem Schaden (m-0-, m-1-Betrachtungen)
- Besondere, sensible und wichtige Kunden
- Örtliche Lage (z.B. Stadtzentrum, Stadtgebiet) und Lage im Straßenraum

Das Ergebnis der Rohrnetzbewertung kann auch grafisch mit geografischen Bezug dargestellt werden (Abb. 6.44).

Die topologische Lage der Leitungsabschnitte zueinander bildet dann die Voraussetzung für die Gruppierung von Abschnitten mit unterschiedlichen Prioritäten zu sinnvollen Reha-Maßnahmen. Das ist erforderlich, weil die Abschnitte häufig eine sehr unterschiedliche Länge aufweisen (als Datengrundlage dient das GIS) und es meist sehr kurze Abschnitte mit hohen Prioritäten gibt, die man aber nie einzeln rehabilitieren würde.

#### 6.3.4.7 Controlling mit Hilfe von Kennzahlen

Mit der Auswertung von **Kennzahlen** kann geprüft werden, ob die gesetzten Prioritäten bei der Rehabilitationsplanung auch dazu führen, dass die langfristig mit einer Strategie angestrebten Ziele erreicht werden. So kann die erfolgreiche Umsetzung einer Strategie gesteuert werden.

Hat die Rehabilitation mittelfristig auf bestimmte Kennzahlen keine oder nicht die gewünschte Wirkung, sollten zum einen die bei der Erneuerung gesetzten Prioritäten neu bewertet werden, zum anderen sollte das strategische Konzept einer Prüfung unterzogen werden.

#### 6.3.4.8 Datenaustausch

Der Standard-Datenaustausch erfolgt über ASCII-Textdateien im CSV-Format. Des Weiteren können ESRI Shapefiles eingelesen werden. Andere Datenquellen (z.B. GIS, Netzberechnungsprogramme) können über anpassbare Schnittstellen angebunden werden.

#### 6.3.4.9 (Mindest-) Datenanforderungen

- Bestandsdaten mit mindestens Angaben zu Material, Baujahr und Länge
- Schadensstatistik: mindestens aktuelle Schadensraten für jede Leitungsgruppe  
besser Einzelschäden mit Schadensdatum und direkter Verknüpfung zu den Bestandsdaten
- (Reha-Statistik für die Analyse von realen Nutzungsdauern)
- Ökonomische Kenngrößen
  - Abschreibungsdauer, (aktuelle Anlagenbuchwerte)
  - spezifische Kosten für Reparatur, Sanierung, Erneuerung
  - Inflationsrate, Diskontsatz





# 7 Sanierung von Abwasserkanälen und -leitungen

Dipl.-Ing. B. Diburg, Dr.-Ing. B. Bosseler

Die Sanierung der Kanalisationsnetze hat in den letzten zwei Jahrzehnten an Bedeutung gewonnen. Gestiegene Anforderungen an den Gewässerschutz und konkrete Fristsetzungen für die erstmalige Zustandserfassung der Kanäle (vgl. [MKULNV NRW, 2013], [WHG, 2013]) haben dazu geführt, dass sich ein völlig neuer Zweig der Bautechnik mit erkennbarer wirtschaftlicher Bedeutung entwickelt hat. Gleichzeitig haben auch Wissenschaft, Forschung und Entwicklung in diesem Bereich zu einem deutlichen Wissenszuwachs geführt. Unter den zahlreichen Veröffentlichungen und Fachbüchern sei an dieser Stelle das Standardwerk „Instandhaltung von Kanalisationen“ [Stein, 1998] besonders hervorgehoben. Sein Autor, Prof. Dr.-Ing. Dietrich Stein, hat in der Vergangenheit auch das Kapitel „Sanierung von Abwasserleitungen und Bauwerken“ des vorliegenden Skriptes maßgeblich gestaltet. Die Fassung des Sommersemesters 2004 bildete die Grundlage für die Erarbeitung der nun vorliegenden Ausführungen zum Thema Abwasserleitungen. Die Neufassung vom März 2014 enthält neben aktualisierten Texten, insbesondere auf Grundlage des DWA-Regelwerks, auch Praxisbeispiele aus Forschungsvorhaben des IKT – Institut für Unterirdische Infrastruktur.

## 7.1 Anforderungen an die Sanierung

### 7.1.1 Allgemeines

#### *Definition – Sanierung*

Beschädigte, mangelhafte und hydraulisch überlastete Abwasserleitungen und -kanäle stellen potenzielle Gefahrenquellen bezüglich Überflutungen, Einstürzen sowie Verunreinigungen von Oberflächenvorfluter, Grundwasser und Boden dar [DIN, 2008b]. Diese Gefahrenquellen zu beseitigen, ist die Aufgabe der Sanierung, die Gegenstand der nachfolgenden Ausführungen ist und die nach DIN EN 752 [DIN, 2008b] „Maßnahmen zur Wiederherstellung oder Verbesserung vorhandener Entwässerungssysteme“ umfasst.

#### *Begriffsbestimmungen*

In den folgenden Kapiteln werden die Begriffe der DIN EN 752 [DIN, 2008b] und des ATV-DVWK-M 143 Teil 1 [ATV-DVWK, 2004a] verwendet. Nach ATV-DVWK-M 143 Teil 1 beinhaltet die Instandhaltung von Kanalisationen die Maßnahmen der Wartung, der Zustandserfassung und der Sanierung. Der Begriff „Wartung“ wird in der DIN EN 752:2008 [DIN, 2008b] als „Unterhalt“ bezeichnet. Beide Begriffe werden gleichbedeutend angewandt und umfassen „Maßnahmen, die das Entwässerungssystem in einem Zustand erhalten, der die Betriebsfähigkeit gewährleistet bzw.

Routinemaßnahmen, die die ständige Leistungsfähigkeit des Entwässerungssystems sichern“. Zu den Maßnahmen der Sanierung zählen die

- Reparatur (Maßnahmen zur Behebung örtlich begrenzter Schäden),
- Renovierung (Maßnahmen zur Verbesserung der aktuellen Funktionsfähigkeit von Abwasserleitungen und -kanälen unter vollständiger oder teilweiser Einbeziehung ihrer ursprünglichen Substanz) und
- Erneuerung (Herstellung neuer Abwasserleitungen und -kanäle in der bisherigen oder einer anderen Linienführung, wobei die neuen Anlagen die Funktion der ursprünglichen Abwasserleitungen und -kanäle einbeziehen).

Die Sanierung dient der Wiederherstellung oder Verbesserung des

- baulichen (*Kap. 7.4.4 Bauliche Lösungen*),
- hydraulischen (*Kap. 7.4.2 Hydraulische Sanierung*),
- betrieblichen und
- umweltbezogenen (*Kap. 7.1.2.2 Ursachen und Folgen baulicher Schäden*)

Zustandes vorhandener Entwässerungssysteme (s. *Kap. 7.1.3 Anforderungen*).

Die durchzuführenden Maßnahmen nach [ATV-DVWK, 2004a] beinhalten:

- die Feststellung und Beurteilung des Istzustandes (*Kap. 7.2 Zustandserfassung, -klassifizierung und -bewertung*),
- die Erarbeitung von Lösungen (*Kap. 7.3 Planung der Sanierung*) und
- die Ausführung und Kontrolle.

### 7.1.2 Schäden, Schadensursachen, Schadensfolgen

#### 7.1.2.1 Abnutzungsvorrat und Qualitätsverlauf

Kanalisationen unterliegen dauernd oder zeitweise unterschiedlichen physikalischen, chemischen, biochemischen und biologischen Beanspruchungen.

#### *Beanspruchung der Kanalisation*

Diese Beanspruchungen können in Abhängigkeit von:

- Planung,
- Werkstoff,
- Bauausführung,
- Wartung,
- Art und Dauer der Nutzung und

- äußeren Einflüssen wie Baugrund, Verkehrsbelastungen u.ä.

mehr oder weniger schnell zum Abbau des ursprünglich vorhandenen Abnutzungsvorrates führen.

Abb. 7.1 zeigt einen beispielhaften Verlauf für die Abbaukurve des Abnutzungsvorrates nach DIN 31051 [DIN, 2012d]. Der Abnutzungsvorrat wird durch regelmäßige Inspektionen ermittelt und hängt einerseits von der Anlage selbst und andererseits von den Beanspruchungen und dem Wartungszustand des Bauwerkes ab.

Die Darstellung nach Abb. 7.1 findet ihre Grenzen unter anderem dann, wenn die Qualität eines Bauwerkes nicht allein durch die Abnutzung im Sinne eines Verschleißes beeinflusst wird, sondern weitere Einflussfaktoren – wie z.B. die Einbaubedingungen oder besondere Betriebsereignisse – an Bedeutung gewinnen. Ein Beispiel für die idealisierte Darstellung eines solch ungleichmäßigen bzw. un stetigen Qualitätsverlaufes zeigt Abb. 7.2. Die Gesamtqualität wird dabei charakterisiert

durch Qualitätsanforderungen aus baulicher, hydraulischer, betrieblicher und umweltbezogener Sicht (vgl. Definition nach DIN EN 752:2008 [DIN, 2008b]). Mögliche Ursachen für Änderungen der Bauwerksqualität bzw. der Qualitätsanforderungen an das Bauwerk sind z.B. mangelhafte Bettung oder Abdichtung der Rohrverbindungen während des Einbaus, Abrieb als Folge dauerhafter Betriebsbelastungen, qualitätsmindernde Einzelereignisse verursacht durch angrenzende Baumaßnahmen oder unzulässige Einleitungen sowie steigende Anforderungen während der Betriebsdauer hinsichtlich der abzuleitenden Abwassermenge (hydraulische Leistungsfähigkeit) oder durch höhere Verkehrslasten (Standicherheit).

Vor diesem Hintergrund wird deutlich, dass die Lieferqualität  $Q_L$  stets über der anfänglich erforderlichen Mindestqualität  $Q_{min}$  liegen muss, um die nötigen Reserven für künftige Qualitätseinflüsse und Änderungen der Qualitätsanforderungen vorzuhalten.

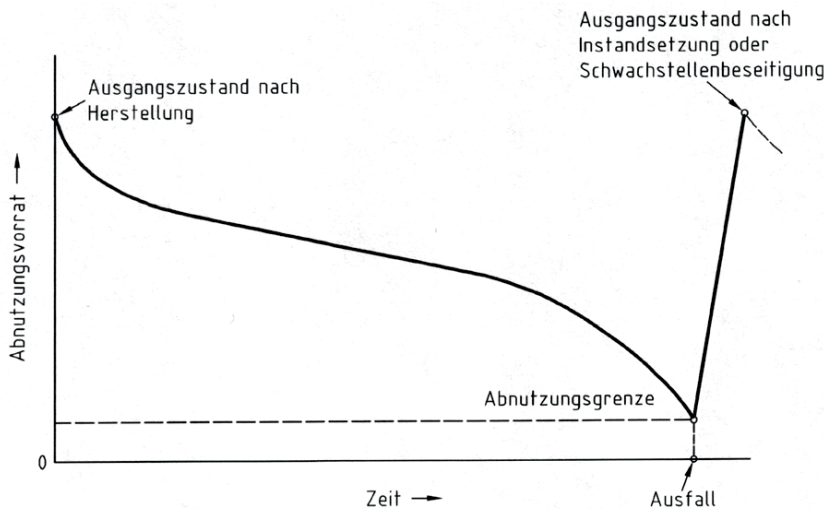


Abb. 7.1: Abbau des Abnutzungsvorrates und seine Erstellung durch Instandsetzung oder Verbesserung [DIN, 2012d]

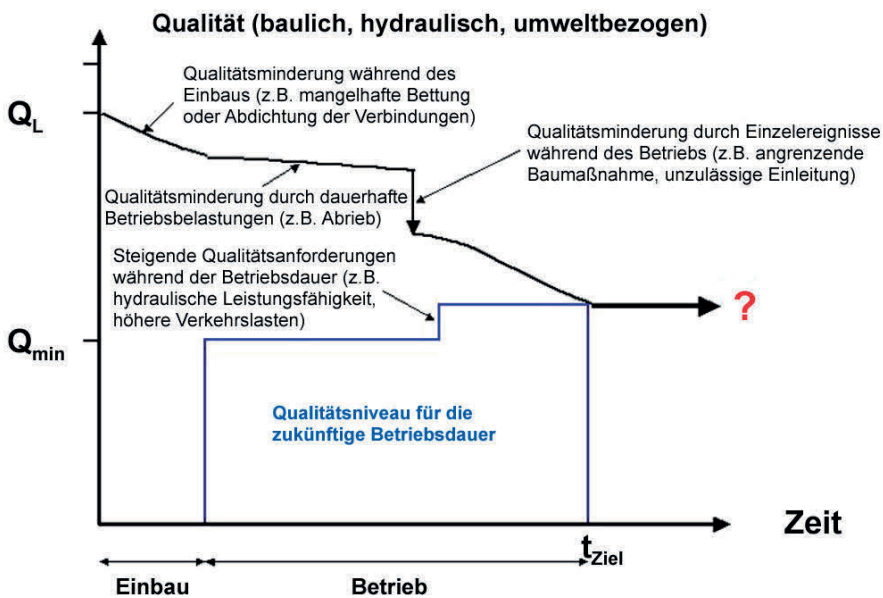


Abb. 7.2: Qualitätsverlauf während der Nutzung, Beispiel

Gegenstand aktueller fachlicher Diskussion bleibt, welche Maßnahmen zum Zeitpunkt  $t_{Ziel}$  zu ergreifen sind und wie dies bereits bei der Investitionsentscheidung zu berücksichtigen ist. Dies betrifft z.B. die Wahl des Entsorgungsweges, wie die Verwertung des Altkanals im Rahmen einer Sanierungsmaßnahme oder die Stilllegung des Objektes.

### 7.1.2.2 Ursachen und Folgen baulicher Schäden

#### Hydraulische und umweltrelevante Mängel

Kanalisationen können bauliche Schäden oder Mängel in Bezug auf die hydraulischen oder umweltrelevanten Anforderungen aufweisen, wobei mögliche Mängel bezüglich des Betriebs und Unterhalts in den baulichen Schäden bzw. hydraulischen Mängeln enthalten sind. Einen Überblick über mögliche bauliche Schäden, deren Ursachen und Folgen gibt das Merkblatt ATV-DVWK-M 143-1 [ATV-DVWK, 2004a].

Folgende Hauptschadensgruppen lassen sich unterscheiden:

- Schäden an Abzweig, Anschluss, Zuläufen,
- Rohrbruch, Rohrausbruch, Bruch allgemein,
- Korrosion,
- Verformung biegeweicher Rohrmaterialien, Deformation,
- Fehlanschluss,

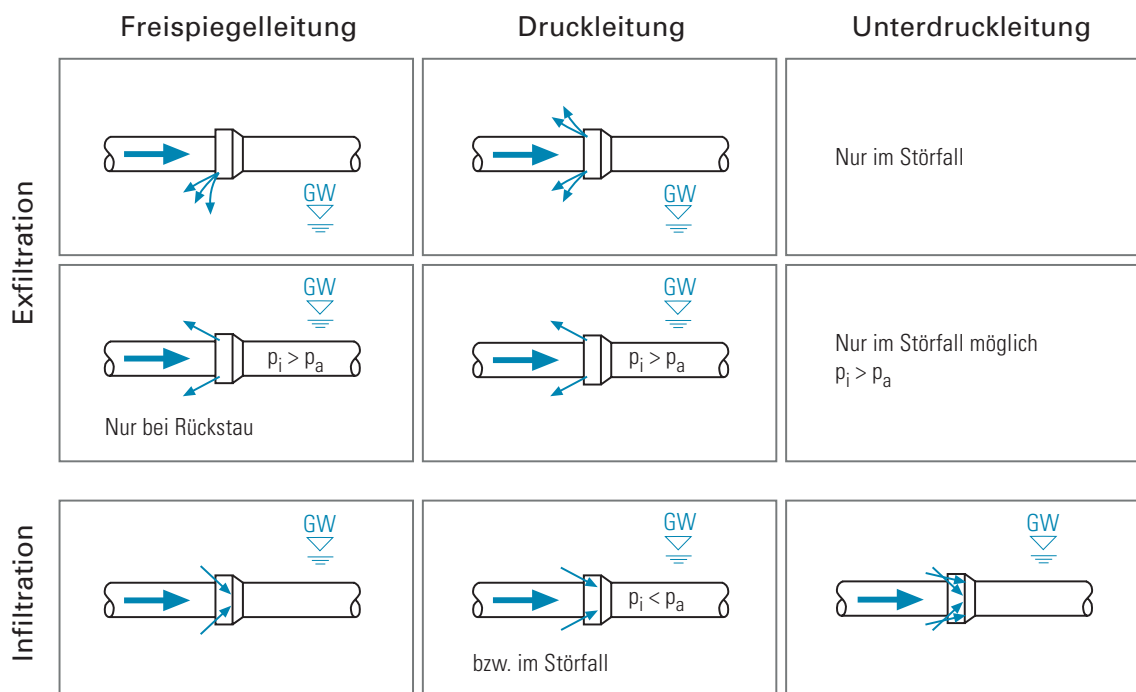
- Abflusshindernis,
- Fehler bei der Kanalsanierung,
- Lageabweichung,
- Risse, Brüche,
- Schäden an Stützen, Straßenablauf, Grundstücksanschluss,
- fehlende Teile,
- sichtbare Undichtigkeiten, Infiltration,
- mechanischer Verschleiß,
- Veränderungen des sonstigen Zustands.

#### Undichtigkeiten

Neben einer Beeinträchtigung der hydraulischen Leistungsfähigkeit der Entwässerungsnetze sowie der Standsicherheit, verbunden mit möglichen Verkehrsfährdungen, ist im Schadensfall fast immer von auftretenden Undichtigkeiten auszugehen.

Dies hat in Abhängigkeit von den hydrogeologischen Gegebenheiten eine Infiltration des Grundwassers, oftmals auch verbunden mit Bodeneinspülungen, oder eine Exfiltration des Abwassers, verbunden mit möglichen Kontaminationen des Bodens und Grundwassers, zur Folge (Abb. 7.3).

Auf weitere Mängel, die eine Sanierung aus hydraulischen und/oder umweltrelevanten Gründen erforderlich machen, wird in Kap. 7.1.3.2 Leistungsanforderungen eingegangen.



Bemerkung: Undichtigkeiten in der Rohrverbindung dargestellt

Abb. 7.3: Möglichkeiten der Ex- und Infiltration in Kanalisationen in Abhängigkeit des Innenwasserdrucks und des Grundwasserstandes [Stein, 1998]



### 7.1.2.3 Schadensbeispiel Wurzeleinwuchs

Die Komplexität möglicher Schadensfälle und -ursachen soll anhand eines anschaulichen Beispiels verdeutlicht werden: Wurzeleinwuchs in Kanäle. Dabei handelt es sich um eine der häufigsten Schadensarten im städtischen Bereich (vgl. [Berger und Falk, 2009]). Ca. 6 % aller auftretenden Schäden entstehen aus Verwurzungen [Stein und Kaufmann, 1993] und werden überwiegend im städtischen Verdichtungsraum beobachtet [Meyer, 1982]. Unter der Annahme, dass der o.g. Prozentsatz auch der Sanierungsquote entspricht, kann für Deutschland (vgl. [Bosseler et al., 2003a]) von einem jährlichen Sanierungsaufwand zur Beseitigung von Wurzelschäden von ca. 100 Mio. € ausgegangen werden.



Abb. 7.4: Wurzeleinwuchs in Schmutz- und Regenwasserkanäle [Stützel et al., 2004]

Das Auftreten von Wurzeleinwuchs wird ingenieurtechnisch häufig auf einen zu geringen Anpressdruck des Dichtungsmittels in der Rohrverbindung zurückgeführt. Biologische Aspekte werden bei der Ursachenfindung bisher nicht berücksichtigt, so dass auch zum Nachweis der Wurzelfestigkeit von Rohrverbindungen nur stark idealisierte mechanische Verfahren eingesetzt werden. Diese vernachlässigen i.d.R. die besonderen Versagensmechanismen aus der Interaktion zwischen Rohrleitung und Wurzeln, so dass auch die Netzbetreiber den bestehenden Prüfverfahren nur ein geringes Vertrauen entgegenbringen. Wiederholt auftretende Einwuchsschäden verstärken diese Verunsicherung der

Netzbetreiber bei der Auswahl zuverlässiger Rohrwerkstoffe und -verbindungen. Darüber hinaus fehlen auch den Rohrherstellern zur Entwicklung wurzelfester Rohrverbindungen geeignete Hinweise und Prüfergebnisse.

Im Rahmen des Forschungsvorhabens „Wurzeleinwuchs in Abwasserleitungen und -kanäle – Ursachen, Prüfung und Vermeidung –“ [Stützel et al., 2004] konnte nun festgestellt werden: Das zur Leitung gerichtete Wurzelwachstum ist eine Reaktion auf die Umgebung der Leitung und hier insbesondere des Porenraums des Bodens. Die Wurzeln suchen Raum für ihr Wachstum und finden diesen im porenraumreichen Bettungsmaterial der Rohrleitung und den Freiräumen der Muffenverbindungen der Rohre. Aus Leckagen austretendes Abwasser bzw. Nährstoffe sind von untergeordneter Bedeutung. Die Umgebungsbedingungen und Oberflächeneigenschaften des Rohres begünstigen somit den Einwuchs in die Leitung erheblich. Erst im zweiten Schritt entscheiden die Rohrverbindungseigenschaften über das Einwuchsisiko. Eine Behinderung des Wurzeleinwuchses ist dort im Wesentlichen über einen großen Gegendruck (Anpressdruck der Dichtungen) und eine wurzelabweisende Verbindungsgeometrie (geringe Ringräume und Angriffsflächen) möglich. Die Gasdichtheit der Verbindung kann Wachstumsreize weiter vermindern. Der Einwuchsvorgang lässt sich durch Kombination biologisch-technischer Modelle, wie das Leck-, Quellungs-, Sauerstoff- oder das Kombinationsmodell beschreiben. Die Ergebnisse dieses Vorhabens stehen unter <http://www.ikt.de> zum Download zur Verfügung. In den Forschungsvorhaben (vgl. [Stützel et al., 2007], [Bennerscheidt et al., 2007], [Bennerscheidt, 2007]) wurden weitere ungeklärte Fragestellungen zum Einwuchsverhalten von Wurzeln und zur Entfernung und Sanierung von Wurzeleinwuchs bearbeitet.

### 7.1.2.4 Praxisbeispiel Zustandsbildkatalog Abwasserschächte

Abwasserschächte besitzen eine besondere Bedeutung für den Umweltschutz. Durch undichte Schächte exfiltriert nicht nur Abwasser; bei hohem Grundwasserstand können auch erhebliche Fremdwassermengen infiltrieren und so die Abwasserreinigungsleistung von Kläranlagen und Regenbecken beeinträchtigen. Darüber hinaus haben Abwasserschächte eine hohe betriebliche Bedeutung für die Kommunen, da sie die Zugänglichkeit zu den Kanälen, zum Beispiel für Reinigungs- und Instandsetzungsmaßnahmen, sicherstellen und durch Belüftung des Kanalnetzes zur Verminderung von Korrosionsvorgängen und explosiven Gasen beitragen. Als Schnittstelle zum Straßenraum führen Mängel an Abwasserschächten auch zu erheblichen Verkehrsgefährdungen.

Beton- oder Mauerwerksschächte weisen besonders häufig folgende Schadensbilder auf<sup>10</sup>:

- Rohreinbindung einragend/undicht/nicht fachgerecht ausgeführt,
- Gerinne und Bankette schadhaf/undicht,
- Steighilfen korrodiert/schadhaf,

- Schachtwandungen/Schachtringverbindungen undicht,
- Setzung des Schachtes/Setzungen im Bereich um den Schacht.

Derzeit werden Schäden an Abwasserschächten von Kanalnetzbetreibern meist subjektiv eingeschätzt, da die zur Verfügung stehenden Schadensbeschreibungen nicht ausreichend sind und Referenzbeispiele fehlen. Auch in dem als Hilfe zur Kanalzustandsbewertung vom Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen herausgegebenen Zustandsreferenzkatalog [MUNLV NRW, o.J.] sind nur zwei Referenzbeispiele<sup>11</sup> für Schäden an Abwasserschächten enthalten. Vor diesem Hintergrund war eine fundierte Bewertung des Zustandes von Abwasserschächten in der Praxis bislang kaum möglich.

Für eine weitergehende Orientierung bei der Zustandserfassung und -bewertung von Schachtzuständen wurde daher der in [Bosseler und Puhl, 2006] und [IKT, 2007] dargestellte Zustandsbildkatalog erarbeitet. Die Zustandsbilder können im Internet unter <http://www.ikt.de/schachtsanierung> kostenlos heruntergeladen werden.

### 7.1.3 Anforderungen

#### 7.1.3.1 Funktionalanforderungen

Die Funktionalanforderungen an den Betrieb von Entwässerungssystemen sind in DIN EN 752:2008 [DIN, 2008b] wie folgt aufgeführt:

- Schutz vor Überflutung;
- Unterhaltbarkeit;
- Schutz des Oberflächenvorfluters;
- Grundwasserschutz;
- Vermeidung von Gerüchen sowie giftigen, explosiven oder korrosiven Gasen;
- Vermeidung von Lärm und Erschütterungen;
- nachhaltige Verwendung von Produkten und Werkstoffen;
- nachhaltige Verwendung von Energie;
- baulicher Zustand und Nutzungsdauer;
- Aufrechterhaltung des Abflusses;
- Wasserdichtheit;
- angrenzende Bauten sowie Ver- und Entsorgungseinrichtungen nicht gefährden;
- Beschaffenheit der Abwassereinleitungen in das System.

Diese Anforderungen stehen in mehr oder weniger starkem Zusammenhang zu den vier Zielen von Entwässerungssystemen:

- öffentliche Gesundheit und Sicherheit;
- Gesundheit und Sicherheit des Betriebspersonals;
- Umweltschutz und
- nachhaltige Entwicklung.

#### 7.1.3.2 Leistungsanforderungen

Auf der Grundlage der Funktionalanforderungen müssen für jedes Entwässerungssystem die jeweils spezifischen Leistungsanforderungen abgeleitet werden. Diese Leistungsanforderungen sind als tatsächlich messbare Größen maßgeblich für Planung, Bau, Betrieb, Unterhalt und Sanierung von Entwässerungssystemen. Anhand der festgelegten Leistungsanforderungen ist es möglich, die hydraulische, umweltrelevante, bauliche und betriebliche Leistungsfähigkeit eines Entwässerungssystems nachzuweisen.

In [ATV-DVWK, 2004a] sind Leistungsanforderungen an ein saniertes System, die besonders zu beachten sind, festgehalten:

- hydraulische Leistungsfähigkeit;
- Betrieb und Unterhalt;
- Auswahl der Werkstoffe;
- Einschränkungen bezüglich Zugänglichkeit und Einbaubedingungen;
- Behandlung der Anschlüsse und
- Werterhaltung.

Gemäß DIN EN 752:2008 [DIN, 2008b] können ausgehend von rechtlichen Anforderungen, öffentlichen Erwartungen und finanziellen Zwängen diese Leistungsanforderungen unterschiedlichen Prioritäten unterliegen. Zudem müssen sie in regelmäßigen Abständen überprüft und falls erforderlich, aktualisiert werden. Grundsätzlich müssen die Leistungsanforderungen an ein saniertes System denen an ein neues System entsprechen.

#### *Hydraulische Leistungsfähigkeit*

Entwässerungssysteme müssen aus hydraulischer Sicht so beschaffen sein, dass Überflutungen auf national oder lokal festgelegte Häufigkeiten unter Berücksichtigung der Rückstauenebene begrenzt bleiben. Das hydraulische Leistungsvermögen muss vorhersehbare Zunahmen der Abflussmenge für die Nutzungsdauer des Systems zulassen. Bei Mischwasserleitungen und -kanälen ist darauf zu achten, im Trockenwetterfall selbstreinhaltende Geschwindigkeiten für den Schmutzwasserabfluss einzuhalten [DIN, 2008b]. Grundsätzlich müssen die bei Trockenwetter und bei Regenwetter ankommenden Abwassermengen sicher, unter Einhaltung der von den zuständigen Stellen festgelegten Kriterien zum Schutz vor Überlastung und Überflutung und ohne unzulässige Verschmutzung der Vorfluter abgeleitet werden können.

Unter Überlastung eines Kanalnetzes versteht man nach [DIN, 2008b] den „Zustand, bei dem Schmutzwasser und/oder Niederschlagswasser in einem Freispiegelsystem oder in einer Kanalisation unter Druck abfließen, aber nicht an die Oberfläche gelangen und so keine Überflutung verursachen“.

Im Gegensatz dazu ist die Überflutung definiert als „Zustand, bei dem Schmutzwasser und/oder Nieder-

<sup>10</sup> Nach einer Auswertung der Angaben von 13 Betreibern öffentlicher Kanalnetze

<sup>11</sup> Im o.a. Zustandsreferenzkatalog finden sich Referenzbeispiele für die Schäden „Rohreinbindung undicht an Einlaufseite“ und „Schachtgerinne defekt“.

schlagswasser aus einem Entwässerungssystem entweichen oder nicht in dieses eindringen können und entweder auf der Oberfläche verbleiben oder in Gebäude eindringen“ [DIN, 2008b].

*Umweltrelevante Anforderungen*

Die umweltrelevanten Anforderungen müssen die Einhaltung der folgenden für die Umwelt maßgeblichen Funktionalanforderungen gewährleisten [DIN, 2008b]:

- Schutz des Oberflächenvorfluters,
- Grundwasserschutz,
- Vermeidung von Geruch, Giften, explosiven und korrosiven Gasen,
- Vermeidung von Lärm und Vibration und
- Minimierung der Verwendung von begrenzten Ressourcen.

Um Umweltauswirkungen auf ein für die zuständige Stelle vertretbares Maß zu begrenzen, ist eine Kontrolle der Verschmutzung am Entstehungsort zu berücksichtigen. Neben kurzfristigen sind auch kumulative und langfristige Folgen bei der Betrachtung von Umweltauswirkungen zu berücksichtigen.

*Bauliche Anforderungen*

In Anbetracht der zahlreichen Anforderungen an Abwasserleitungen und -kanäle sowie ihrer möglichen Wechselbeziehungen zueinander sollten in jedem Fall ganzheitliche Sanierungslösungen angestrebt werden. Das bedeutet, dass sich Untersuchungen und Planungen von Sanierungsmaßnahmen auf das gesamte Entwässerungsgebiet erstrecken sollten, um alle Probleme gemeinsam berücksichtigen zu können (s. Kap. 7.2 Zu-

*standserfassung, -klassifizierung und -bewertung und Kap. 7.3 Planung der Sanierung).*

Alle Sanierungsmaßnahmen sind so zu planen und durchzuführen, dass der Sollzustand eines Bauteils, eines Haltungsabschnittes, einer Haltung, eines Netzbezuges oder des gesamten Entwässerungssystems nach erfolgter Sanierung mindestens den gleichen Anforderungen genügt, die für eine neu herzustellende Kanalisation gelten (s. Abb. 7.2).

Dies trifft auch für die dabei eingesetzten Werkstoffe und Bauteile zu. Beispielhaft zeigt Tab. 7.1 mögliche Werkstoffbeanspruchungen in Kanalisationen und die entsprechenden Werkstoffeigenschaften.

*Betriebliche Anforderungen*

Die betrieblichen Aspekte haben Bezug zu allen Funktionalanforderungen und müssen bei Planung, Bau und Sanierung berücksichtigt werden [DIN, 2008b]. Risiken für Gesundheit und Sicherheit des Betriebspersonals müssen bei der Planung bereits minimiert werden. Die Kosten für den Unterhalt des Systems sind ebenfalls zu berücksichtigen.

Der Betrieb und Unterhalt ist mit folgenden Zielen verbunden [DIN, 2008b]:

- Sicherstellung der ständigen Betriebsbereitschaft und -fähigkeit des gesamten Systems im Rahmen der gestellten Anforderungen;
- Sicherstellung eines sicheren, umweltverträglichen und wirtschaftlichen Betriebs des Systems und
- Sicherstellung, dass bei Ausfall eines Systemteils die Betriebsfähigkeit anderer Teile so wenig wie möglich beeinträchtigt wird.

Tab. 7.1: Werkstoffbeanspruchung in Kanalisationen und entsprechende Werkstoffeigenschaften, nach [Stein, 1998]

Werkstoffbeanspruchung		Werkstoffeigenschaft
Mechanisch durch	Transport	Schlag- und Stoßfestigkeit
	Einbau	Schlag- und Stoßfestigkeit
	Erdauflast, Bodenmaterial, Verdichten, Verkehrsbelastung	Formbeständigkeit, Tragfähigkeit, Druckfestigkeit
	Setzungen	Beweglichkeit in der Muffe
	Wasserdruck, Auftrieb	Gewicht, Druckfestigkeit
	Innendruck	Materialzugfestigkeit
Chemisch durch	Hohe Fließgeschwindigkeit, Transportierte Feststoffe, Reinigungsgeräte	Harte Rohroberfläche, Abriebfestigkeit
Chemisch durch	Anorganische Säuren, Laugen, Salze, Organische Substanzen, Lösemittel, Wechselnde Zusammensetzung des Abwassers, Kondensat, Dämpfe, Biologische Reaktionen	Korrosionsfeste Oberfläche der Rohre und der Muffenverbindungen
Sonstige durch	Durchwurzelung, Temperatur	Wurzelfeste Muffenverbindung, Temperaturbeständigkeit



### 7.1.3.3 Normung, Richtlinien und Zulassungen

#### Wichtige Normen und Regelwerke

Der DIN-Fachbericht CEN/TR 15128 [CEN, 2005] gibt eine Übersicht über europäische Normen für die Sanierung von Entwässerungssystemen.

Folgende europäische Normen befassen sich mit der Zustandsbeschreibung, Planung und Auslegung, Produktanforderungen, Reparatur, Renovierung, Erneuerung, Einbau und Abnahmeprüfung im Rahmen der Sanierung von Abwasserkanälen und -leitungen (vgl. [CEN, 2005]). Die Reihenfolge entspricht den o.a. betrieblichen Abläufen und Anforderungen:

- EN 13508-1:2003: Zustandserfassung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden – Teil 1: Allgemeine Anforderungen,
- EN 13508-2:2003 + A1:2011: Zustandserfassung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden – Teil 2: Kodiersystem für die optische Inspektion,
- EN 752:2008: Entwässerungssysteme außerhalb von Gebäuden,
- EN 805:2000: Wasserversorgung – Anforderungen an Wasserversorgungssysteme und deren Bauteile außerhalb von Gebäuden,
- EN 14801:2006: Bedingungen für die Klassifizierung von Produkten für Rohrleitungssysteme für die Wasserversorgung und Abwasserentsorgung nach auftretenden Drücken,
- EN ISO 11295:2010: Klassifizierung von Kunststoff-Rohrleitungssystemen für die Renovierung und Informationen zur Planung,
- EN 13380:2001: Allgemeine Anforderungen an Bauteile für die Renovierung und Reparatur von Abwasserleitungen und -kanälen außerhalb von Gebäuden,
- EN ISO 11296-1:2011: Kunststoff-Rohrleitungssysteme für die Renovierung von erdverlegten drucklosen Entwässerungsnetzen (Freispiegelleitungen) Teil 1: Allgemeines,
- EN 13566-2:2005: Kunststoff-Rohrleitungssysteme für die Renovierung von erdverlegten drucklosen Entwässerungsnetzen (Freispiegelleitungen) Teil 2: Rohrstrang-Lining,
- EN ISO 11296-3:2011: Kunststoff-Rohrleitungssysteme für die Renovierung von erdverlegten drucklosen Entwässerungsnetzen (Freispiegelleitungen) – Teil 3: Close-Fit-Lining,
- EN ISO 11296-4:2011: Kunststoff-Rohrleitungssysteme für die Renovierung von erdverlegten drucklosen Entwässerungsnetzen (Freispiegelleitungen) – Teil 4: Vor Ort härtendes Schlauch-Lining,
- EN 13566-7:2007: Kunststoff-Rohrleitungssysteme für die Renovierung von erdverlegten drucklosen Entwässerungsnetzen (Freispiegelleitungen) – Teil 7: Wickelrohr-Lining,
- EN 295-7:1995: Steinzeugrohre und Formstücke sowie Rohrverbindungen für Abwasserleitungen

und -kanäle – Teil 7: Anforderungen an Steinzeugrohre und Verbindungen beim Rohrvortrieb,

- EN 295-7:2010: Steinzeugrohrsysteme für Abwasserleitungen und -kanäle – Teil 7: Anforderungen an Rohre und Verbindungen beim Rohrvortrieb,
- EN 1916:2002: Rohre und Formstücke aus Beton, Stahlfaserbeton und Stahlbeton und
- EN 12889:2000: Grabenlose Verlegung und Prüfung von Abwasserleitungen und -kanälen.

Ergänzend befassen sich verschiedene Merkblätter der DWA (früher ATV bzw. ATV-DVWK) mit dem Bau, dem Betrieb und der Sanierung von Entwässerungssystemen:

- ATV-DVWK-M 143-1: Sanierung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden; Teil 1: Grundlagen [ATV-DVWK, 2004a],
- DWA-A 143-3: Sanierung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden - Teil 3: Vor Ort härtende Schlauchliner - Entwurf [DWA, 2012a],
- ATV-DVWK-M 143-4: Sanierung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden, Teil 4: Montageverfahren für begehbare Abwasserleitungen und -kanäle und Bauwerke [ATV-DVWK, 2004c],
- ATV-M 143 Teil 6: Dichtheitsprüfung bestehender, erdüberschütteter Abwasserleitungen und -kanäle und Schächte mit Wasser, Luftüber- und Unterdruck – Inspektion, Instandsetzung, Sanierung und Erneuerung von Abwasserkanälen und -leitungen [ATV, 1998],
- ATV-DVWK-M 143 Teil 7: Sanierung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden, Teil 7: Reparatur von Abwasserleitungen und -kanälen durch Kurzliner und Innenmanschetten [ATV-DVWK, 2003],
- ATV-DVWK-M 143-8: Sanierung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden, Teil 8: Injektionsverfahren zur Abdichtung von Abwasserleitungen und -kanälen [ATV-DVWK, 2004d],
- ATV-DVWK-M 143-9: Sanierung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden, Teil 9: Renovierung von Abwasserleitungen und -kanälen durch Wickelrohrverfahren [ATV-DVWK, 2004e],
- DWA-M 143-10: Sanierung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden, Teil 10: Noppenschlauchverfahren für Abwasserleitungen und -kanäle [DWA, 2006a],
- ATV-DVWK-M 143-11: Sanierung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden, Teil 11: Renovierung von Abwasserleitungen und -kanälen mit vorgefertigten Rohren ohne Ringraum (Close-Fit-Lining) [ATV-DVWK, 2004b],
- DWA-M 143-14: Sanierung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden, Teil 14: Sanierungsstrategien [DWA, 2005a],
- DWA-M 143-15: Sanierung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden, Teil 15: Erneuerung von Abwasserleitungen und -kanälen durch Berstverfahren [DWA, 2005b],

- DWA-M 143-16: Sanierung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden, Teil 16: Reparatur von Abwasserleitungen und -kanälen durch Roboterverfahren [DWA, 2006b],
- DWA-M 143-17: Sanierung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden, Teil 17: Beschichtung von Abwasserleitungen, -kanälen und Schächten mit zementgebundenen mineralischen Mörteln [DWA, 2006c],
- DWA-M 144-3: Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen (ZTV) für die Sanierung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden - Teil 3: Renovierung mit Schlauchliningverfahren (vor Ort härtendes Schlauchlining) für Abwasserkanäle [DWA, 2012b],
- DWA-M 149-2: Zustandserfassung und -beurteilung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden - Teil 2: Kodiersystem für die optische Inspektion [DWA, 2013],
- DWA-M 149-3: Zustandserfassung und -beurteilung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden, Teil 3: Zustandsklassifizierung und -bewertung [DWA, 2007],
- DWA-M 149-4: Zustandserfassung und -beurteilung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden, Teil 4: Detektion von Lagerungsdefekten und Hohlräumen mittels geophysikalischer Verfahren [DWA, 2008b],
- DWA-M 149-5: Zustandserfassung und -beurteilung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden, Teil 5: Optische Inspektion [DWA, 2010].

Darüber hinaus sind die generellen Anforderungen an Entwässerungssysteme in folgenden weiteren Normen enthalten:

- DIN EN 752:2008: Entwässerungssysteme außerhalb von Gebäuden [DIN, 2008b],
- DIN 1986-100, Ausgabe:2008-05: Entwässerungsanlagen für Gebäude und Grundstücke – Teil 100: Bestimmungen in Verbindung mit DIN EN 752 und DIN EN 12056 [DIN, 2008a],
- DIN EN 12056 Teil 1 bis 5: Schwerkraftentwässerungsanlagen innerhalb von Gebäuden [DIN, 2001b],
- DIN EN 1610: Verlegung und Prüfung von Abwasserleitungen und -kanälen [DIN, 1997b],
- DIN EN 476:2011: Allgemeine Anforderungen an Bauteile für Abwasserleitungen und -kanäle [DIN, 2011g],
- DWA-A 139: Einbau und Prüfung von Abwasserleitungen und -kanälen [DWA, 2009b],
- DWA-A 125: Rohrvortrieb und verwandte Verfahren [DWA, 2008a].

Neben diesen übergeordneten Normen und Arbeitsblättern sind die jeweiligen Fachnormen für die Rohrwerkstoffe sowie für die Dichtstoffe und Dichtringe zu berücksichtigen.

### *Prüf- und Zulassungspflicht*

Für Bauprodukte und Bauarten, die im privaten Bereich eingesetzt werden, müssen – sofern vorhanden – normative Anforderungen erfüllt werden bzw. eine Zulassung bzw. ein Prüfzeugnis des Deutschen Institut für Bautechnik, Berlin, vorliegen (vgl. [DIBt, 2014b], [DIBt, 2014a]). Die Regelungsgrundlagen sind nachfolgend zusammengefasst:

Das „Inverkehrbringen“ von Bauprodukten wird in der Bundesrepublik Deutschland durch das Bauproduktengesetz geregelt. Die Umsetzung des Bauproduktengesetzes auf Länderebene regeln die Landesbauordnungen, die in allen Ländern im Wesentlichen gleich sind, da ihnen die Musterbauordnung zugrunde liegt [DIBt, 2014b].

Die Landesbauordnungen schreiben vor, dass die von den obersten Bauaufsichtsbehörden der Länder durch öffentliche Bekanntmachung eingeführten technischen Regeln für Bauprodukte zu beachten sind. Diese technischen Regeln für Bauprodukte werden durch das Deutsche Institut für Bautechnik (DIBt) im Einvernehmen mit der obersten Bauaufsichtsbehörde in der Bauregelliste A bekannt gemacht.

In der Landesbauordnung wird im Wesentlichen unterschieden zwischen geregelten und nicht geregelten Bauprodukten. Geregelte Bauprodukte entsprechen den in der Bauregelliste A Teil 1 bekannt gemachten technischen Regeln oder weichen von ihnen nicht wesentlich ab. Nicht geregelte Bauprodukte sind Bauprodukte, die wesentlich von den in der Bauregelliste A Teil 1 bekannt gemachten technischen Regeln abweichen oder für die es keine Technischen Baubestimmungen oder allgemein anerkannte Regeln der Technik gibt.

Geregelte und nicht geregelte Bauprodukte dürfen verwendet werden, wenn ihre Verwendbarkeit in einem für sie geforderten Übereinstimmungsnachweis bestätigt ist und sie deshalb das Übereinstimmungszeichen (Ü-Zeichen) tragen. Die jeweils erforderliche Art des Nachweises der Übereinstimmung wird vom DIBt in der Bauregelliste A Spalte 4 u. 5 festgelegt. Der Nachweis der Verwendbarkeit ergibt sich:

- a) für **geregelte Produkte** aus der Übereinstimmung mit den bekannt gemachten technischen Regeln, wobei unterschieden wird zwischen:
  - Übereinstimmungserklärung des Herstellers (ÜH),
  - Übereinstimmungserklärung des Herstellers nach vorheriger Prüfung des Bauproduktes durch eine anerkannte Prüfstelle (ÜHP) und
  - Übereinstimmungszertifikat durch eine anerkannte Zertifizierungsstelle (ÜZ).
- b) Für **nicht geregelte Bauprodukte** ergibt sich der Nachweis der Verwendbarkeit – sofern keine Zustimmung im Einzelfall vorliegt – aus der Übereinstimmung mit
  - der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung (Z) oder
  - dem allgemeinen bauaufsichtlichen Prüfzeugnis (P).

**Allgemeine bauaufsichtliche Zulassungen (Z)** (häufig als DIBt-Zulassungen bezeichnet) werden durch das

Deutsches Institut für Bautechnik (DIBt) erteilt, das hierzu Prüfkriterien auf Grundlage der technischen Regeln erarbeitet. Mit der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung ist die Verwendbarkeit bzw. Anwendbarkeit des Zulassungsgegenstandes im Sinne der Landesbauordnung nachgewiesen.

Bauprodukte, deren Verwendung nicht erhebliche Auswirkungen auf die Sicherheit einer baulichen Anlage haben oder die nach allgemein anerkannten Prüfverfahren beurteilt werden können, bedürfen anstelle einer allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung nur eines **allgemeinen bauaufsichtlichen Prüfzeugnisses**. Dieses allgemeine bauaufsichtliche Prüfzeugnis kann von einer DIBt-anerkannten Prüfstelle vergeben werden.

#### 7.1.4 Praxisbeispiel IKT-Warentest

Die Anforderungen an das Sanierungsergebnis werden nicht nur übergreifend in Normen, Richtlinien und Zulassungen formuliert. Die Netzbetreiber stehen in der Verantwortung, z.B. im Rahmen einer Ausschreibung, sehr konkrete Qualitätsanforderungen an das Ergebnis einer einzelnen Sanierungsmaßnahme zu stellen. Diese hängt außer von dem grundsätzlich in solchen Fällen zu erzielendem Sanierungsergebnis auch von den lokalen Randbedingungen und der Leistungsfähigkeit der am Markt verfügbaren Sanierungsverfahren ab. Zur Einschätzung der Leistungsfähigkeit von Sanierungsverfahren bieten sich dann z.B. vergleichende Warentests an, wie sie bereits aus dem Konsumgüterbereich bekannt sind.

Ziel der IKT-Warentests ist es, Netzbetreibern zuverlässige und unabhängige Informationen über Eigenschaften von marktgängigen Produkten zur Verfügung zu stellen. Bislang fehlen im Bereich Leitungsbau und -sanierung solche Auskünfte fast vollständig. Informationen über Produkteigenschaften erhalten die Auftraggeber nahezu ausschließlich aus der Werbung und den Prospekten der Anbieter, die potenzielle Kunden von der vermeintlichen Qualität eines Produktes überzeugen sollen.

Ein zentraler Aspekt des IKT-Warentests ist die praxisnahe Bewertung der Produktqualität, z.B. unter Betriebsbedingungen. Nicht das Einhalten einzelner Normen bzw. Regelwerke steht im Vordergrund der Prüfungen, sondern die zuverlässige Erfüllung der von den Netzbetreibern gestellten Anforderungen im Bau- und Betriebszustand. Über die Lebensdauer zu erwartende Zustände und Belastungen, durch z.B. Grundwasser, Erddrücke, Verkehrsbelastung oder HD-Reinigung rücken in den Mittelpunkt der Betrachtung. Im Ergebnis stehen den Netzbetreibern dann unabhängige, praxisorientierte und fachlich fundierte Informationen zu den Stärken und Schwächen sowie den Einsatzmöglichkeiten und -grenzen der untersuchten Produkte zur Verfügung. Verbesserungspotentiale werden aufgezeigt und gleichzeitig ein entsprechender Marktdruck aufgebaut, damit diese Potenziale von den Anbietern auch genutzt werden.

In Arbeitssitzungen mit den beteiligten Netzbetreibern werden die Testinhalte abgestimmt und festgelegt. Schwerpunkte der Untersuchungen sind

- Qualitätssicherung,

- Systemprüfung und
- Baustellen-Untersuchung.

Der Prüfungsschwerpunkt „Qualitätssicherung“ befasst sich mit der Fragestellung, ob und wie der Anbieter den Einsatz seines Produktes bzw. Verfahrens unterstützt, so dass qualitativ hochwertige Ergebnisse beim Einbau oder der Sanierung erzielt werden. Die Systemprüfung der Produkte oder Verfahren findet üblicherweise in Teststrecken mit simulierten Schäden statt. Die Produkte werden einem umfassenden Prüfprogramm unterzogen, in dessen Mittelpunkt die Ermittlung der Einsatzmöglichkeiten und -grenzen der getesteten Produkte und Verfahren unter realitätsnahen Bau- und Betriebsbeanspruchungen steht. So werden die Produkte und Verfahren beispielsweise hydraulischen, mechanischen und chemischen Belastungen ausgesetzt. Durch die Prüfung unter Betriebsbelastung wird deutlich, welche Qualitätsveränderungen des getesteten Produktes oder Verfahrens unter üblichen Betriebsbeanspruchungen tendenziell zu erwarten sind. Die Baustellen-Untersuchung der Produkte und Verfahren zeigt, inwieweit die Handhabbarkeit unter In-situ-Bedingungen gegeben ist.

Im IKT – Institut für Unterirdische Infrastruktur sind bislang drei Produktgruppen der Sanierung in Warentests geprüft worden:

- IKT-Warentest „Reparaturverfahren für Anschlussstutzen“ [Bosseler und Kaltenhäuser, 2004] und
- IKT-Warentest „Hausanschluss-Liner“ [Kaltenhäuser, 2005].
- IKT-Warentest „Reparaturverfahren für Hauptkanäle“ [IKT, 2009] und
- IKT-Warentest „Hausanschluss-Liner – Teil 2“ [IKT, 2010].

Die Ergebnisse der IKT-Warentests stehen unter [www.ikt.de](http://www.ikt.de) kostenlos zum Download zur Verfügung.

## 7.2 Zustandserfassung, -klassifizierung und -bewertung

### *Aufgabe und Ziel der Instandhaltung*

Aufgabe und Ziel der Instandhaltung ist es, mit möglichst geringem Aufwand für Inspektion, Wartung und Sanierung ein in allen seinen Teilen funktionstüchtiges Bauwerk bis zum Ende der geplanten Nutzungsdauer zu erhalten.

Eine der wichtigsten Voraussetzungen hierfür ist das frühzeitige Erkennen von Schäden einschließlich ihrer Ursachen. Diese Aufgabe hat insbesondere die Inspektion zu erfüllen.

Die rechtliche Notwendigkeit der Zustandserfassung ergibt sich nach [DWA, 2013] und [DWA, 2010] aus der Verkehrssicherungspflicht nach BGB und den allgemeinen Sorgfaltspflichten des Betreibers der Kanalisation. Diese sind im Wasserhaushaltsgesetz (WHG), insbesondere in § 5, sowie in den Landeswassergesetzen und in länderspezifischen Regelungen (Verordnungen, Verwaltungsvorschriften, Erlasse) festgelegt [WHG, 2013]. Schadhafte Kanalisationen können zu Abwas-



serexfiltration oder Grundwasserinfiltration führen und dadurch eine Umweltgefährdung darstellen. Die regelmäßige Inspektion ist somit eine Voraussetzung zur Vermeidung haftungsrechtlich ([WHG, 2013], [HaftPflG, 2002]), abgaberechtlich [AbwAG, 2010], ordnungsrechtlich [WHG, 2013] und strafrechtlich [StGB, 2013] relevanter Störungen sowie zur wirtschaftlichen Betriebsführung bei der Abwasserableitung.

Detaillierte Ausführungen zur Zustandserfassung, -klassifizierung und -bewertung sind den folgenden technischen Regelwerken zu entnehmen:

- DIN EN 13508-1 „Untersuchung und Beurteilung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden - Teil 1: Allgemeine Anforderungen“ [DIN, 2013a],
- DIN EN 13508-2:2003 „Untersuchung und Beurteilung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden - Teil 2: Kodiersystem für die optische Inspektion“ [DIN, 2011f],
- ATV-DVWK-M 143-1: Sanierung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden; Teil 1: Grundlagen [ATV-DVWK, 2004a],
- ATV-M 149 Teil 2: Zustandserfassung und -beurteilung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden - Teil 2: Kodiersystem für die optische Inspektion [DWA, 2013],
- ATV-M 149 Teil 5: Zustandserfassung und -beurteilung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden - Teil 5: Optische Inspektion [DWA, 2010].

Die nachfolgende Darstellung fasst die dort beschriebenen Aspekte zusammen.

### 7.2.1 Zustandserfassung

Unter Zustandserfassung versteht man nach ATV M 143 Teil 1 [ATV-DVWK, 2004a] Maßnahmen zur Feststellung und Beurteilung des Istzustandes.

#### Inhalte

Diese Maßnahmen beinhalten in Anlehnung an DIN 31051 [DIN, 2012d]:

- Erstellen eines Inspektionsplanes unter Berücksichtigung des Bauzustandes sowie hydraulischer und umweltrelevanter Belange,
- Vorbereitung der Durchführung,
- Durchführung,
- Dokumentation der Inspektionsergebnisse,
- Auswertung der Inspektionsergebnisse zur Beurteilung des Istzustandes und
- Ableitung notwendiger Konsequenzen aufgrund der Auswertung.

Diese Konsequenzen können in erster Linie sein:

- Durchführung weitergehender und/oder zusätzlicher Maßnahmen der Inspektion in ausgewählten Haltungen oder Haltungsbereichen,
- Änderung der Wartungs- und Inspektionsintervalle und
- Einleitung von Maßnahmen zur Sanierung.

#### Möglichkeiten der Inspektion

Die optische Inspektion kann nach DIN EN 13508-2 auf eine der folgenden Arten durchgeführt werden:

- Inspektion der Rohrleitung von innen,
- Inspektion der Rohrleitung von einem Schacht oder einer Inspektionsöffnung aus,
- Inspektion des Schachtes oder der Inspektionsöffnung von innen,
- Inspektion des Schachtes oder der Inspektionskammer von der Oberfläche aus.

Die Erfassung des Istzustandes von Kanalisationen erfolgt in der Regel durch Inneninspektion, also qualitativ mit Hilfe optischer Verfahren. Nach DIN EN 13508-2 [DIN, 2011f] können verschiedene Inspektionsstechniken verwendet werden, wie:

- ferngesteuerte TV-Kamera,
- Begehen durch Personal,
- Spiegelung,
- Fotokamera.

Weitere quantitative und qualitative Untersuchungsverfahren können nach Bedarf eingesetzt werden. Dazu gehören Schallmessgeräte (für mit Wasser gefüllte Rohre) sowie Radar oder andere geophysikalische Verfahren (z.B. zur Feststellung von Hohlräumen hinter der Kanalwand) oder mechanische Verfahren (z.B. Abdrücken von Innen, um die Wandsteifigkeit zu messen). [DIN, 2008b].

Die optische Inneninspektion dient nach ATV-M 149-2 und ATV-M 149-5 [DWA, 2013], [DWA, 2010] der qualitativen Feststellung des Ist-Zustandes von Kanalisationen oder ihrer Teile, wie Abwasserleitungen und -kanäle, Schächten und Inspektionsöffnungen einschließlich der Grundstücksentwässerung im Rahmen der Instandhaltung. Die Inspektion ist damit ein wesentlicher Bestandteil des Kanalbetriebs. Die Inspektion von Kanalisationen wird üblicherweise durchgeführt zur:

- Feststellung von Betriebsstörungen,
- planmäßigen Inspektion im Rahmen der Selbstüberwachung,
- Vorbereitung/Ausführung von Sanierungsmaßnahmen.

Darüber hinaus wird die optische Inspektion auch eingesetzt im Rahmen der

- Bauabnahme
- Abnahme von Baumaßnahmen vor Ablauf der Gewährleistungsfrist und für die
- Durchführung von Sonderuntersuchungen (z.B. Beweissicherung, Bestandserfassung, Fremdwassereintritt).

### 7.2.2 Zustandsklassifizierung und -bewertung

Neben dem System der Abwassertechnischen Vereinigung nach DWA-M 149-3 „Zustandserfassung und -beurteilung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden - Teil 3: Zustandsklassifizierung und -bewertung“ [DWA, 2007] existiert eine Vielzahl von Zustandsklassifizierungs- und Bewertungsmodellen. Zu

den bekanntesten Modellen zählen (vgl. auch [Stein, 1998]):

- ISYBAU Zustandsbewertung und Klassifizierung [BMVBW, 2005]
- Zustandsbewertungssystem KAPRI [IFK, 2005]
- Bewertungssystem KAIN [Stein, 1998]
- Pforzheimer Modell [tandler.com, 2005]

Weiterführende Informationen sind den o.a. Quellen zu entnehmen.

### 7.2.3 Praxisbeispiel: Inspektion teilgefüllter Kanäle

Bestehende Verordnungen, wie zum Beispiel die in NRW geltende Selbstüberwachungsverordnung Abwasser (SÜwVO Abw), verpflichten Netzbetreiber dazu, den Zustand des gesamten Kanalnetzes in regelmäßigen Abständen zu erfassen. Doch gerade bei ständig teilgefüllten Hauptsammlern bestehen bei vielen Netzbetreibern erhebliche Unsicherheiten, weswegen zahlreiche Netzbetreiber den Zustand dieser Kanäle noch nicht erfasst haben (vgl. [Bosseler et al., 2003a]).

Auch der Stadtentwässerungsbetrieb (STEB) Paderborn hatte den Hauptschmutzwassersammler seit dessen Inbetriebnahme im Jahr 1981 wegen fehlender Strategien und Verfahren nicht inspiziert. Gemeinsam mit dem IKT initiierte der STEB Paderborn die Pilotstudie „Inspektion teilgefüllter Kanäle“ [Bosseler und Sokoll, 2007]. Der Endbericht mit ausführlichen Ergebnissen steht im Internet kostenlos unter [www.ikt.de](http://www.ikt.de) zum Download bereit.

Mehrere Lösungsvarianten zur optischen Inspektion eines 5,7 km langen Teilabschnittes des Paderborner Schmutzwasser-Hauptsammlers (Gesamtlänge: 8 km) sollten erarbeitet und umgesetzt werden.

Das IKT begleitete und dokumentierte zehn Praxiseinsätze in Paderborn. Die gewonnenen Erkenntnisse wurden mit Blick auf Vor- und Nachteile ausgewertet, um Verbesserungen, Einsatzmöglichkeiten und -grenzen der eingesetzten Techniken aufzuzeigen. Im Ergebnis werden den Kanalnetzbetreibern Hinweise zur Vorbereitung von Inspektionsmaßnahmen und zur inspektionsgerechten Planung künftiger Anlagen an die Hand gegeben.

Auf Basis der Ist-Situation in Paderborn entwickelte das Projektteam Lösungsansätze und -varianten zu den Themen Kanalreinigung, Wasserhaltung und Inspektion. Anschließend wurden diejenigen Verfahren ausgewählt, die unter den gegebenen Randbedingungen für den Vor-Ort-Einsatz geeignet erschienen.

Das Wasserhaltungskonzept sah folgende Maßnahmen vor:

- Absperrung eines Zulaufs zum Haupt-Schmutzwassersammler und Zwischenspeicherung des Abwassers.
- Durchführung der Inspektionen in den zuflussarmen Nachtstunden zwischen 0.00 Uhr und 6.00 Uhr.
- Abstimmen der Inspektionstermine mit den (auch nachts einleitenden) Industriebetrieben.

Zum Einsatz kamen in Paderborn sechs verschiedene Inspektionstechniken. Dabei handelte es sich um drei fahrende Robotersysteme, wie sie in ähnlicher Art auch bei der Inspektion von nicht-begehbaren Kanälen üblich sind, ein schwimmendes Robotersystem sowie jeweils eine technische Lösung zur bemannten Befahrung und zur Kanalbegehung.

Als Ergebnis der Begleitung von Praxiseinsätzen in Paderborn wurden folgende Erkenntnisse über deren Einsatzmöglichkeiten und -grenzen unter den gegebenen Randbedingungen gewonnen.

#### Schwimmfähiger Roboter

Der Einsatz des schwimmfähigen Roboters (vgl. *Abb. 7.5*) bietet sich an, wenn das Untersuchungsobjekt ständig hohe Teilfüllungsgrade aufweist und durch die Umsetzung von geeigneten Wasserhaltungsmaßnahmen, im Vergleich zu den Aufwendungen für die reine Zustandserfassung, unverhältnismäßig hohe Kosten entstehen würden. Darüber hinaus stellen Ablagerungen in der Sohle bei ausreichender Wassertiefe kein Hindernis für dieses System dar. Allerdings ist nur eine Grobinspektion durchführbar, denn die Kamera ermöglicht lediglich die optische Erfassung des Gasraumes. Darüber hinaus ist zu beachten, dass als Antrieb der Inspektionstechnik eine Zugvorrichtung (z.B. Winde) und ein Zugseil erforderlich sind. Insbesondere das Einbringen des Seils in den Kanal kann mit erheblichem Zeitaufwand verbunden sein. Einsatzgrenzen dieser Inspektionstechnik können sich aus Abwasserverwirbelungen ergeben, wenn dadurch verwackelte und somit unbrauchbare Videodaten aufgenommen werden.



Abb. 7.5: Schwimmfähiger TV-Inspektionsroboter Argus 4 [Bosseler und Sokoll, 2007] (Hersteller: IBAK Helmut Hunger GmbH u. Co. KG) mit Schwimmfloß (Hersteller: Lönne Entsorgung GmbH u. Co. KG)

#### Unbemannte fahrende Inspektion

Bei Anwendung der unbemannten fahrenden Inspektionstechnik (vgl. *Abb. 7.6*) können starke Abwasserströmung sowie Ablagerungen oder Abflusshindernisse zu Abbrüchen der Zustandserfassung führen. Darüber hinaus beeinflusst die Wasserstandshöhe den Umfang der Inspektion, denn den einzigen Sensor stellt auch bei diesen Robotern eine Kamera dar, mit deren Hilfe der



Gasraum optisch erfasst werden kann. Vor diesem Hintergrund sind für den erfolgreichen Einsatz der fahrenden Inspektionsgeräte geringe Wassertiefen und die Beseitigung von Ablagerungen Voraussetzung. Der Zeitbedarf für das Einbringen der Roboter in den Kanal und das Bergen aus dem Kanal ist in der Regel gering, da die Geräte in den meisten Fällen im einsatzfähigen Zustand durch Standardschachtöffnungen geführt werden können. Erhöhter Aufwand kann jedoch entstehen, wenn beispielsweise Steighilfen in Schächten als Zugangshindernis für den Roboter wirken und dieser infolgedessen im Schacht montiert werden muss. Die eingesetzten, fahrenden Inspektionsgeräte liefern ein ruhiges Videobild. Es zeigte sich, dass auch mit Hilfe von nicht lenkbaren Robotern Richtungswechsel des Kanals, die im Rahmen der Praxiseinsätze bis zu 60° betragen, überwunden werden können. Bauwerkdetails, wie Seiteneinläufe oder Rohrverbindung, konnten durch Schwenken der Kamera und Nutzung des Zooms aufgenommen werden. Um den Kanal detailliert untersuchen zu können, müssten diese Funktionen jedoch flächendeckend eingesetzt werden. Es ist zu erwarten, dass sich der Zeitaufwand für die Inspektion dadurch deutlich erhöhen würde.



Abb. 7.6: Unbemannter fahrender TV-Inspektionsroboter Argus 4 [Bosseler und Sokoll, 2007] (Hersteller: IBAK Helmut Hunger GmbH u. Co. KG) mit Fahrgestell (Hersteller: Pader Kanal Technik – Rohr Frei GmbH u. Co. KG)

### Begehung

Im Vergleich zu den unbemannten Inspektionstechniken zeigte sich, dass durch den Einsatz der bemannten Befahrung und der Begehung (vgl. Abb. 7.7) der Kanalzustand detaillierter untersucht werden kann. Der Mensch nimmt im Gegensatz zu Kamera-Robotern seine Umgebung räumlich wahr und ist in der Lage, seinen Tastsinn zu nutzen sowie manuelle Tätigkeiten auszuführen. Aufgrund dieser Fähigkeiten war es bei den bemannten Vor-Ort-Einsätzen im Paderborner Untersuchungsobjekt möglich, auch geringfügige Schäden zu erfassen, Auffälligkeiten des im Gasraum liegenden Kanalquerschnittes durch Tasten näher zu untersuchen und Materialproben des Kanalbauwerkes zu gewinnen.

Darüber hinaus konnte der Inspekteur den unterhalb des Abwasserspiegels liegenden Teil des Untersuchungsobjektes mit den Füßen abtasten, um ihn auf bedeutende Schäden oder Ablagerungen zu untersuchen. Neben den genannten Vorteilen von bemannten Inspek-

tionsmethoden im Vergleich zu unbemannten Verfahren sind bei deren Umsetzung zwei Faktoren zu berücksichtigen: Zum einen ist das im Kanal tätige Personal verschiedenen Gefahren ausgesetzt. So können z.B. Notfälle durch schädliche Gase entstehen. Zur Minimierung derartiger Risiken müssen geeignete Vorsorgemaßnahmen getroffen werden, wie zum Beispiel Belüftung des Kanals, Einsatz von Gaswarngeräten, Mitführen von Selbstrettern oder Atemschutzgeräten. Zum anderen können durch die eingesetzten, handgeführten Kameras, in Abhängigkeit der örtlichen Randbedingungen und der Routine des Inspektors, unruhige oder verwackelte Videobilder entstehen. Um dies im Vorfeld zu erkennen, bietet sich die Durchführung von Testeinsätzen im Untersuchungsobjekt an.



Abb. 7.7: Kanalbegehung: Inspekteur der ISAS GmbH [Bosseler und Sokoll, 2007]

### Bemannte Befahrung

Bei der bemannten Befahrung (vgl. Abb. 7.8) sitzt der Inspekteur auf einem Fahrwagen, der durch den Kanal gezogen wird und so konstruiert ist, dass sich seine Räder oberhalb des Abwasserspiegels an der Rohrwand abstützen. Daraus leiten sich im Vergleich zur Kanalbegehung Vorteile ab. Es besteht keine Sturzgefahr und der Fahrwagen stellt einen Haltepunkt für den Inspekteur dar.

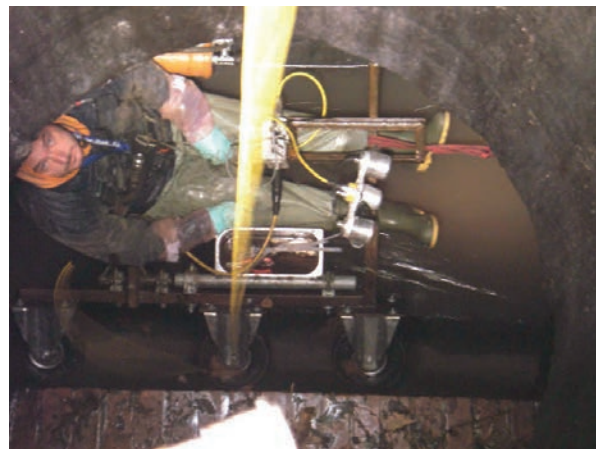


Abb. 7.8: Bemannte Kanalbefahrung: Inspekteur mit Fahrwagen [Bosseler und Sokoll, 2007] (Hersteller: Tauchunternehmen und Apparatebau Hirt)



Die Zustandserfassung ist bei höheren Wasserständen und Fließgeschwindigkeiten unabhängig von Sohlablagerungen durchführbar. Demgegenüber erfordert die Kanalbegehung deutlich kürzere Vorbereitungszeiten, da hierbei weder der Zusammenbau eines Fahrwagens noch die Installation einer Zugvorrichtung und das Einbringen eines Zugseiles erforderlich ist. Bei niedrigen Wasserstandshöhen und Fließgeschwindigkeiten sowie geringen Ablagerungen bietet sich zur Detail-Inspektion eher die Begehung an.

#### 7.2.4 Grenzen der optischen Inspektion

Die optische Inspektion führt zwangsläufig zu einer Begrenzung der Untersuchung des Kanals auf sichtbare Schäden. Nicht sichtbare Undichtigkeiten, der Zustand der Bettung sowie die Restwanddicke im Falle von Korrosionsschäden oder einem mechanischem Verschleiß bleiben verborgen, so dass eine fundierte Sanierungsplanung in Frage stehen kann. Dies betrifft insbesondere die Beurteilung der Tragfähigkeit des Altkanals im Falle von Reparatur- und Renovierungsverfahren und ihre statische Berücksichtigung gemäß ATV M 127-2 [ATV, 2008]. Darüber hinaus gibt es eine Vielzahl von Fragestellungen, die die Erkundung der Beschaffenheit des Untergrundes betreffen und mit optischen Verfahren von der Oberfläche, aus dem Schacht heraus oder durch diskrete Aufschlüsse nicht beantwortet werden können. Zu den Informationen, die nicht allein mit Hilfe der optischen Inspektion erfasst werden können, die aber unter Umständen, z.B. zur Beurteilung der Standsicherheit erforderlich sein können, zählen:

beim Rohrwerkstoff

- Rohrwanddicke und gegebenenfalls Wanddickenverlauf über den Rohrumfang,
- innere und äußere Rohrquerschnittsform,
- Tiefenlage,
- Festigkeiten,
- Dichte,
- Bewehrung und deren Lage bei Stahlbetonrohren,
- Schäden, wie Korrosion, Karbonatisierung.

beim Boden

- Bodenart, Lagerungsdichten, elastische Eigenschaften, Bodenparameter in der
  - unteren Bettungsschicht,
  - oberen Bettungsschicht,
  - Seitenverfüllung,
  - Abdeckung,
  - Hauptverfüllung.
- Aufbau des Straßenunterbaus,
- Verdichtung des Unterbaus,
- Aufbau des Straßenoberbaus,
- Porenwassergehalt,
- Grundwasserstand.

in der Leitungszone

- Auflockerungen oder Hohlräume,
- Wasserleitung,
- Strom- bzw. Telekommunikationskabel,
- Wurzelwerk,
- Hohlräume,
- Findlinge,
- Verbaureste bspw. Kanaldielen,
- Bodendenkmäler,
- Tiefgewölbe.

Abb. 7.9 stellt mögliche Anomalien im Baugrund beispielhaft dar.

Häufig erfordert die Auswahl eines wirtschaftlichen Verfahrens zur Sanierung von Abwasserkanälen und -leitungen somit weitgehende Informationen zum Zustand des Rohr-Boden-Systems, die allein eine optische Inspektion oder punktuelle Sondierungen nicht liefern können. Geophysikalische Messverfahren, wie Georadar, Seismik, seismische Tomographie sowie Impact-Echo usw. stellen hier eine sinnvolle Ergänzung dar. Die Erfassung und Erkundung mit Hilfe geophysikalischer Verfahren ist Gegenstand aktueller Forschung (vgl. [N.N., 2003], [Redmann, 2007]).

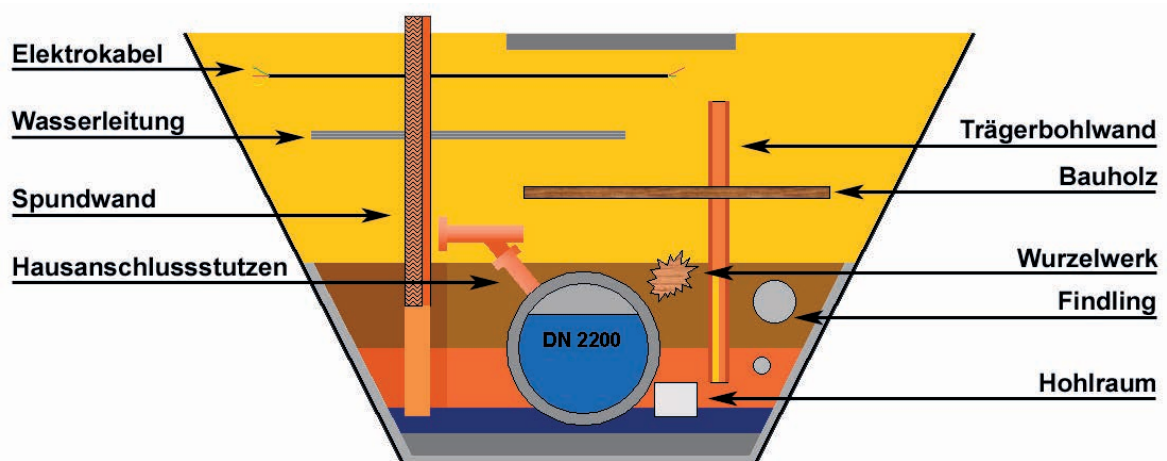


Abb. 7.9: Anomalien im Boden; Querschnittsskizze der IKT-Versuchsstrecke

### 7.2.5 Perspektiven: Erfassung und Bewertung des Rohr-Boden-Systems

Kanäle sollen standsicher, funktionsfähig und dicht sein und dies über ihre gesamte Nutzungsdauer. Durch regelmäßige Inspektion wird der Zustand der Kanäle erfasst und mit Blick auf diese Leistungskriterien bewertet.

Wirtschaftlich abgewogene Sanierungsentscheidungen gründen auf diesen Ergebnissen. Zuverlässige Aussagen zur Tragfähigkeit des Rohr-Boden-Systems sind gefragt, wenn die alten Rohre nicht mehr standsicher sind und dies z.B. die Auswahl des Sanierungsverfahrens beeinflusst. Dies gilt insbesondere für die Sanierung von Großrohren in Verkehrsflächen mit entsprechend hohen Baukosten und Gefährdungspotenzialen. Die Anbieter alternativer Messverfahren setzen hier an und wollen mit Blick auf eine Erfassung des Gesamtbauwerks „Leitungsgraben“ die bisherigen Informationsdefizite der Inneninspektion reduzieren. Der Blick hinter die Kanalwand scheint möglich, die Umsetzbarkeit in der Praxis ist aber noch weitgehend offen. Am IKT wurden daher aktuelle Methoden zur Erfassung und Bewertung des Rohr-Boden-Systems hinsichtlich ihrer Aussagekraft und Praxiseignung bewertet.

Der Bedarf für eine weitergehende Beschreibung des Rohr-Boden-Systems wird auch dadurch unterstrichen, dass mit der zu erwartenden Einführung des Merkblattes DWA-M 149-4 [DWA, 2008b] die Detektion von Lagerungsdefekten und Hohlräumen in der Umgebung erdverlegter Leitungen nachhaltig in das Anforderungsprofil an die Zustandserfassung und -beurteilung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden aufgenommen wird.

#### Geophysikalische Messverfahren

Folgende Verfahren stehen perspektivisch zur Bewertung des Rohr-Boden-Systems zur Verfügung. Weitergehende Informationen zu diesen innovativen Techniken sind den IKT-Forschungsberichten (vgl. [N.N., 1981], [N.N., 2003]) zu entnehmen.

- Radarverfahren,
- Seismische Verfahren,
- Ultraschallverfahren und
- MAC-Verfahren.

#### Bautechnische Alternativen

- Verformungsmessungen und
- Kraft-Verformungsmessungen.

### 7.3 Planung der Sanierung

Entwässerungssysteme sind nach DIN EN 752:2008 [DIN, 2008b] so zu planen, zu bauen und zu unterhalten, dass sie das Abwasser ableiten, ohne unzulässige Umweltbeeinträchtigungen und Risiken für die öffentliche Gesundheit oder für das Betriebspersonal zu verursachen.

Beschädigte, mangelhafte und hydraulisch überlastete Abwasserleitungen und -kanäle stellen nach DIN EN 752:2008 [DIN, 2008b] potenzielle Gefahrenquellen bezüglich Überflutungen, Einstürzen sowie Verunreinigungen von Oberflächenvorfluter, Grundwasser und Boden dar.

Die Anforderungen an bestehende Abwasserleitungen und -kanäle stehen häufig in Wechselbeziehung zueinander. Daher werden die Sanierungsmaßnahmen oft zur gleichzeitigen Lösung mehrerer Probleme geplant. Untersuchungen und Planungen von Sanierungsmaßnahmen sollten sich auf das gesamte Einzugsgebiet erstrecken, um somit alle Probleme und ihre Ursachen gemeinsam berücksichtigen zu können. In großen Kanalnetzen kann es erforderlich werden, bei der Untersuchung von geeigneten Teilnetzen auszugehen.

Die Planungsaufgaben werden entsprechend der Honorarordnung für Architekten und Ingenieure (HOAI) [Beck-Texte, 2013] in Leistungsphasen aufgeteilt:

- Grundlagenermittlung,
- Vorplanung,
- Entwurfsplanung,
- Genehmigungsplanung und
- Ausführungsplanung.

Die grundlegenden Leistungsinhalte dieser Leistungsphasen sind in der HOAI festgelegt und müssen auf die speziellen Anforderungen an die Planung von Entwässerungsanlagen präzisiert werden (vgl. Merkblatt ATV-M 101 [ATV, 1996]).

In Anlehnung an die Leistungsphasen der HOAI werden in den folgenden Abschnitten die erforderlichen Schritte bei der Planung von Entwässerungssystemen dargestellt. In *Abb. 7.10* ist die Vorgehensweise bei der Durchführung einer Sanierung nach ATV-DVWK-M 143-1 [ATV-DVWK, 2004a] in Form eines Ablaufdiagramms dargestellt. Danach werden im Rahmen der Sanierungsplanung folgende Schritte durchlaufen:

- Vorplanung,
- Feststellung und Beurteilung des Ist-Zustandes,
- Erarbeitung von Lösungen.

Detaillierte Ausführungen zur Sanierungsplanung können auch den folgenden technischen Regelwerken entnommen werden:

- DIN EN 752:2008 Entwässerungssysteme außerhalb von Gebäuden [DIN, 2008b],
- DWA A 100 Leitlinien der integralen Siedlungsentwässerung (ISiE) [DWA, 2006d] und
- DWA-M 143-14: Sanierung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden, Teil 14: Sanierungsstrategien [DWA, 2005a].

Die nachfolgende Darstellung fasst die dort beschriebenen Aspekte zusammen. Weiterführende Informationen zu den Arbeitsschritten der Vorplanung, Festlegung und Beurteilung des Istzustandes und Erarbeitung der Lösungen sind ATV-DVWK-M 143-1 [ATV-DVWK, 2004a] zu entnehmen.

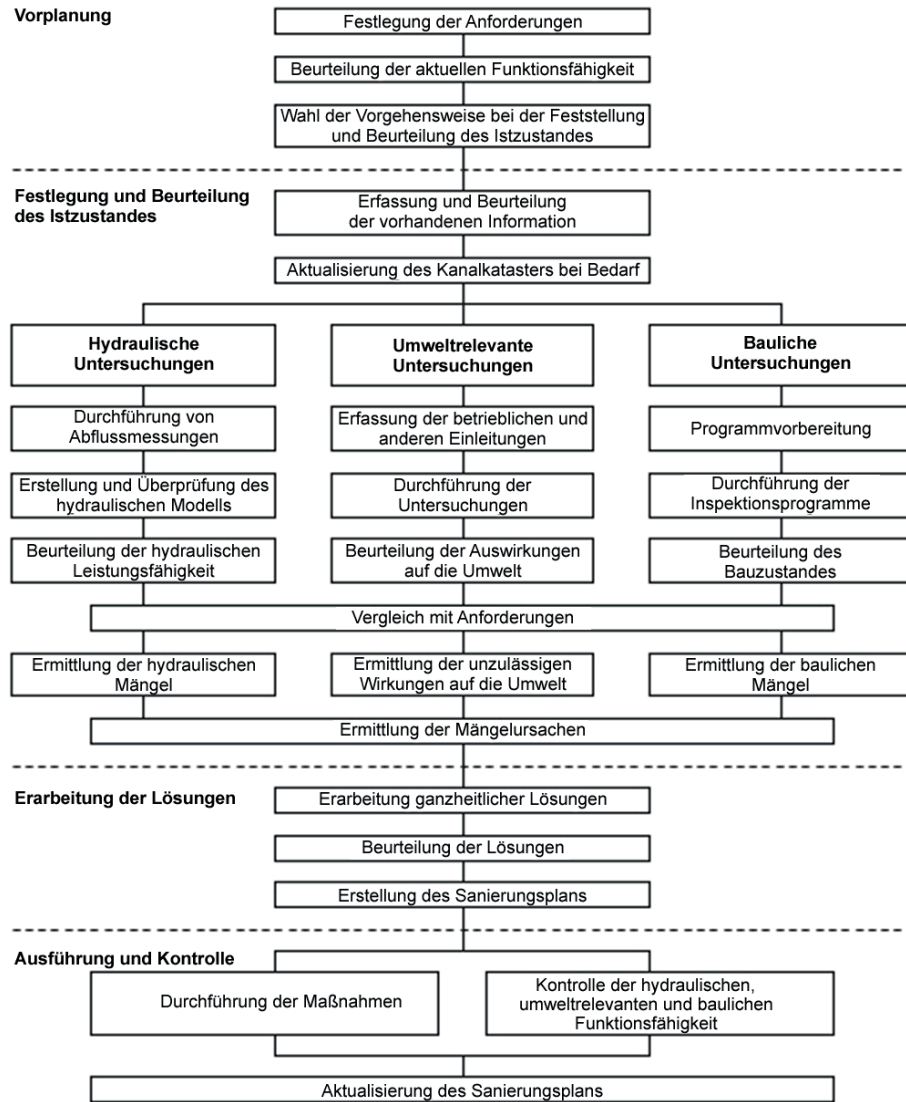


Abb. 7.10: Ablaufdiagramm für die Sanierung von Entwässerungssystemen [ATV-DVWK, 2004a]

## 7.4 Technische Sanierungsansätze

### 7.4.1 Erarbeitung ganzheitlicher Lösungen

Die Sanierung kann aus hydraulischen, umweltrelevanten und/oder baulichen Gründen erforderlich werden. Entsprechend unterscheiden sich die grundsätzlichen technischen Lösungsansätze.

### 7.4.2 Hydraulische Sanierung

#### Hydraulische Lösungen

Hydraulische Lösungen im vorliegenden Anwendungsfall sind nach [DIN, 2008b]:

Maximierung der verfügbaren Abflusskapazität durch:

- Beseitigung von Abflusshindernissen und
- Reinigung.

Steuerung der Abflussströme - Verringerung des Zuflusses in eine Kanalisation durch:

- Überleitung von Regenwasser in Versickerungsanlagen oder auf durchlässige Flächen;

- Verwendung durchlässiger Oberflächenbefestigungen;
- Überleitung von Abflüssen in ein anderes System;
- Bau von zusätzlichen Regenwasserkanälen;
- Verminderung der Infiltration und des Fremdwasserzuflusses.

Dämpfung des Spitzenabflusses durch:

- Nutzung des bestehenden Rückhaltevermögens des Systems (gezielte Abflusssteuerung);
- Nutzung von Rückhaltemöglichkeiten auf der Oberfläche (einschließlich Rückhaltung auf Grundstücken);
- Bereitstellung zusätzlicher Rückhalteräume (Stauraumkanal oder Speicherbecken).

Vergrößerung der Abflusskapazität der Kanalisation durch:

- Erneuerung mit größerem Rohrquerschnitt;
- Bau zusätzlicher Leitungen;
- Renovierung von bestehenden Abwasserleitungen oder -kanälen.



### 7.4.3 Umweltrelevante Sanierung

#### Umweltrelevante Lösungen

Umweltrelevante Lösungen im vorliegenden Anwendungsfall sind nach [DIN, 2008b]:

Verringerung der Schadstoffeinträge in das System durch:

- Absetzbecken und Sandfanganlage;
- Verwendung von Pflanzen, um Schadstoffe aus dem Regenwasserabfluss vor Eintritt in das System zu binden;
- Einleitungskontrollen (z.B. gewerbliches Abwasser).

Verminderung der vorgesehenen Schadstoffeinleitungen in den Vorfluter durch:

- Vergrößerung des Zuflusses der Abwasserbehandlung (siehe hydraulische Lösungen);
- Behandlung von Niederschlagswasser (z.B. durch Abscheider, Rückhaltebecken);
- Verbesserung des Feststoffrückhalts und der hydraulischen Leistungsfähigkeit der Regenentlastungsbauwerke;
- Echtzeitkontrolle (Kanalnetzbewirtschaftung, Abflusssteuerung).

Verringerung der Auswirkungen durch Verlegen der Einleitungsstellen.

Verminderung der Exfiltration durch Sanierungsmaßnahmen, z.B.:

- Reparaturmaßnahmen (z.B. Leckabdichtung);

- Renovierungsmaßnahmen (z.B. wasserdichte Auskleidung);
- Erneuerung der Leitung durch offene oder geschlossene Bauweise.

### 7.4.4 Bauliche Lösungen

Da Erscheinungsbild, Ausmaß und Ursache der Schäden, aber auch die leitungsspezifischen Randbedingungen in Kanalisationen sehr unterschiedlich sind, kommt der richtigen Wahl des im jeweiligen Anwendungsfall einzusetzenden baulichen Sanierungsverfahrens eine große Bedeutung zu.

Mögliche Lösungsansätze zur baulichen Sanierung können nach DIN EN 752:2008 [DIN, 2008b] der Schutz der Kanalsubstanz durch geeignete Auskleidung oder Innenbeschichtungen oder die Sanierung der Kanalsubstanz sein.

Die Sanierung wird in folgende drei Hauptgruppen eingeteilt [DIN, 2008b]:

- Reparatur,
- Renovierung und
- Erneuerung.

Jeder dieser drei Hauptgruppen ist eine Reihe von Spezialverfahren zugeordnet (Tab. 7.2).

Jeder dieser drei Hauptgruppen ist eine Reihe von Spezialverfahren zugeordnet (Tab. 7.2).

In den Kap. 7.5 Reparatur, Kap. 7.6 Renovierung und Kap. 7.7 Erneuerung wird ein detaillierter Überblick über die Verfahren der baulichen Sanierung gegeben.

Tab. 7.2: Übersicht über die baulichen Sanierungsverfahren

<b>Reparatur</b>	<i>Verfahren zur Wiederherstellung der Tragfähigkeit</i>	Ausbessern von Schadensstellen
		Auswechseln einzelner Rohre in offener Bauweise
		Verfugung von Klinkermauerwerk
		Innenmanschetten
	<i>Injektionsverfahren</i>	Innen
		Außen
<i>Abdichtungsverfahren</i>	Innen	
	Außen	
<b>Renovierung</b>	<i>Beschichtungsverfahren</i>	Auspressverfahren
		Verdrängungsverfahren
		Aufspritzverfahren
		Anschleuderverfahren
	<i>Auskleidungsverfahren</i>	Auskleidung mit Rohren
		Auskleidung mit Bahnen, Platten, Einzelelementen
<b>Erneuerung</b>	<i>Offene Bauweise</i>	An gleicher Stelle
		An anderer Stelle
	<i>Geschlossene Bauweise</i>	An gleicher Stelle
		An anderer Stelle

### 7.4.5 Betriebliche Lösungen

In einigen Fällen kann auch eine betriebliche Lösung geeignet sein.

Mögliche Lösungsansätze können nach DIN EN 752:2008 [DIN, 2008b] sein:

- geplante Inspektion und Reinigung von Abwasserleitungen oder -kanälen,
- Erhöhung der Wartungshäufigkeit von Pumpen oder Pumpstationen.

## 7.5 Reparatur

### 7.5.1 Einteilung der Verfahren

*Sicherung der Tragfähigkeit und der Dichtigkeit*

Unter Reparatur versteht man nach ATV M 143 Teil 1 [ATV-DVWK, 2004a] und DIN EN 752:2008 [DIN,

2008b] Maßnahmen zur Behebung örtlich begrenzter Schäden.

*Verfahren*

Eine eindeutige Zuordnung nach den Reparaturzielen:

- Sicherung bzw. Wiederherstellung der Tragfähigkeit
- Sicherung bzw. Wiederherstellung der Dichtigkeit

ist nicht möglich, da es hierbei zu Überschneidungen kommen kann. So dient der Einsatz von Innenmanschetten (Kap. 7.5.2 *Innenmanschetten in nicht begehbaren Kanälen*) oder bestimmter Injektionsverfahren (Kap. 7.5.4 *Injektion von Außen* und Kap. 7.5.5 *Injektion von Innen*) zum einen der Sicherung der Tragfähigkeit der Kanäle bzw. des Untergrundes, gleichzeitig werden diese auch abdichtet (Tab. 7.2 bzw. Tab. 7.3).

Tab. 7.3: Anwendungsbereich der Reparaturverfahren (nach [Stein, 1998])

Verfahren	Sicherung der Tragfähigkeit		Sicherung der Dichtigkeit	
	Untergrund	Kanal	Untergrund	Kanal
Einbau von Innenmanschetten		+		+
Injektion von Außen	+		+	
Injektion von Innen				
– Boden-/Hohlrauminjektion	+		+	
– Rissinjektion		+		+
– Injektion von Rohrverbindungen				+
Abdichtungsverfahren		+ <sup>1)</sup>		+

<sup>1)</sup> bei Einbau von Innenmanschetten

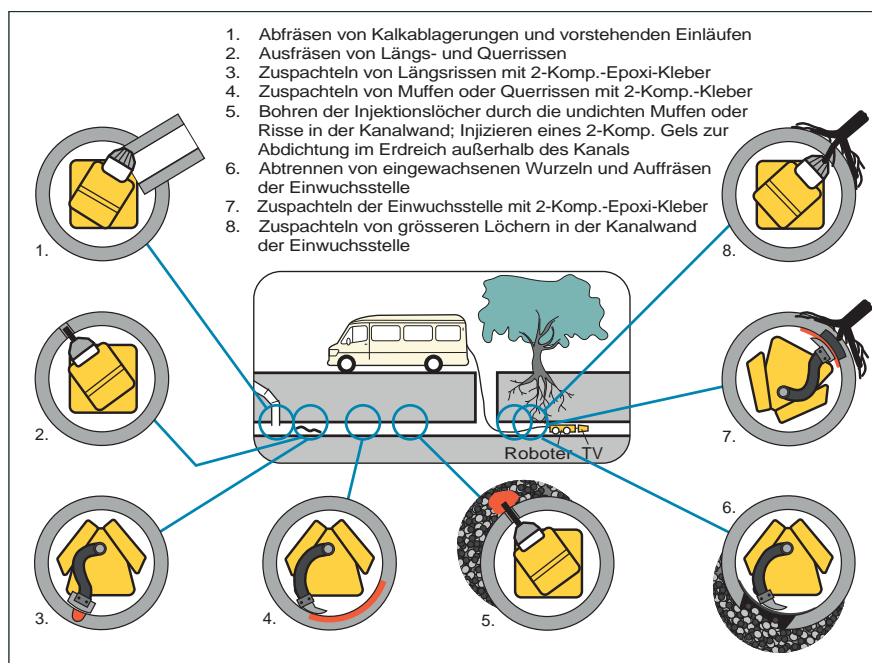


Abb. 7.11: Einsatzmöglichkeiten des KA-TE Systems für Reparaturen im nichtbegehbaren Nennweitenbereich [ATV, 1995]

*Reparatur von Innen und Außen*

Eine Einteilung bezüglich der von innen oder außen einzusetzenden Verfahren ist in *Tab. 7.3* dargestellt.

*Reparatur von Außen*

Verfahren zur Wiederherstellung der Tragfähigkeit von außen werden sowohl an Einsteigschächten als auch am Kanal selbst durchgeführt. Sie erfordern u.a. die Herstellung einer Baugrube.

*Reparatur von Innen*

Verfahren zur Wiederherstellung der Tragfähigkeit von innen werden in begehbaren Kanälen und Bauwerken maschinell oder von Hand und/oder unter Verwendung geeigneter Hilfsmittel oder -geräte und in nichtbegehbaren Kanälen mit Hilfe ferngesteuerter Roboter oder Sanierungspackern durchgeführt.

*Robotersysteme*

Die auf dem Markt befindlichen Robotersysteme sind in der Lage, örtlich begrenzte Schäden verschiedener Art, z.B. Risse und undichte Rohrverbindungen, mittels Rissverspachtelung oder Injektion abzudichten sowie Ablagerungen und einragende Abflusshindernisse abzufräsen. Vertreter dieser Technik sind z.B. das KA-TE- (*Abb. 7.11*) und Sika-Robot-System.

**7.5.2 Innenmanschetten in nicht begehbaren Kanälen**

**7.5.2.1 Verfahrensmöglichkeiten**

In nichtbegehbaren Kanälen kann die Sicherung der statischen Tragfähigkeit bei örtlich begrenzten Schäden durch den Einbau von Innenmanschetten erzielt wer-

den. Die Verfahren können in zwei Verfahrensgruppen eingeteilt werden [Stein, 1998]:

- Innenrohrmanschetten aus PVC oder Stahl,
- örtlich erhärtende, reaktionsharzgetränkte Gewebemanschetten (*Kap. 7.5.2.2 Örtlich erhärtende, reaktionsharzgetränkte Gewebemanschetten*).

Neben der Sicherung der statischen Tragfähigkeit dient der Einbau von Innenmanschetten auch der Abdichtung von Kanalabschnitten (siehe *Kap. 7.5.6 Verfahren zur Abdichtung von Kanalabschnitten*).

Der Einbau erfolgt in allen Fällen ferngesteuert unter Kamerabeobachtung auf der zuvor gereinigten Rohrwandung.

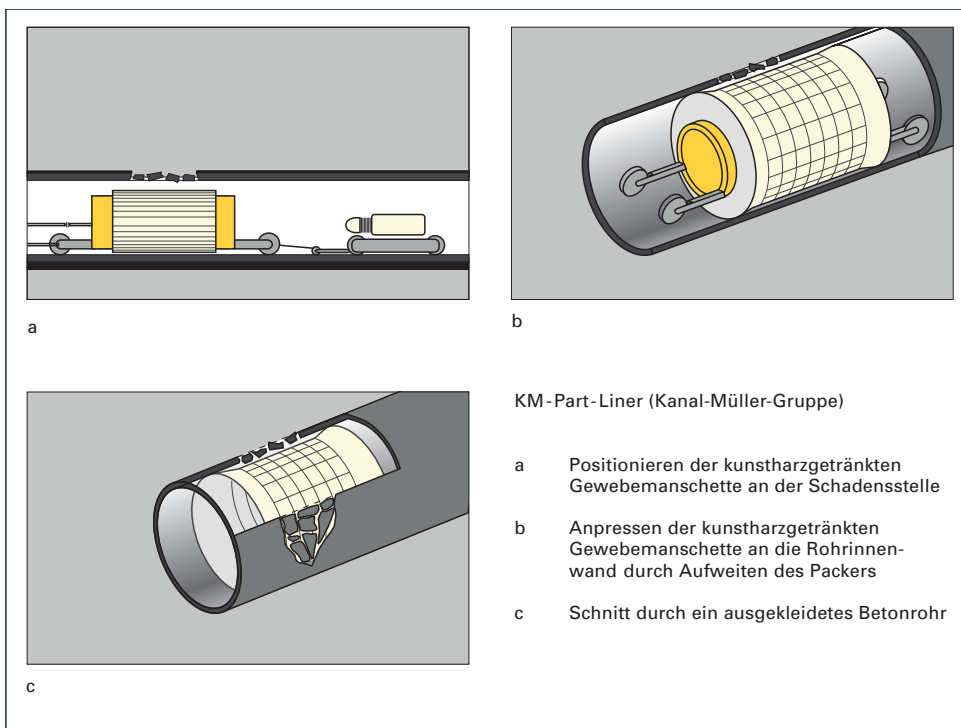
Diesen Entwicklungen lag der Gedanke zugrunde, nicht die gesamte Haltung unabhängig vom Schädigungsgrad, sondern nur den schadhaften Bereich zu reparieren, was zu einer erheblichen Kostenreduzierung führt.

*PVC- bzw. Stahlmanschetten*

Die Innenrohrmanschetten aus PVC oder Stahl sind charakterisiert durch eine Vorverformung durch Falten bzw. Längsschlitz und Überlappung für den Transport und die anschließende Rückverformung und Verspannung an der zu reparierenden Schadensstelle im Kanal.

**7.5.2.2 Örtlich erhärtende, reaktionsharzgetränkte Gewebemanschetten**

Bedeutung bei der Reparatur von Kanälen erlangen die Innenmanschetten in Form der örtlich erhärtenden, reaktionsharzgetränkten und ca. 2–10 mm dicken Gewebemanschetten (*Abb. 7.12*).



KM-Part-Liner (Kanal-Müller-Gruppe)

a Positionieren der kunstharzgetränkten Gewebemanschette an der Schadensstelle

b Anpressen der kunstharzgetränkten Gewebemanschette an die Rohrwandung durch Aufweiten des Packers

c Schnitt durch ein ausgekleidetes Betonrohr

Abb. 7.12: KM-Part-Liner (Kanal-Müller-Gruppe) [ATV, 1995]



Hierbei wird ein aufblasbarer Packer (im Prinzip ein Hohlzylinder mit expandierbarer Gummimanschette), auf den die harzgetränkte Manschette aufgezogen ist, unter TV-Kamerabeobachtung an der schadhaften Stelle platziert. Nach dem Expandieren des Packers legt sich die Manschette an der Innenkontur des Rohres an und erhärtet dort. Gegebenenfalls wird dieser Prozess durch Wärmezufuhr unterstützt. Nach Entfernen des Packers kann der Kanal wieder in Betrieb gesetzt werden.

Hauptanwendungsgebiet sind Kanäle mit Kreisquerschnitt, deren statische Tragfähigkeit nicht mehr gesichert ist. Darüber hinaus sollen nach Herstellerangaben gleichzeitig auch Undichtigkeiten abgedichtet werden können.

- im Lockergestein für Poren,
- in Bauwerken für Spalten, Fugen, Risse und Poren sowie
- zwischen Bauwerk und Untergrund für die Kontaktfugen.

Im hier vorliegenden Anwendungsfall handelt es sich um Maßnahmen zur örtlich begrenzten oder abschnittsweisen Abdichtung und/oder Verfestigung von Lockergestein in der Leitungszone, von Rohrverbindungen oder Rissen und Poren in Rohren oder Bauteilen mit oder ohne Einbeziehung des Lockergesteins in der Leitungszone sowie zur Verfüllung von Hohlräumen im umgebenden Baugrund (s. Kap. 7.5.4 *Injektion von Außen* und Kap. 7.5.5 *Injektion von Innen*).

### 7.5.3 Injektionsverfahren – Allgemeines

#### Definition – Injektion

Unter Injektion (Einpressen) wird nachfolgend in Anlehnung an DIN 4093 [DIN, 2012e] das Einbringen von Injektionsmitteln (Einpressgut nach DIN 4093 [DIN, 2012e] oder Füllgut nach ZTV-ING [BASt, 2010], d.h. pumpbarer Stoffe unter Druck in Hohlräume des Baugrundes oder von Bauwerken zum Zweck der Verfestigung und/oder Abdichtung verstanden.

#### Hohlrauminjektion

Hohlraum ist der Oberbegriff für natürliche und künstliche Hohlraumstrukturen aller Art:

- im Felsgestein und in festen Tonböden für Klüfte, Spalten, Risse, Poren und kavernöse Strukturen;

### 7.5.3.1 Injektionsmittel

Als Injektionsmittel können je nach Anforderungen, Einsatzbereich und Verfahren Zementsuspensionen, Lösungen auf der Basis von Wasserglas und/oder Kunstharzen zum Einsatz kommen (Abb. 7.13).

Der jeweilige Einsatz der genannten Injektionsmittel richtet sich entweder nach den chemischen und mechanischen Anforderungen in Abhängigkeit vom jeweiligen Anwendungsfall (Schadensart, Zweck und Zielsetzung der Injektionsmaßnahme) und/oder bei Einbindung der Leitungszone in die Injektionsmaßnahme nach den geologischen und hydrogeologischen Bedingungen des dort abzudichtenden und/oder zu verfestigenden Lockergesteins.

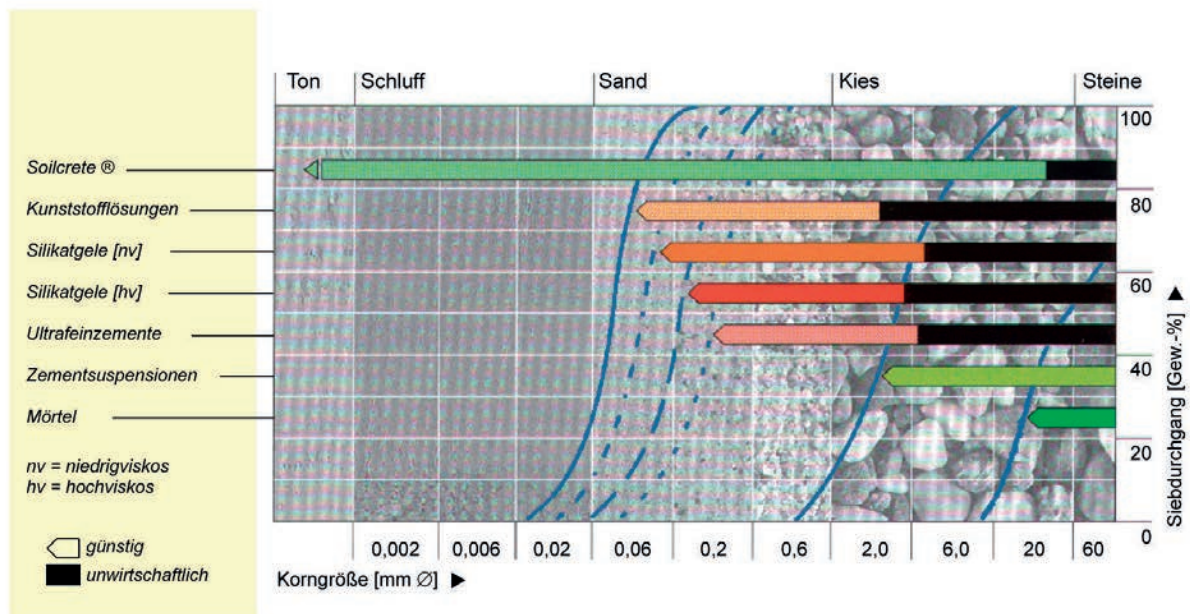


Abb. 7.13: Injektionsgrenzen für Injektionsmittel in Abhängigkeit von der Kornverteilung [Fa. Keller, o.J.]

### 7.5.3.2 Wirkung der Injektionsmittel auf das Grundwasser

#### Beeinträchtigung des Grundwassers

Jede Injektion, bei welcher eventuell das Grundwasser beeinträchtigt wird, unterliegt dem Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushalts (Wasserhaushaltsgesetz – WHG) [WHG, 2013]. Dieses stellt sich der Frage der Umweltverträglichkeit von Injektionsmaßnahmen im Allgemeinen Rahmen der Sorgfaltspflichten nach § 5 und der Allgemeinen Grundsätze der Gewässerbewirtschaftung gemäß § 6.

Darauf basierend schreibt das WHG im § 47 Abs. 1 folgende Bewirtschaftungsziele für das Grundwasser vor:

1. eine Verschlechterung seines mengenmäßigen und seines chemischen Zustandes vermieden wird;
2. alle signifikanten und anhaltenden Trends ansteigender Schadstoffkonzentrationen auf Grund der Auswirkungen menschlicher Tätigkeiten umgekehrt werden;
3. ein guter mengenmäßiger und ein guter chemischer Zustand erhalten oder erreicht werden; zu einem guten mengenmäßigen Zustand gehört insbesondere ein Gleichgewicht zwischen Grundwasserentnahme und Grundwasserneubildung.

Zudem ist in § 48 Abs. 1 festgelegt, „Eine Erlaubnis für das Einbringen und Einleiten von Stoffen in das Grundwasser darf nur erteilt werden, wenn eine nachteilige Veränderung der Wasserbeschaffenheit nicht zu besorgen ist.“

#### Umweltverträglichkeitsprüfungen

Aus diesem Grund ist deshalb für Stoffe, die in den Boden und in das Grundwasser eingeleitet werden, das ökologische Wirkungsspektrum zu überprüfen, zu bewerten und zu berücksichtigen. Ein entsprechendes Prüfprogramm ist in [Stein, 1998] angegeben. Über durchgeführte Umweltverträglichkeitsprüfungen für Injektionsmittel zur Abdichtung in Rohrverbindungen in Kanalisationen und die dabei erreichten Ergebnisse wird in [Stein und Körkemeyer, 1991] berichtet.

### 7.5.4 Injektion von Außen

Ziele der Injektion von außen sind, das den defekten Leitungsbereich umgebende Lockergestein zu verfestigen und/oder abzudichten und somit diesem die verloren gegangenen Funktionen dieses Kanalabschnittes zuzuweisen bzw. vorhandene Hohlräume zu verfüllen.

Die zu injizierenden Bereiche werden durch Bohrungen, Einpresslanzen o.ä. von der Oberfläche aus zugänglich gemacht und mit einem geeigneten Injektionsmittel unter Druck verfüllt (Abb. 7.14).

#### Injektionsmittel

Haupteinsatzgebiet sind nichtbegehbare Kanäle unter zugänglichen Flächen. Als Injektionsmittel kommen in Abhängigkeit von der Hohlraumstruktur vornehmlich Zementmörtel, -pasten bzw. -suspensionen zum Einsatz.

Während der Injektionsarbeiten ist der Kanal von innen mit einer Kanalfernsehkamera zu beobachten und gegen eindringendes Injektionsmittel zu schützen, z.B. durch einen Packer.

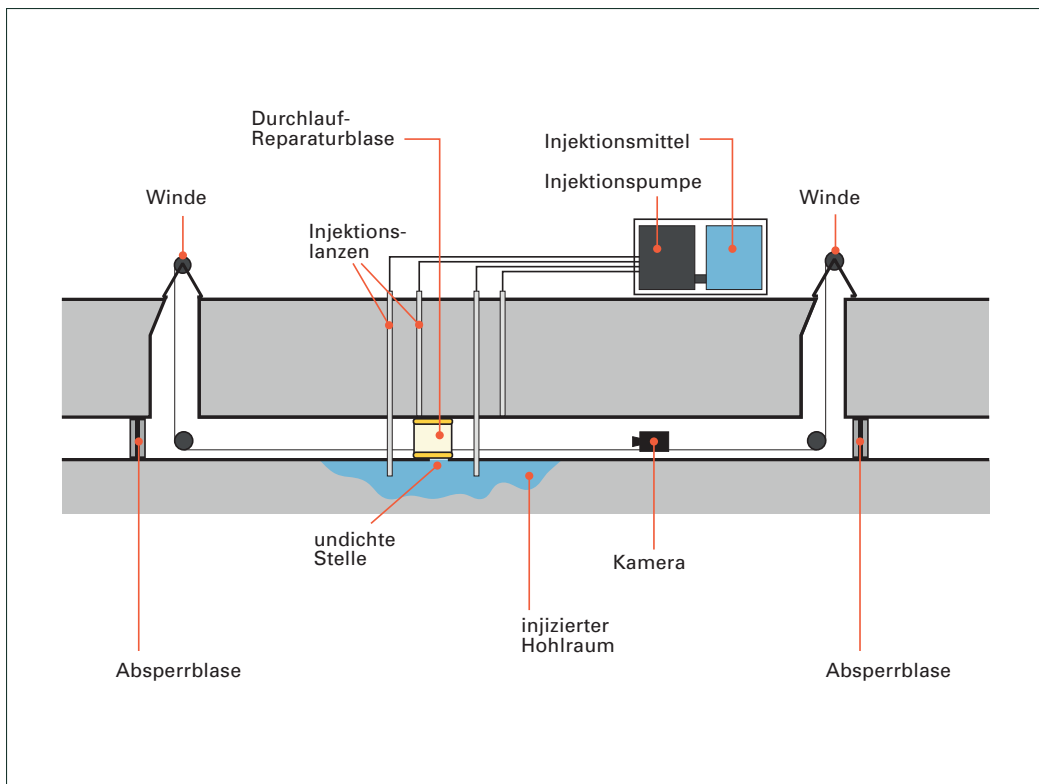


Abb. 7.14: Schematische Darstellung des Injektionsverfahrens von außen (Kanal-Müller-Gruppe) [ATV, 1995]

### 7.5.5 Injektion von Innen

Während im begehbaren Bereich alle Arbeiten vor Ort von Hand unter direkter Kontrolle durchgeführt werden können, erfordert die Injektion im nichtbegehbaren Bereich immer den zusätzlichen Einsatz der Kanalfernsehkamera.

#### Vorteile

Die Injektion von innen bietet gegenüber der von außen folgende Vorteile:

- geringere Störungen des Verkehrs,
- keine Beschädigung der Geh- und/oder Fahrbahn,
- geringere Gefährdung anderer Ver- und Entsorgungsleitungen,
- exaktere Erfassung und Injektion der Schadensbereiche,
- geringerer Injektionsmittelverbrauch und
- Unabhängigkeit von der Überbauung.

In Abhängigkeit von den injizierenden Bereichen unterscheidet man zwischen der:

- Boden- und/oder Hohlrauminjektion im Bereich der Leitungszone (Kap. 7.5.5.1 *Boden- und/oder Hohlrauminjektion*),
- Rissinjektion (Kap. 7.5.5.2 *Rissinjektion*) und
- Injektion der Rohrverbindungen (Kap. 7.5.5.3 *Injektion von Rohrverbindungen*).

### 7.5.5.1 Boden- und/oder Hohlrauminjektion

#### Flutungsverfahren

Auf Injektionsbohrungen wird z.B. beim Flutungsverfahren verzichtet. Hier dienen die Lecks bzw. Undichtigkeiten zur Ableitung des Injektionsmittels in den angrenzenden Boden zum Zweck der Abdichtung und/oder Verfestigung.

Das Verfahren arbeitet mit zwei miteinander reagierenden Lösungen A und B auf der Basis von Wasserglas.

1. In der ersten Arbeitsphase wird in den abzudichtenden Bereich zunächst die Lösung A eingefüllt und nach einer Einwirkzeit von etwa 30 Minuten wieder abgepumpt.
2. In der zweiten Phase wird die Lösung B eingeleitet, die mit der in den Hohlräumen verbliebenen Lösung A reagiert und dabei eine feste Masse bildet (Abb. 7.15).

Die Anwendung des Verfahrens erfolgt i. a. haltungsweise (ca. 60–80 m). Es ist auch möglich, mehrere Haltungen sowie Schächte und Anschlusskanäle gleichzeitig oder separat zu behandeln. In allen Fällen müssen diese für die Dauer der Injektion außer Betrieb gesetzt werden.

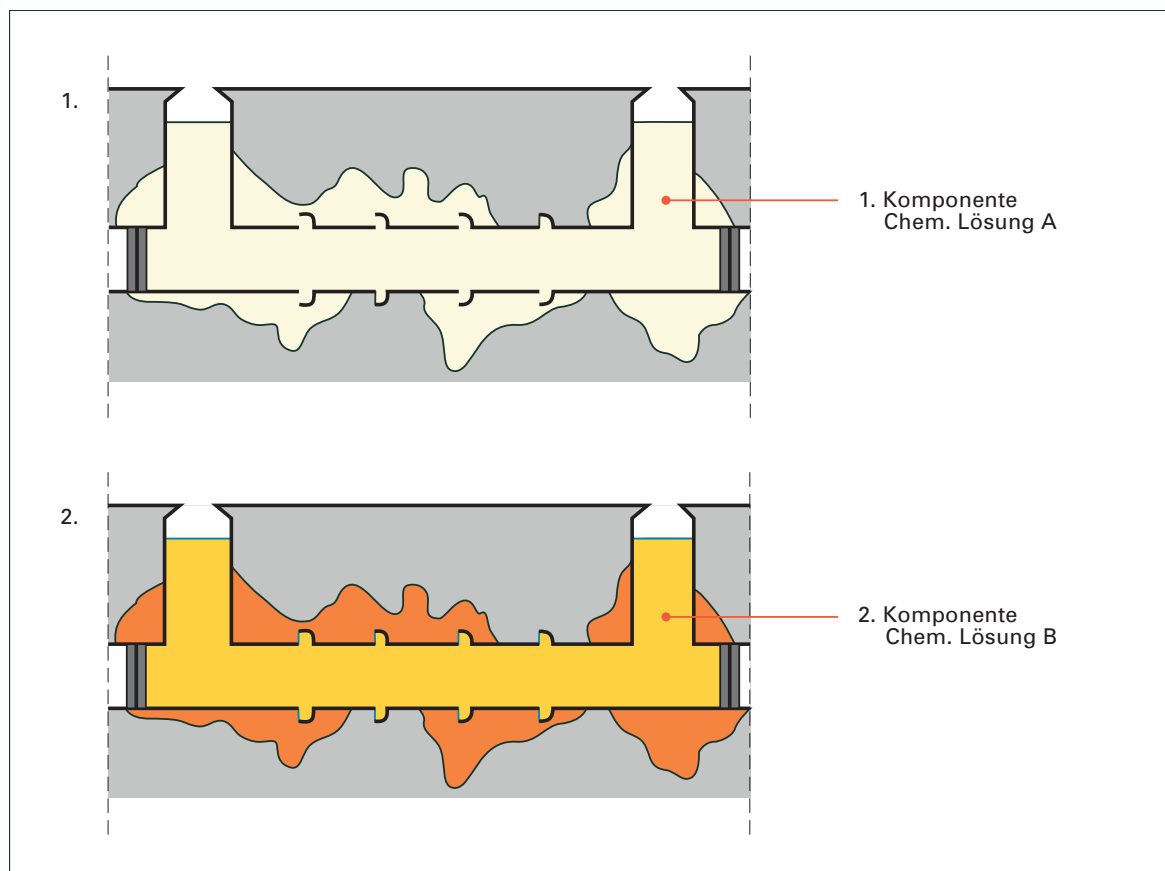


Abb. 7.15: Flutungsverfahren, Beispiel (aus [ATV, 1995])



### 7.5.5.2 Rissinjektion

#### Richtlinien

Für die Rissinjektion im vorliegenden Anwendungsfall gibt es keine speziellen technischen Vorschriften. Sinngemäß übertragbar sind die Merkblätter des Deutschen Betonvereins [N.N., 1981] sowie Abschnitt 5 „Füllen von Rissen und Hohlräumen in Betonbauteilen“ in den „Zusätzlichen Technischen Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten ZTV-ING“ der Bundesanstalt für Straßenwesen [BASt, 2010]. Sie enthalten Regelungen für das Füllen von Rissen und befassen sich mit Begriffsbestimmungen, Anwendung, Bestandsaufnahme, Werkstoffen, Ausführung, Prüfungen, Abnahme, Gewährleistung sowie Abrechnung. Die ZTV-ING wird ergänzt durch Technische Lieferbedingungen und Technische Prüfvorschriften für Füllgut aus Epoxidharz und zugehöriges Injektionsverfahren (TL/TP FG-EP) [ZTV-RISS, 1993].

#### Ziel der Rissinjektion

Das Füllen von Rissen ist vorzusehen, wenn eines oder mehrere der folgenden Ziele erreicht werden müssen [BASt, 2010]:

- Hemmen oder Verhindern des Zutritts von korrosionsfördernden Wirkstoffen in Bauteile durch Risse (Schließen),

- Beseitigen von rissbedingten Undichtheiten des Bauteils (Abdichten),
- Herstellen einer zugfesten Verbindung beider Rissufer (kraftschlüssiges Verbinden) bzw.
- Herstellen einer begrenzt dehnfähigen Verbindung beider Rissufer (dehnfähiges Verbinden).

Die beiden letztgenannten Ziele schließen sich im Allgemeinen gegenseitig aus. Darüber hinaus soll beim Füllen der Risse auch die Oberfläche einer evtl. vorhandenen Bewehrung benetzt und bedeckt werden [Depke, 1986].

### 7.5.5.3 Injektion von Rohrverbindungen

Die Injektion von Rohrverbindungen in begehbaren Querschnitten kann analog zur erläuterten Rissinjektion oder unter Verwendung von Spezialpackern durchgeführt werden. Diese Packer werden von Hand oder maschinell an der undichten Rohrverbindung positioniert (Abb. 7.16).

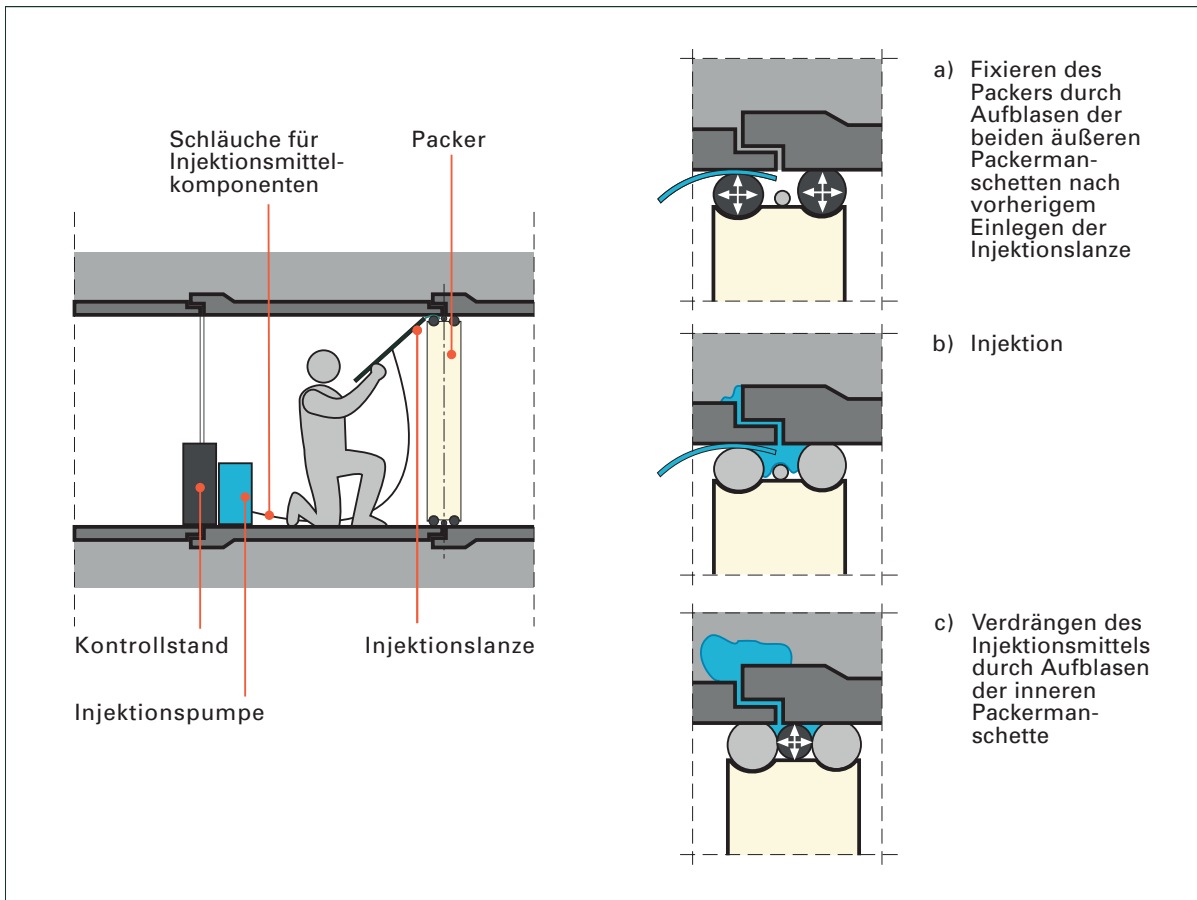


Abb. 7.16: Prinzipsskizze der Abdichtung von Rohrverbindungen begehbare Kanäle mit Hilfe eines Dreifach-Injektionspackers [ATV, 1995]

### Injektion von Rohrverbindungen im nichtbegehbaren Bereich

Die im nichtbegehbaren Nennweitenbereich für diesen Anwendungsfall eingesetzten Injektionsverfahren unterscheiden sich durch den jeweils eingesetzten Packer-typ und das Injektionsmittel. In jedem Fall ist der zusätzliche Einsatz einer Kanalfernsehkamera erforderlich.

Die Verfahren dienen vorzugsweise zur Abdichtung von Rohrverbindungen, Querrissen sowie örtlich begrenzten Undichtigkeiten in Rohrleitungen aus allen im Abwassersektor üblichen Werkstoffen.

Die erforderlichen Geräte – Fernsehkamera und Packer – werden über den Einsteigschacht in die abzudichtende Haltung eingeführt und z.B. mittels einer Winde bzw. mit einem Fahrwagen zur Schadensstelle gezogen bzw. transportiert und dort positioniert.

### Durchführung

Die einzelnen Arbeitsschritte sind in *Abb. 7.17* dargestellt:

1. Der Packer wird durch Aufblasen der beiden Packermanschetten fixiert, so dass der verbleibende Zwischenraum von der übrigen Leitung gas- und wasserdicht abgeschlossen ist.
2. Im zweiten Arbeitsschritt erfolgt die Dichtheitsprüfung, vor allem bei Rohrverbindungen mit nicht sichtbaren Infiltrationen, in Anlehnung an DIN EN 1610 [DIN, 1997b] durch Einpressen von Luft oder Wasser mit ca. 0,5 bar in den Zwischenraum.
3. Wird eine Undichtigkeit festgestellt, erfolgt im dritten Arbeitsschritt die eigentliche Injektion durch das gleichzeitige Einpressen von zwei Komponenten eines Injektionsmittels. Beide Komponenten vermischen sich im Zwischenraum (Ringraum des Packers) und werden durch den Injektionsdruck in die Hohlräume gepresst. Die Reaktionszeit der Injektionslösung ist steuerbar.
4. Mit einer sich unmittelbar anschließenden Dichtheitsprüfung mit einem Luft- oder Wasserdruck von 0,5 bar wird im vierten Arbeitsschritt der Nachweis der erfolgreichen Abdichtung erbracht.

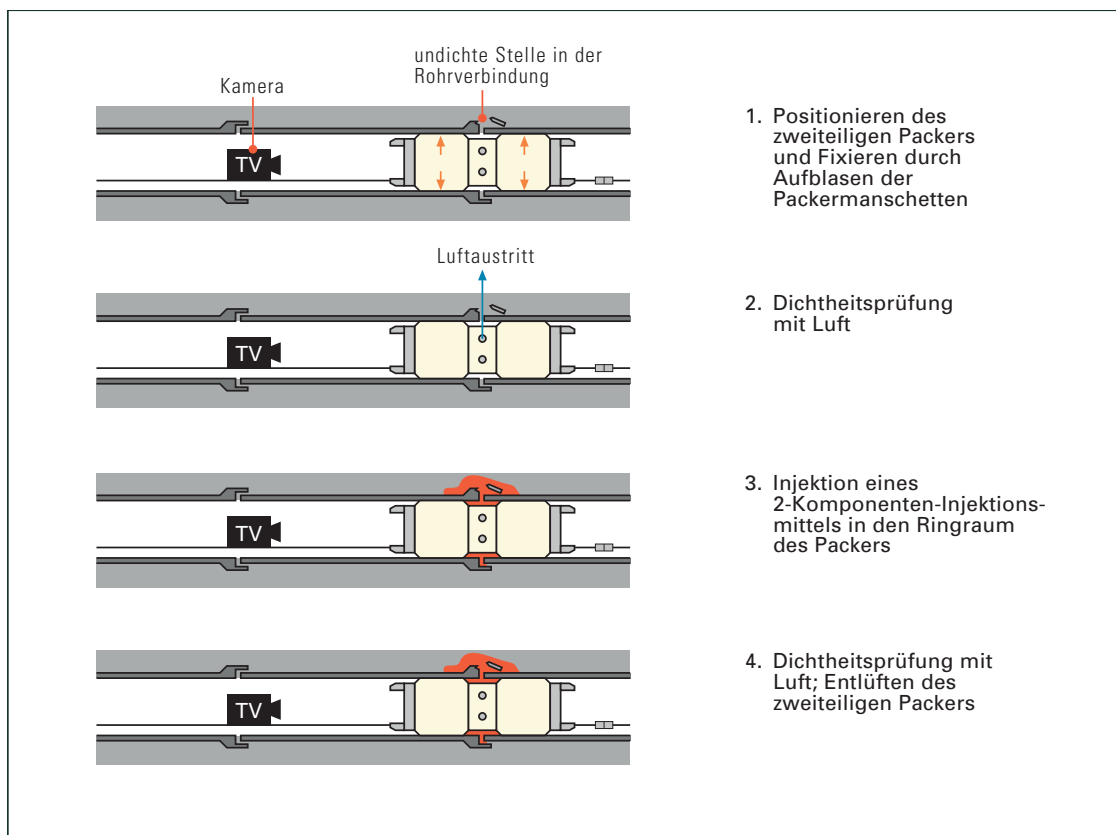


Abb. 7.17: Arbeitsablauf, Beispiel Penetryn-Verfahren (aus [ATV, 1995])

### 7.5.6 Verfahren zur Abdichtung von Kanalabschnitten

Abdichtungsverfahren dienen zur örtlich begrenzten oder abschnittswisen Abdichtung undichter Rohrverbindungen bzw. Bauwerksfugen und/oder Rohren bzw. Bauwerksteilen, deren Standsicherheit nicht gefährdet ist, durch Oberflächenbehandlung, Abdichtungsstoffe oder selbsthaftende bzw. fixierte Manschetten.

#### Verfahrensmöglichkeiten

In der Praxis kommen im Wesentlichen folgende Abdichtungsverfahren zum Einsatz [Stein, 1998]:

- Abdichtung von außen: Schrumpfschläuche, Außenmanschetten;
- Abdichtung von innen: Abdichtungsstoffe (elastische Dichtmittel, plastische Dichtmittel und Fugendichtungsmassen), Innenmanschetten (Weco-Seal bzw. Amex-10), Oberflächenbehandlung.

Abdichtungen von außen erfordern die Herstellung einer Baugrube.

Die Abdichtungsverfahren von innen können in der Regel nur in begehbaren Kanälen ausgeführt werden. Ausnahmen stellen die Innenmanschetten dar (s. Kap. 7.5.2 *Innenmanschetten in nicht begehbaren Kanälen*). Sie werden nach Herstellerangaben sowohl für die Wiederherstellung der statischen Tragfähigkeit als auch zur Abdichtung verwendet.

### 7.5.7 Praxisbeispiel Sanierung von Anschlussstutzen

#### 7.5.7.1 Schäden

Laut der DWA-Umfrage des Jahres 2009 [Berger und Falk, 2009] sind schadhafte Anschlüsse mit einem Anteil von 20% an den Gesamtschäden die häufigste Kanalschadensart. Bei fast allen der befragten Kanalnetzbetreiber sind „schadhafte Anschlüsse“ häufig bis sehr häufig anzutreffen.

Diese Schäden an Anschlussstutzen haben nach [Kaltenhäuser, 2006] vielfältige Ursachen. Vor der Entwicklung von Bohreräten und Formteilen (Anschlussformteile, Sattelstücke und Abzweige) wurde der Hauptkanal zur Verbindung mit der Anschlussleitung aufgestemmt, die Anschlussleitung eingeführt und die Einbindungsstelle mit z.B. Ton, Zementmörtel oder Gussasphalt zugespachtelt. Bei dieser veralteten Verbindungsart sind Schäden häufig auf Werkstoffalterung, Lageabweichungen infolge von Setzungen und mechanischen Verschleiß durch Belastungen aus dem Kanalbetrieb zurückzuführen. Bei dem in neuerer Zeit üblichen Einsatz von Formteilen zur Verbindung der Anschlussleitung mit dem Kanal können Schäden, z.B. Undichtigkeiten, auch auf mangelnde Qualität der Bauteile zurückgeführt werden [Bosseler et al., 2002]. Des Weiteren sind Schäden auf die Verwendung ungeeigneter Werkstoffe, fehlerhafter Bauteile und auf die nicht fachgerechte Bauausführung zurückzuführen.

Gängige Schäden an Anschlussstutzen sind einragende oder zurückliegende Anschlussleitungen sowie Risse und Abplatzungen im Bereich der Anschlussstutzen (Abb. 7.18, Abb. 7.19). Anstehender Boden und Grundwasser kann an schadhafte Anschlussstutzen in den Hauptkanal eindringen.

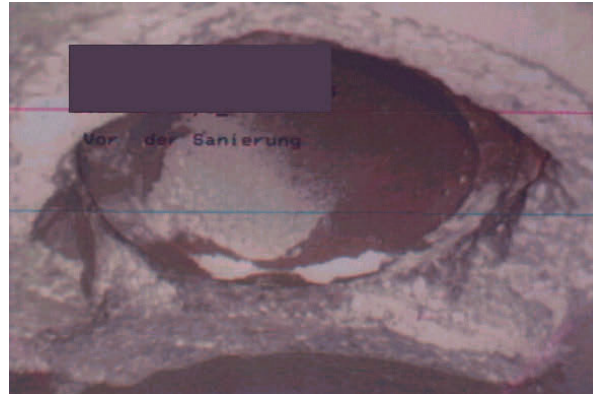


Abb. 7.18: Starke Ausbrüche am Anschlussstutzen (aus [Bosseler und Kaltenhäuser, 2004])



Abb. 7.19: Im spitzen Winkel angeschlossene, zurückliegende Anschlussleitung (aus [Bosseler und Kaltenhäuser, 2004])

#### 7.5.7.2 Reparatur

Die Reparatur von Anschlussstutzen kann in offener oder geschlossener Bauweise durchgeführt werden. Neben den i.d.R. geringeren Kosten bei der Reparatur in geschlossener Bauweise bietet diese gegenüber der offenen Bauweise auch den Vorteil der geringen Umweltbeeinflussung während der Bauphase, z.B. eine geringe Einschränkung des Straßenverkehrs.

#### Offene Bauweise

Bei der Reparatur in offener Bauweise wird der Bereich des Anschlussstutzens freigelegt. Zur Erneuerung des Anschlussstutzens können in Abhängigkeit von den Rohrmaterialien Anschlussformteile, Sattelstücke und Abzweige eingesetzt werden. Anschlussformteile (Abb. 7.20) und Sattelstücke werden über ein Bohrloch mit dem Hauptkanal verbunden. Bei Abzweigen wird ein Teil des Hauptkanals herausgetrennt und der Abzweig eingesetzt.





Abb. 7.20: Einbau eines Anschlussformteils bzw. Anschlussstutzens (aus [Kaltenhäuser, 2006])

### Geschlossene Bauweise

Die Reparatur von Anschlussstutzens in geschlossener Bauweise wird aus dem Hauptkanal heraus durchgeführt. Grundsätzlich sind die Verfahrensgruppen Injektionsverfahren und Hutprofilverfahren zu unterscheiden. Werden lediglich die Anschlussstutzens unter Nutzung der Altrohrsubstanz repariert, kommen überwiegend Injektionsverfahren zum Einsatz. Ein Hauptanwendungsfall der Hutprofilverfahren ist die Anbindung von Anschlussleitungen an einen mittels Relining renovierten Kanal. In Abhängigkeit vom Schadensbild, z.B. vorhandene Hohlräume, kann eine Kombination von Injektion und Hutprofil sinnvoll sein. Zum Teil werden Hutprofilverfahren auch zur Reparatur von Anschlussstutzens unter Nutzung der Altrohrsubstanz angeboten.

#### Injektionsverfahren

Als Injektionsmaterial werden z.B. zementgebundene Mörtel, Epoxidharze oder Silikatharze eingesetzt. Bei der Reparatur mit dem Injektionsverfahren soll das eingesetzte Material einen Verbund mit den Altrohrwerkstoffen herstellen und das Rohr-Boden-System stabilisiert werden.

Der Anschlussstutzens wird in der Regel mit einem Fräsroboter für die Injektion vorbereitet. Mit dem Roboter wird die Kanalinnenwand im Bereich des Anschlussstutzens abgefräst bzw. angeraut, um die Haftung des Injektionsmaterials sicherzustellen. Anschließend werden die Fräsrückstände durch Hochdruckreinigung entfernt.

Zur Reparatur wird die Schadstelle durch ein Schalungsschild im Hauptkanal und durch eine in die Anschlussleitung eingeführte Dichtblase abgesperrt (Abb. 7.21). Anschließend wird das Injektionsmaterial mit einem verfahrensabhängigen Verpressdruck in die Schadstelle gepresst. Die Aushärtung des Injektionsmaterials erfolgt i.d.R. unter Umgebungstemperatur; sie wird verfahrensabhängig durch Wärmeerzeugung unterstützt.



Abb. 7.21: Injektionspacker mit Schalungsschild und Absperrblase (aus [Bosseler und Kaltenhäuser, 2004])

#### Hutprofilverfahren

Hutprofile bestehen aus einem Trägermaterial, z.B. Filz, und einem Harzsystem. Das Trägermaterial hat einen Kragen mit Schlauchstück und wird mit dem Harz getränkt. Nach der Reparatur ist der Kragen mit der Innenwand des Hauptkanals und das Schlauchstück mit der Anschlussleitung verbunden.



Abb. 7.22: Packer mit Hutprofil (aus [Bosseler und Kaltenhäuser, 2004])

Grundlegend wird der Anschlussstutzen vor dem Einbringen des Hutprofils mit einem Fräsroboter bzw. mit einer Stahlbürste angeraut, um eine ausreichende Haftung zu gewährleisten. Vergleichbar zu den Injektionsverfahren werden anschließend die Fräsrückstände durch Hochdruckreinigung entfernt. Das Hutprofil wird entsprechend dem Schadensbild vorbereitet und mit dem Harz imprägniert.

Nach Abschluss der Vorarbeiten erfolgt der Transport des Hutprofils zur Schadstelle mit einem Roboter bzw. Packer (Abb. 7.22). Dort wird das Schlauchstück an die Innenwand der Anschlussleitung und der Kragen an die Innenwand des Hauptkanals angepresst. Das Hutprofil wird meist unter Umgebungstemperatur ausgehärtet; verfahrensabhängig wird diese Aushärtung auch durch Wärmeerzeugung unterstützt.

## 7.6 Renovierung

Unter Renovierung (Sanierung nach ATV M 143 Teil 1 [ATV-DVWK, 2004a]) versteht man nach DIN EN 752:2008 [DIN, 2008b] Maßnahmen zur Verbesserung der aktuellen Funktionsfähigkeit von Abwasserleitungen und -kanälen unter vollständiger oder teilweiser Einbeziehung ihrer ursprünglichen Substanz.

### Verfahren

Zur Durchführung der Maßnahmen dienen:

- Beschichtungsverfahren (Kap. 7.6.1 *Beschichtungsverfahren*) oder
- Auskleidungsverfahren aus Bahnen, Platten, Einzelelementen (Kap. 7.6.2.3 *Auskleidung mit montierten Einzelelementen*) oder mit Rohren (Kap. 7.6.3 *Rohrrelining – Auskleidung mit vorgefertigten Rohren*, Kap. 7.6.4 *Wickelrohrverfahren – Auskleidung mit örtlich hergestellten Rohren* und Kap. 7.6.5 *Schlauchverfahren – Auskleidung mit örtlich hergestellten und erhärtenden Rohren*).

### 7.6.1 Beschichtungsverfahren

Zur Sanierung im Beschichtungsverfahren wird ein spezielles Beschichtungsmaterial auf die Innenwandung des Bauwerks aufgebracht und erhärtet dort zu einer in sich zusammenhängenden Schicht. Hauptsächlich kommen Beschichtungsverfahren bei der Sanierung von Schächten zum Einsatz. Aus diesem Grunde wird in den folgenden Abschnitten die Vorgehensweise mit Blick auf diesen Anwendungsfall erläutert (vgl. [Bosseler und Puhl, 2005]).

In Schächten der Ortsentwässerung können Beschichtungen zur Wiederherstellung der Wasserdichtheit, des Widerstandsvermögens gegenüber biogener Schwefelsäurekorrosion und der Wiederherstellung der statischen Tragfähigkeit des Schachtbauwerkes dienen. Bei Sanierungen des Schachtkörpers kommen auch heute vorwiegend **Mörtelbeschichtungen** zum Einsatz. Darüber hinaus werden seit einigen Jahren auch vermehrt organische filmbildende **Beschichtungen aus Polyurethan** in Schächten eingesetzt. In Einzelfällen, wie z.B. im Rahmen des Forschungsvorhabens „Demonstrati-

onsobjekt Hamburger Sammlersystem“ [Bielecki und Schremmer, 1987], wurden auch Betonkorrosionsschutzmaßnahmen auf der Basis von Epoxidharzen erprobt. Allerdings waren die Erfahrungen hier i.d.R. negativ, so verhinderte z.B. nachdrückendes Grundwasser die Haftung des Harzes in der Aushärtungsphase und zeitliche Verzögerungen beim Aufbringen der einzelnen Schichten reduzierten die Haftung oder es kam zu Blasenbildungen in der Beschichtung bzw. Rissen und Abplatzungen. Entsprechend werden Epoxidharze derzeit kaum eingesetzt und auch nachfolgend nicht weiter betrachtet.

### 7.6.1.1 Mörtelbeschichtung

#### Produkte und Materialeigenschaften

Die in Schächten zur Beschichtung eingesetzten mineralischen Mörtelsysteme sind heute in der Regel kunststoffmodifiziert und werden als Trockenmörtel, z.B. in Säcken, auf die Baustelle geliefert, wo sie in der Regel nur noch mit Wasser unter Beachtung der vorgegebenen Mischzeiten und Mischungsverhältnisse angemischt werden müssen.

Die Verarbeitungszeit von Mörteln auf der Baustelle beträgt in Abhängigkeit von Umgebungstemperatur, Wassergehalt und Förderdruck zwischen 30 und 45 Minuten. Die heute verwendeten Mörtelsysteme zeichnen sich aus durch ihre hohe Widerstandsfähigkeit gegenüber einem starken chemischen Angriff. Nach Herstellerangaben sind pH-Bereiche angreifender Medien zwischen pH 3 und pH 11 langfristig ohne schädigende Auswirkungen auf den Mörtel. Bei einem kurzzeitigen Angriff liegt der Bereich sogar zwischen pH 1 und pH 14. Wie bei allen mineralischen Mörteln muss der Untergrund vor dem Auftragen mattfeucht vorgenässt werden. Darüber hinaus ist auch in Schächten eine mörtelübliche Nachbehandlung notwendig, um die gewünschte Mörtelqualität zu erzielen. Bereits 4 Stunden (bei 10°C) nach Verarbeitung des Mörtels darf das Abwasser wieder die Beschichtung belasten [Fa. Ergelit, 2004].

Als Mindestwerte für die Schichtdicke von Mörtelbeschichtungen werden nach [DAfStb, 2001] 5 mm für reaktionsharzgebundene Mörtel, 10 mm für kunststoffmodifizierte Mörtel und 20 mm für zementgebundene Mörtel vorgeschlagen. Die Schichtdicke sollte außerdem mindestens dem dreifachen Größtkorndurchmesser entsprechen. Die Standsicherheit eines Schachtes kann durch eine Beschichtung mit mineralischem Mörtel wiederhergestellt werden. Dies ist insbesondere bei Schächten aus korrodiertem Mauerwerk der Fall, wo bereits durch das Füllen der Fugen und der fehlenden Klinker mit Beschichtungsmörtel die Tragfähigkeit des Schachtes im Vergleich zum geschädigten Zustand erhöht wird.

#### Anforderungen an Mörtelbeschichtungen

Die an Materialien zur Mörtelbeschichtung zu stellenden Anforderungen richten sich nach den im Einzelfall



zu erwartenden Beanspruchungen. Dabei ist zu unterscheiden in

- **Beanspruchungen der Mörtelbeschichtung** selbst (durch physikalischen, chemischen, biologischen oder biochemischen Angriff) und
- **Beanspruchungen des Verbundsystems** aus Mörtelbeschichtung und Untergrund (in der Regel durch Eigenspannungen, z.B. infolge von Schwinden).

Die Beanspruchungen treten in der Praxis nicht einzeln, sondern in zeitlich veränderlichen Überlagerungen auf. Die Haftzone zum Untergrund wird durch Scherspannungen und Abreißzugspannungen (Schälspannungen) beansprucht, wobei die folgenden Einwirkungen dominieren (vgl. Abb. 7.23):

- Schwinden des Beschichtungsmörtels,
- Temperaturwechsel (jahreszeitliche Schwankungen, Heißwassereinleitung),
- Rissbewegung im Untergrund z.B. infolge dynamischer Beanspruchungen durch Verkehrslasten.

Die Adhäsionsfestigkeit kann dabei stark beeinträchtigt werden durch

- chemischen Angriff (biogene Schwefelsäurekorrosion) und
- Feuchtigkeitszutritt aus dem Untergrund.

Einen Überblick über die in der Verbundfuge auftretenden Beanspruchungen infolge Schwindens gibt Abb. 7.24. Bei den gekrümmten Schachtinnenflächen treten zusätzlich zu den bei ebenen Flächen üblichen Schubspannungen in der Verbundfuge infolge von Schwinden auch Radialspannungen auf, die eine zusätzliche Beanspruchung für den Verbund zwischen Beschichtung und Untergrund darstellen und im Fall eines nicht ausreichenden Verbundes zu einem Abheben der Beschichtung vom Untergrund mit der Bildung eines Ringspalteltes führen können. Voraussetzung hierfür ist allerdings, dass die Beschichtung selbsttragend ist und eine ausreichende Festigkeit besitzt, um die auftretenden Spannungen rissfrei aufzunehmen.

Sofern kein Versagen in der Verbundfuge auftritt, besteht – insbesondere bei dünnen Zementmörtelbeschichtungen – die Gefahr der Rissbildung aufgrund der genannten Beanspruchungen.

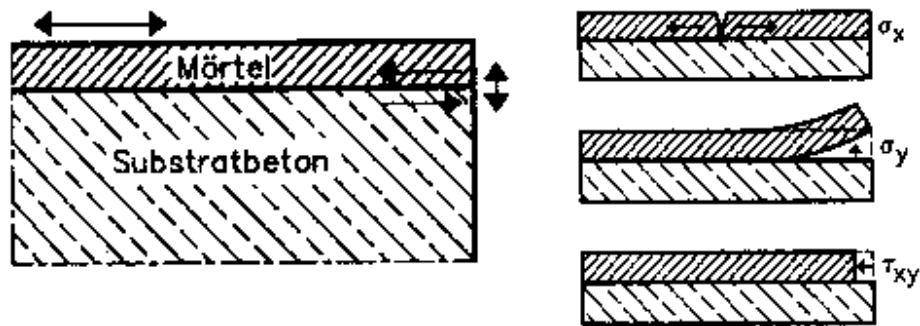


Abb. 7.23: Versagensarten einer Mörtelbeschichtung auf einem Betonuntergrund infolge von Eigenspannungen aus Temperaturänderung und Schwinden (aus [Sasse, 1994])

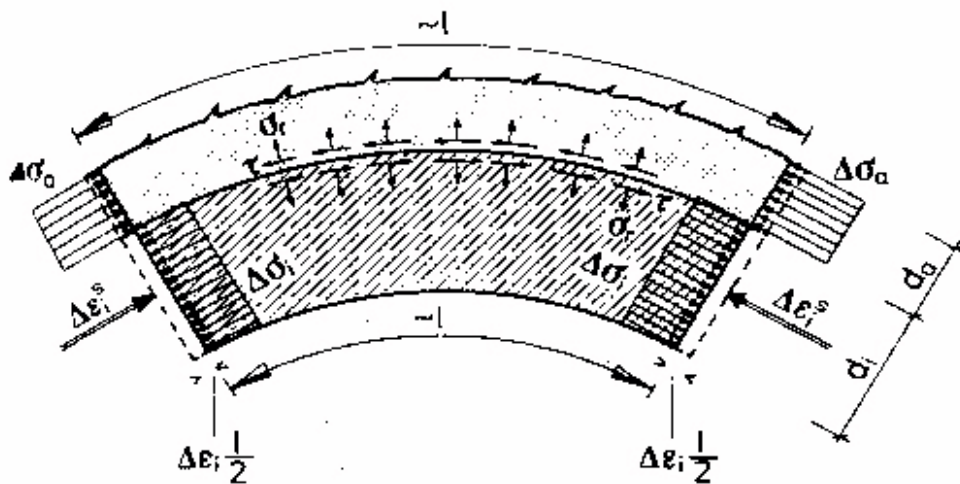


Abb. 7.24: Spannungen in der Verbundfuge infolge des Schwindens der Beschichtung [Schmidt, 1986]



### 7.6.1.2 Polyurethanbeschichtung

#### Produkte und Materialeigenschaften

Filmbildende Beschichtungen können aus einer oder mehreren Schichten bestehen, die jeweils eine Dicke zwischen 0,1 mm und 0,3 mm besitzen. Art und Anzahl der einzelnen Schutzschichten richten sich nach der Schutzfunktion, die sich aus den Anforderungen und Beanspruchungen ergeben [Sasse, 1994]. Filmbildende Beschichtungen werden ausschließlich aus organischen Materialien hergestellt (z.B. Epoxidharze, Polyurethane etc.). Von diesen Materialien wird für die Schachtbeschichtung heute fast ausschließlich **Polyurethan** verwendet.

Die heute eingesetzten Polyurethansysteme bestehen aus den beiden Rohstoffkomponenten Polyisocyanaten und Polyolen. Ihre Verarbeitung kann auf Niederdruck- oder Hochdruckspritzmaschinen (vgl. Abb. 7.25) bei Raumtemperatur erfolgen, wobei die hohe Thixotropie der Reaktionsmischung ein Abfließen des Polyurethans unmittelbar nach dem Aufspritzen verhindert. Bereits 30 Minuten nach dem Auftrag der Beschichtung kann diese begangen werden, nach vier Stunden (bei 10 °C) ist die Beschichtung vollkommen ausgehärtet [Fa. Reilus, 2001].



Abb. 7.25: Auf einen PKW-Anhänger montierte Verarbeitungsmaschine MPS 20 für 2-Komponenten Polyurethansysteme [Fa. Loos, o.J.]

Nach Herstellerangaben [Bayer AG, o.J.] können die wesentlichen Merkmale einer Polyurethanbeschichtung wie folgt zusammengefasst werden:

- kurze Fertigungszeit durch hohe Reaktivität des Materials (Aushärtezeit wenige Minuten),
- gute Haftung auf Beton,
- Temperaturbeständigkeit,
- chemische Beständigkeit gegen saure und basische Medien,
- Witterungsbeständigkeit,
- hoher Wasserdampfdiffusionswiderstand und Wasserundurchlässigkeit,
- hohe Steifigkeit und Schlagzähigkeit.

Nahezu alle der bislang eingesetzten Polyurethane reagieren im nicht ausgehärteten Zustand, also während des Auftragens bis zum Abschluss des Abbindeprozesses, mit Wasser. Dies führt zu Blasenbildung und Aufschäumen des Polyurethans mit der Folge, dass kein Verbund zum Untergrund entsteht. Daher darf die Untergrundfeuchtigkeit für die heute verwendeten Polyurethane in Abhängigkeit des verwendeten Systems nicht über 6 Masse-%, und die Temperatur des Untergrundes nicht weniger als 3 °C über den vor Ort herrschenden Taupunkttemperaturen liegen.

#### Anforderungen an filmbildende Beschichtungen

In Abhängigkeit von der Konstruktion können an organischen filmbildenden Beschichtungen folgende Beanspruchungen wirken (vgl. auch [Hillemeier, 1987]):

- **Osmotischer Druck hinter der Beschichtung** bedingt durch das Bestreben zum Konzentrationsausgleich wasserlöslicher Substanzen.
- **Diffusionsvorgänge von Schwefelwasserstoff** mit Zerstörung der Beschichtung oder des Beschichtungsträgers durch Korrosion.
- **Diffusionsvorgänge von Wasser** mit verhältnismäßig geringen Drücken auf gering durchlässige oder dichte Beschichtungen. Maximal kann der hydrostatische Wasserdruck anstehen.
- **Kapillardruck durch kapillaren Wassertransport** in den Porenräumen des beschichteten Betons.

In mehreren Untersuchungen [Dammann, 1985], [Bekendorf, 1975], [Müller und Grescuchna, 1980] zeigte sich, dass die Beanspruchung durch osmotischen Druck in organischen Beschichtungen zur Bildung zahlreicher kleiner Bläschen führen kann. Dieses Schadensbild tritt allerdings vorwiegend bei sehr dünnen Beschichtungen auf und konnte bei Untersuchungen an Polyurethanbeschichtungen in Schächten, mit den dort üblichen Schichtdicken von mindestens ca. 1 mm, nicht festgestellt werden (vgl. [Bosseler et al., 2001]). Ein Aufschäumen des Polyurethans während des Auftrags mit in der Folge mangelhaftem Verbund zwischen Untergrund und Schachtbeschichtung wird in der Praxis meist auf eine zu hohe Feuchtigkeit des zu beschichtenden Untergrundes zurückgeführt.

### 7.6.1.3 Verfahrenstechniken

In Abhängigkeit von der Art der Aufbringung einer Mörtelbeschichtung unterscheidet man folgende Verfahren:

- Auftragen von Hand,
- Anschleuderverfahren und
- Nassspritzverfahren.

In Abhängigkeit von der Art der Aufbringung einer Polyurethanbeschichtung unterscheidet man folgende Spezialverfahren:

- Anspritzverfahren und
- Sprüh-Schleuderverfahren.

Abb. 7.26 gibt eine Übersicht über die im Rahmen von In-situ-Maßnahmen untersuchten Beschichtungs- und Reinigungsverfahren.

Das **Auftragen von Hand** wird auch heute noch zur Beschichtung von Schächten eingesetzt. Nach Angaben von Verfahrensanbietern lassen sich damit Schachtbeschichtungen bis zu einer Tiefe von ca. 3,5 m wirtschaftlich ausführen. Ein Vorteil des Auftragens von Hand besteht darin, dass die Beschichtung mit einer Kelle aufgetragen und geglättet wird und somit immer eine relativ glatte Oberfläche besitzt.

Bei dem **Anschleuderverfahren** wird der Beschichtungsmörtel durch einen schnell rotierenden Schleuderkopf gegen die Schachtinnenwand geworfen. Nach Ansetzen und Zentrieren des Schleuderkopfes an der Schachtöffnung wird das Gerät mit konstanter Geschwindigkeit von oben in den Schacht bis zur Sohle herabgelassen und wieder hochgezogen. Dabei erfolgt das Anschleudern des Mörtels an die Schachtwand durch Rotation des Schleuderkopfes. Durch in diesem radial angeordnete und im Außenbereich kammartig ausgebildete Bleche wird der Mörtel fein verteilt. Die gewünschte Schichtdicke wird bei konstanter Mörtelfuhr und Rotationsgeschwindigkeit des Schleuderkop-

fes und bei konstanter Ziehgeschwindigkeit durch die Anzahl der Übergänge schichtweise aufgebaut. Die Schichtdicke pro Übergang liegt etwa zwischen 0,5 und 1,3 mm. In der Regel beträgt die Dicke der fertigen Beschichtung bis zu 20 mm. Es sind aber auch schon Beschichtungsdicken von 40 mm und mehr ausgeführt worden [Fa. Rainer Hermes, o.J.].

Die Oberfläche der so aufgetragenen Beschichtung besitzt eine gewisse Rauheit, die von Material- und Verfahrensanbietern mit der Struktur einer Apfelsinenhaut verglichen wird. Löcher, Fugen und Risse sind vor der Sanierung mit geeigneten Materialien zu profilieren, da die Beschichtung die Struktur der Oberfläche abbildet. Da die Anwendung von Anschleuderverfahren nur für die Schachtwände möglich ist, muss die Beschichtung bzw. Reprofilierung im Bereich der Schachtsohle von Hand ausgeführt werden. Darüber hinaus ist darauf zu achten, dass die Steigeweisen der Schächte zur Vermeidung von Spritzschatten in diesen Bereichen vor Ausführung der Beschichtung entfernt werden. Obwohl nach Herstellerangaben auch das Glätten einer Beschichtung bei Ausführung des Anschleuderverfahrens prinzipiell möglich ist, wird hierauf heute in der Regel verzichtet (vgl. [Fa. Rainer Hermes, 2004]).



Abb. 7.26: Bei In-situ-Maßnahmen [Bosseler und Puhl, 2005] untersuchte Beschichtungs- und Reinigungsverfahren



Beim **Nassspritzverfahren** wird der Mörtel in Zwangsmischgeräten (wie z.B. Tellermischer oder Zwangsmischer) angemischt, über eine Schneckenpumpe zu einer Spritzdüse befördert und mittels an der Spritzdüse eingebrachtem Luftdruck mit 3 bis 5 bar auf die Schachtwandung aufgespritzt. Um eine homogene Schicht zu erhalten, ist es notwendig, die Spritzdüse mit gleichbleibender Geschwindigkeit und gleichbleibendem Abstand zur Wandung zu führen. So wird z.B. für die Aufbringung von Spritzbeton empfohlen (vgl. [DIN, 2010b]), den Spritzwinkel möglichst rechtwinklig zur Auftragsfläche zu halten und die Düse mit einem Abstand zur Oberfläche von 50 bis 100 cm zu führen. Dies dürfte bei der Beschichtung von Abwasserschächten mit üblichen Innendurchmessern von 100 cm in der Praxis selten möglich sein (vgl. Abb. 7.26). Die Oberflächen der einzelnen Spritzschichten dürfen nicht geglättet werden [Fa. Rainer Hermes, o.J.]. Gegenüber dem Anschleuderverfahren ist keine einheitliche Geometrie des Schachtbauwerkes erforderlich, so dass auch die Beschichtung der Schachtsohle und der durch Steigeisen verdeckten Bereiche sowie von Versprünge, Ecken und Kanten mit diesem Verfahren möglich ist.

Die zur Sanierung von Schächten mit Polyurethanen konzipierten Zweikomponenten-Spritzanlagen zeichnen sich durch einen verhältnismäßig kleinen, gut handhabbaren Mischkopf aus, in dem beide Komponenten vor Austritt aus der Düse in einem Statikmischer vermischt werden. Zweikomponenten-Polyurethan besitzt eine hohe Reaktivität, so dass in wenigen Minuten

nach dem Aufspritzen bereits ein geschlossener Film vorliegt [Bayer AG, o.J.].

Beim **Anspritzenverfahren** wird das Polyurethanmaterial mit einem Druck von ca. 4,5 bar händisch auf den Untergrund gesprüht. In einem Arbeitsgang können Schichtdicken von ca. 0,5 mm aufgebracht werden, ohne dass das Material stark verläuft [Loos, 2003].

Für Polyurethan existiert darüber hinaus ein sogenanntes **Sprüh-Schleuderverfahren**, bei dem das flüssige Polyurethan auf einen rotierenden Teller gespritzt und durch die Rotation auf die Schachtwand geschleudert wird (vgl. Abb. 7.26). Hierbei gelten allerdings die gleichen Einschränkungen wie beim Anschleuderverfahren für mineralische Mörtel, so dass ein Teil der Beschichtung (z.B. im Bereich der Steigeisen und Schachtsohle) immer mit dem Aufspritzenverfahren aufgetragen werden muss.

## 7.6.2 Auskleidung von Kanälen – Verfahren und Anforderungen

### 7.6.2.1 Einteilung der Auskleidungsverfahren – Begriffsdefinition

Nach ATV-Merkblatt M 143 Teil 1 [ATV-DVWK, 2004a] werden Auskleidungsverfahren unterschieden in

- Auskleidung mit Rohren und
- Auskleidung mit montierten Einzelementen.

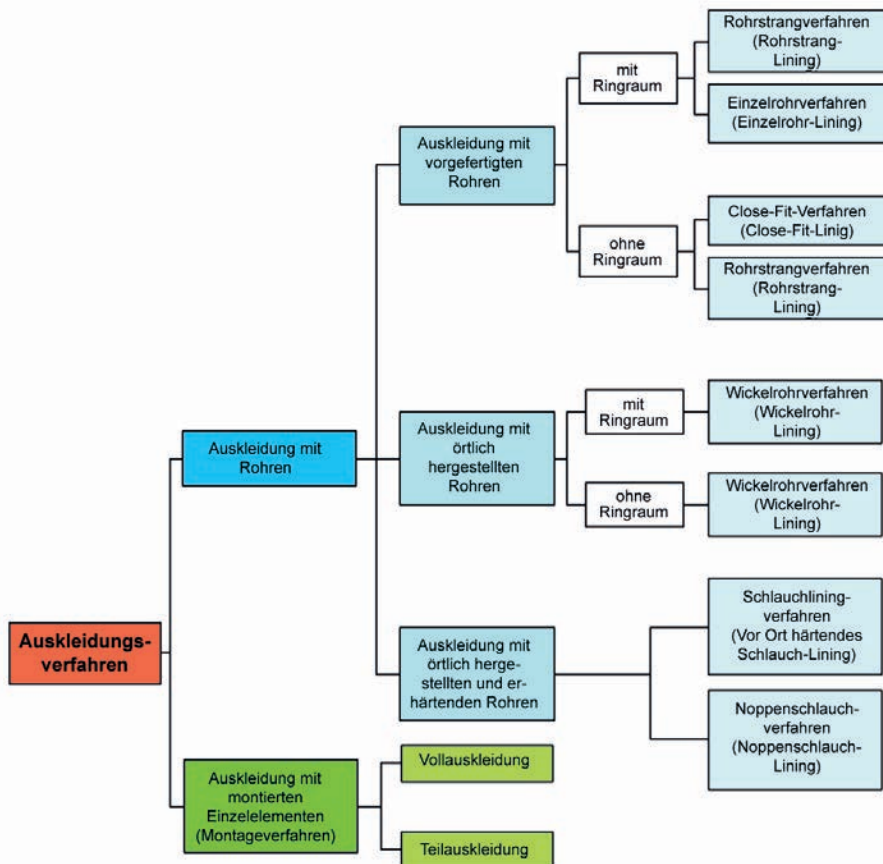


Abb. 7.27: Verfahren zur Auskleidung von Kanälen in Anlehnung an [ATV-DVWK, 2004a]



Die Auskleidung mit Rohren umfasst die

- a) Auskleidung mit vorgefertigtem Rohren (mit und ohne Ringraum) in Form von
  - Rohrstrang-Lining,
  - Einzelrohr-Lining und
  - Close-Fit-Lining.
- b) Auskleidung mit örtlich hergestellten Rohren (mit und ohne Ringraum) durch
  - Wickelrohr-Lining
- c) Auskleidung mit örtlich hergestellten und erhärtenden Rohren mit Hilfe von
  - Vor Ort härtendes Schlauch-Lining und
  - Noppenschlauch-Verfahren

Zu den Verfahren zur Auskleidung mit montierten Einzelelementen gehören die

- a) Vollauskleidung und
- b) Teilauskleidung.

Geringfügig abweichend von den oben genannten Verfahrenseinteilung definiert DIN EN ISO 11295 [DIN, 2010c] weitere Renovierungstechniken zur Auskleidung von Rohren (vgl. Abb. 7.28)

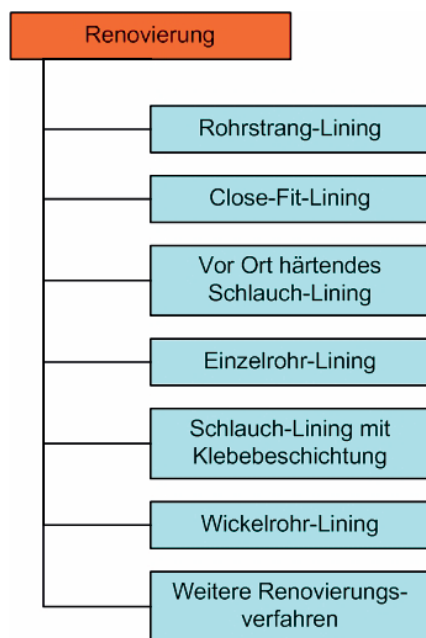


Abb. 7.28: Renovierungstechnikfamilie, nach DIN EN ISO 11295 [DIN, 2010c]

**Richtlinien**

Weitere, die Auskleidungsverfahren tangierende Richtlinien sind:

- DWA-M 143 Teil 3: Schlauchliningverfahren (vor Ort härtendes Schlauchlining) für Abwasserleitungen und -kanäle,
- ATV-DVWK-M 143 Teil 4: Montageverfahren für begehbare Abwasserleitungen und -kanäle und Bauwerke,
- ATV-DVWK-M 143 Teil 9: Renovierung von Abwasserleitungen und -kanälen durch Wickelrohrverfahren,

- ATV-DVWK-M 143 Teil 11: Renovierung von Abwasserleitungen und -kanälen mit vorgefertigten Rohren ohne Ringraum (Close-Fit-Lining),
- DIN EN ISO 11296-1: Kunststoff-Rohrleitungssysteme für die Renovierung von erdverlegten drucklosen Entwässerungsnetzen (Freispiegelleitungen) Teil 1: Allgemeines,
- Entwurf DIN EN 13566-2: Kunststoff-Rohrleitungssysteme für die Renovierung von erdverlegten drucklosen Entwässerungsnetzen (Freispiegelleitungen) Teil 2: Rohrstrang-Lining,
- DIN EN ISO 11296-3: Kunststoff-Rohrleitungssysteme für die Renovierung von erdverlegten drucklosen Entwässerungsnetzen (Freispiegelleitungen) – Teil 3: Close-Fit-Lining,
- DIN EN ISO 11296-4: Kunststoff-Rohrleitungssysteme für die Renovierung von erdverlegten drucklosen Entwässerungsnetzen (Freispiegelleitungen) – Teil 4: Vor Ort härtendes Schlauch-Lining,
- Entwurf DIN EN 13566-7: Kunststoff-Rohrleitungssysteme für die Renovierung von erdverlegten drucklosen Entwässerungsnetzen (Freispiegelleitungen) – Teil 7: Wickelrohr-Lining.

Nach [DIBt, 2002] unterscheidet man für Innenauskleidungen mit Bahnen, Platten oder rohrförmigen Körpern aus Kunststoff oder reaktionsharzgebundenen Werkstoffen für Misch- und Schmutzwasserkanäle aus statischer Sicht:

- nichtselbsttragende Auskleidungen und
- selbsttragende Auskleidungen.

*Nichtselbsttragende Auskleidungen*

Nichtselbsttragende Auskleidungen sind Bahnen, Platten oder rohrförmige Körper, die mit dem Tragquerschnitt mechanisch (Verankerung) oder haftend verbunden sind. Der statische Nachweis erfolgt über den Nachweis der Verankerung im Tragquerschnitt.

*Selbsttragende Auskleidungen*

Bei selbsttragenden Auskleidungen kann eine Verbindung zwischen Tragquerschnitt und Auskleidung entfallen. Der statische Nachweis erfolgt über den Tragfähigkeitsnachweis (Spannungs- und Stabilitätsnachweis) der Auskleidung.

Daneben gibt es noch Kombinationen von nichtselbsttragenden und selbsttragenden Auskleidungen, z.B. teilverankerte oder selbsttragende Teilauskleidungen. Diese Begriffe werden auch für Innenauskleidungen mit weiteren im Abwassersektor eingesetzten Auskleidungsmaterialien verwendet.

Zur Vorbereitung einer Sanierung mit einem Auskleidungsverfahren gehört eine statische Berechnung der Auskleidung.

**7.6.2.2 Anforderungen**

*Erhöhung der Widerstandsfähigkeit*

Auskleidungsverfahren dienen zur Wiederherstellung oder Erhöhung des Widerstandsvermögens gegen phy-

sikalische, chemische, biochemische und/oder biologische Angriffe, zur Verhinderung einer erneuten Bildung von Inkrustationen, zur Wiederherstellung und/oder Erhöhung der statischen Tragfähigkeit, der Korrosionsbeständigkeit sowie der Wasserdichtheit.

Der Einsatz eines Auskleidungsverfahrens setzt immer voraus, dass eine Querschnittsminderung in Kauf genommen werden kann. Das Sanierungsobjekt muss zumindest vorübergehend – bei Anwendung von Montageverfahren in begehbaren Kanälen in jedem Fall – standfest sein und das Einbringen der Auskleidung erlauben.

#### Einsatzgrenzen

Die Auskleidungsverfahren sind daher bei den Schäden:

- Einsturz,
- Lageabweichung (vertikal, horizontal),
- Querschnittsverformung und
- Hindernisse im Querschnitt

nicht bzw. nur bedingt einsetzbar, es sei denn, diese Schäden werden vorab ganz oder teilweise behoben bzw. die Folgen werden hingenommen (vgl. [DWA, 2005c], [ATV-DVWK, 2004c]).

#### 7.6.2.3 Auskleidung mit montierten Einzelelementen

Bei diesen in der Regel in begehbaren Querschnitten eingesetzten Verfahren werden selbsttragende oder nichtselbsttragende Auskleidungselemente in die zu sanierende Haltung eingebracht und haltungs- oder abschnittsweise vor Ort von Hand und/oder unter Verwendung geeigneter Hilfsmittel oder -geräte zu Teil- oder Vollauskleidungen montiert [Stein, 1998].

Bei der Teilauskleidung werden nur Teilbereiche des Innenumfanges des zu sanierenden Kanals mit einer Auskleidung versehen.

#### Verfahren

Man unterscheidet zwischen:

- Sohlensauskleidung bzw. Auskleidungen des waserbenetzten Bereiches und
- Auskleidung des Gasraumes (Abb. 7.29).

Hauptgründe für eine Sohlensauskleidung können sein:

- Wiederherstellung oder Erhöhung des Widerstandsvermögens gegen chemische (Korrosionsschutz) und/oder mechanische Angriffe von innen,
- Wiederherstellung der Wasserdichtheit und
- Wiederherstellung oder Veränderung des Gefälles.

#### Werkstoffe

Zur Durchführung dieser Sanierungsmaßnahmen kommen vornehmlich folgende Werkstoffe und Systeme zum Einsatz [Stein, 1998]:

- Steinzeug-Sohlenschalen, -Halbschalen, -Platten;
- Steinzeug-Platten-Elemente (System Kera Line),
- Glasfaserbeton-Sohlenschalen,
- PVC-hart-Stegplatten (BKU),
- Spiral-Bauku-Sohlenschalen und
- Kunststoffbeschichtete Stahlprofile.

#### Korrosionsschutz

Die nachträgliche Auskleidung des Gasraumes dient zur Wiederherstellung oder Erhöhung des Widerstandsvermögens der Entwässerungskanäle insbesondere gegenüber der Biogenen Schwefelsäure-Korrosion [Bielecki und Schremmer, 1987]. Üblich sind 260° bis 320°-Auskleidungen. Die Fußpunkte der Elemente liegen in diesem Fall unterhalb des Abwasserspiegels bei Trockenwetterabfluss, so dass ein Eindringen von Luft hinter die Auskleidung verhindert wird (Abb. 7.29).

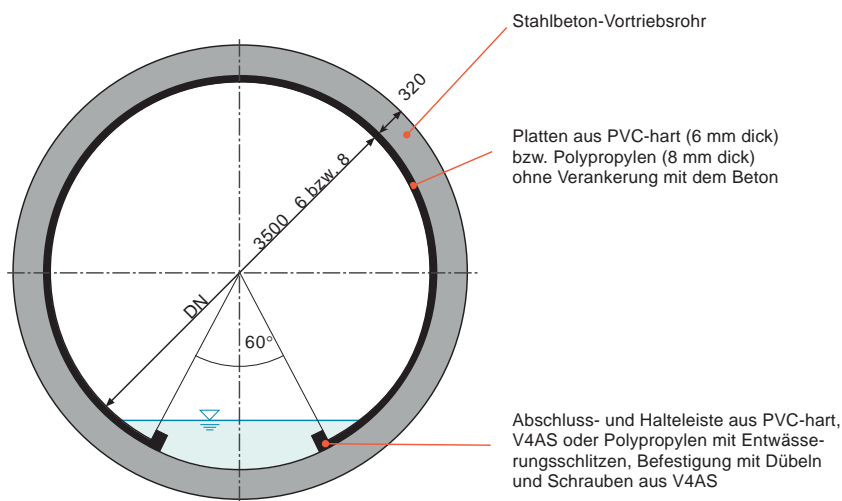


Abb. 7.29: Teilauskleidung eines Gasraumes mit Kunststoffplatten [Stein, 1998]

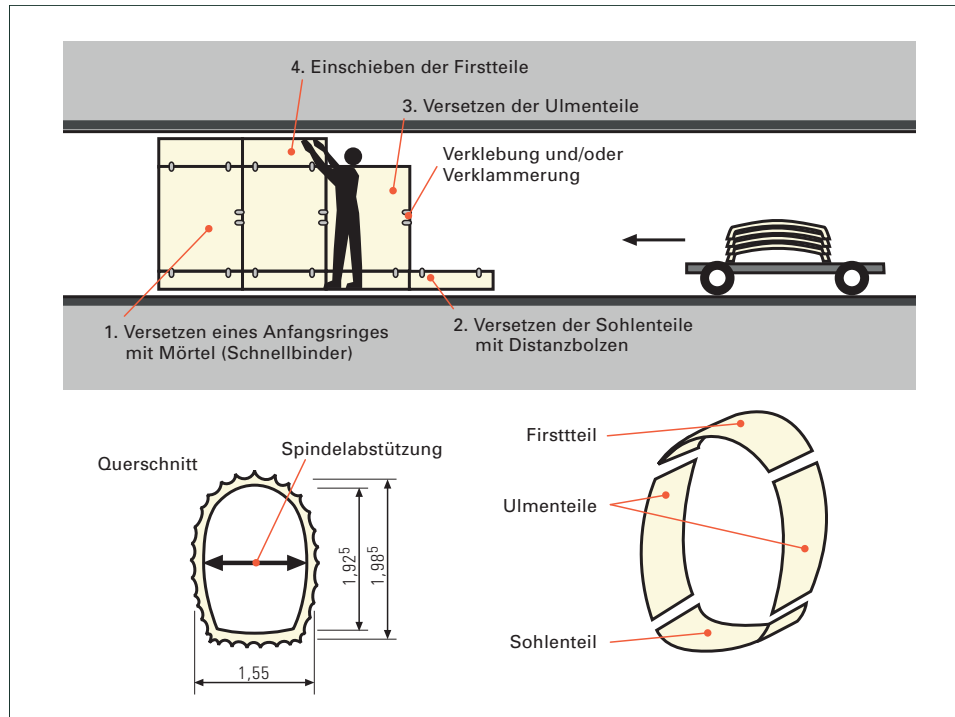


Abb. 7.30: Vollauskleidung mit Einzelementen [Stein, 1998]

#### Gebräuchliche Auskleidungssysteme

Gebräuchliche Auskleidungssysteme sind [Stein, 1998]:

- Platten und Bahnen aus Kunststoff mit glatter Rückseite,
- Platten aus Edelstahl,
- Platten und Bahnen aus Kunststoff mit Verankerungselementen an der Rückseite,
- BKU-GFB-Fertigteile,
- Hohlkammerstegprofile aus Kunststoff und
- Steinzeug-Platten bzw. Steinzeug-Platten-Elemente (System Kera Line).

#### Vollauskleidung

Bei einer Vollauskleidung wird der gesamte Rohrrinnenumfang der zu sanierenden Leitung mit einer Auskleidung versehen (Abb. 7.30). Generell unterscheidet man zwischen:

- Vollauskleidung ohne Außendruckbelastung und
- Vollauskleidung mit Außendruckbelastung.

Bei der erstgenannten Variante tritt entweder kein Außenwasserdruck auf oder er wird durch konstruktive Maßnahmen entspannt. Bei der zweiten Variante muss die Auskleidung in der Lage sein, den vollen Außenwasserdruck aufzunehmen. Die für Teilauskleidungen verwendeten Werkstoffe sind grundsätzlich auch für die Ausbildung einer Vollauskleidung geeignet.

#### Vorteile

Auskleidungen aus Bahnen, Platten, Einzelementen lassen sich aufgrund ihrer Vielfalt nahezu allen Querschnittsformen und -abmessungen sowie den möglichen äußeren und inneren Beanspruchungen nach Be-

darf anpassen. Die Sanierungsarbeiten können sich ausschließlich auf den Schadensbereich beschränken.

Durch die Verwendung großflächiger, den örtlichen Abmessungen exakt anpassbarer Elemente ist eine relativ schnelle Montage bei gleichzeitiger Reduzierung der Anzahl der Elementverbindungen und Fugen auf ein Minimum möglich. In der Regel können diese Systeme über die vorhandenen Einsteigschächte in die zu sanierende Haltung eingebracht werden. Bei zu sanierenden begehbaren Kanälen sind Anschlusskanäle ohne besondere Schwierigkeiten von innen einzubinden.

#### 7.6.2.4 Auskleidung mit Rohren

Unter Auskleidung mit Rohren, nachfolgend auch Lining (vgl. Normenserie DIN EN 13566, DIN EN ISO 11296 und ATV-Merkblätter 143) genannt, versteht man die haltungswise Herstellung selbsttragender Vollauskleidungen von Kanälen auf der Basis (Abb. 7.27):

- vorgefertigter Rohre, Kap. 7.6.3 Rohrrelining – Auskleidung mit vorgefertigten Rohren,
- örtlich hergestellter Rohre, Kap. 7.6.4 Wickelrohrverfahren – Auskleidung mit örtlich hergestellten Rohren bzw.
- örtlich hergestellter und erhärtender Rohre, Kap. 7.6.5 Schlauchverfahren – Auskleidung mit örtlich hergestellten und erhärtenden Rohren.

#### 7.6.3 Rohrrelining – Auskleidung mit vorgefertigten Rohren

Zu der Verfahrensgruppe Auskleidung mit vorgefertigten Rohren zählen nach [ATV-DVWK, 2004a]:

- Lining mit einem Rohrstrang, der der Länge des zu renovierenden Abschnittes vor dem Einbau ent-



spricht und dessen Durchmesser vor der Verlegung nicht kleiner ist als sein endgültiger Durchmesser nach der Verlegung (**Rohrstrang-Lining**),

- Lining mit Einzelrohren, die kürzer als der zu renovierende Abschnitt sind und die erst während des Einbaus zu einem durchgehenden Rohrstrang verbunden werden; der Querschnitt des Lining-Rohres bleibt unverändert (**Einzelrohr-Lining**),
- Lining mit einem Rohrstrang, dessen Querschnitt verringert wird, um das Einziehen zu erleichtern, und der nach dem Einziehen zurückgeformt wird, um ein enges Anliegen (Close-Fit) an das bestehende Rohr sicherzustellen (**Close-Fit-Lining**).

In der Regel kommen Standardrohre und in Einzelfällen auch speziell vorgefertigte Rohre aus für den Einsatz in Kanalisationen geeigneten Werkstoffen zum Einsatz. Rohrwerkstoffe für Auskleidungen sind beispielhaft in Tab. 7.4 (vgl. [ATV-DVWK, 2004a], [DWA, 2005c], [ATV-DVWK, 2004e], [ATV-DVWK, 2004b], [DIN, 2001c]) aufgeführt.

Tab. 7.4: Rohrwerkstoffe für Auskleidungen und zugehörige Normen, Beispiele

Werkstoff	in Anlehnung an
PE-HD	DIN EN 12666-1:2006-03 DIN 19537-3:1990-11
PP	DIN 8078:2008-09 DIN 8078 Beiblatt 1:1982-02
GFK	DIN CEN/TS 14578 (2003-12-00) DIN 19565-5:1990-11
PVC-U	DIN EN 1401-1:2009-07 DIN 19534-3:2000-07
STZ	DIN EN 295-1:2010-06 DIN EN 295-2:2010-06 DIN EN 295-3:2010-06 DIN EN 295-4:1995-05 DIN EN 295-5:1999-03 DIN EN 295-6:1995-12 DIN EN 295-7:1995-12

### 7.6.3.1 Konventionelle Rohrstrangverfahren

Bei diesem Verfahren wird ein entsprechend langer, flexibler und in den Stößen verschweißter Kunststoffrohrstrang aus PE-HD oder PP in einem Arbeitsgang in den zu sanierenden Kanalabschnitt (mindestens eine Haltung) eingezogen. Man unterscheidet zwischen (Abb. 7.27):

- Rohrstrangverfahren mit Ringraum (s. Kap. 7.6.3.1 *Konventionelle Rohrstrangverfahren*) und
- Rohrstrangverfahren ohne Ringraum (s. Kap. 7.6.3.2 *Weiterentwickelte Rohrstrangverfahren*).

Der bei der erstgenannten Verfahrensgruppe verbleibende Ringraum zwischen Inliner und Kanalinnenwand wird in der Regel abschließend verfüllt.

### Konventionelles Rohrstrangverfahren

Das konventionelle Rohrstrangverfahren ist das älteste Auskleidungsverfahren. Es wurde in den 60er-Jahren in Kanada entwickelt und war das Vorbild für alle weiteren Auskleidungsverfahren mit vorgefertigten Rohren. Aus diesem Grund wird es nachfolgend näher beschrieben.

### Werkstoffe

Beim Rohrstrangverfahren werden Rohre aus PE-HD oder PP verwendet. Für den vorliegenden Anwendungsfall sind PE- und PE-HD Rohre nach DIN 8075 [DIN, 2011d] und DIN EN 12666-1 [DIN, 2011e] aufgrund ihrer günstigen Eigenschaften, wie Verschweißbarkeit, Zähigkeit, Flexibilität, Korrosionsbeständigkeit sowie ihrer guten hydraulischen Eigenschaften am besten geeignet.

### Ausführung

Die Rohre werden außerhalb der Baugrube nach dem Heizelement-Stumpfschweißverfahren, oft auch als Spiegelschweißmethode bezeichnet, entsprechend DVS-Merkblatt 2207 [DVS, 2005] druckdicht und längskraftschlüssig zur entsprechenden Einziehlänge miteinander verbunden.

Die Spitze des Rohrstranges erhält zur Befestigung des Zugseiles und zur Führung einen Zugkopf, der entweder angeschweißt oder mit Bolzen befestigt wird. Im vorliegenden Anwendungsfall empfiehlt es sich, diesen konisch auszubilden und mit einer drehbaren Einhängeöse für das Zugseil auszurüsten. Das Einziehen des auf Rollen gelagerten Rohrstranges erfolgt über eine Motorwinde [Müller, 1982]. Zur Reduzierung der Einziehkraften kann Wasser als Gleitmittel benutzt werden.

Die Abschlussarbeiten umfassen das Verfüllen des Ringraumes, die Wiederherstellung der Einbindungen der Anschlusskanäle, die Verbindung der Rohrstränge in der Einziehbaugrube und die Gestaltung der Übergänge an den Endpunkten der Auskleidungsstrecke bzw. in den Einsteigschächten.

Durch das Verfüllen des Ringraumes wird u.a. folgendes erreicht [Stein, 1998]:

- Fixierung des Inliners,
- Vermeidung des Eindringens von Boden und Wasser,
- Schaffung einer definierten Bettung im Kanal,
- gleichmäßiges Übertragen äußerer Lasten und
- Vermeidung gefährlicher Gasblasen.

### Verfüllstoffe

Als Verfüllstoffe werden z.B. Sande, fließfähige, hydraulisch abbindende Stoffe und schäumbare Massen verwendet. Die eingesetzten Werkstoffe müssen umweltverträglich, dauerhaft und beständig sein. Die Stoffe dürfen sich beim Einbringen nicht entmischen und müssen eine hohlraumfreie Verfüllung ermöglichen. Bei fließfähigen Stoffen ist eine Druckfestigkeit von mindestens 1 N/mm<sup>2</sup> einzuhalten. Das Verfüllen des Ringraumes entspricht nach [Stein, 1998] im Prinzip der Injektion eines künstlichen Hohlraumes, so dass

hier die Ausführungen des *Kap. 7.5.5 Injektion von In-*nen weitestgehend Gültigkeit haben.

Am Anfang und Ende des Verfüllabschnittes ist der Ringraum so zu verschließen, dass der Verfülldruck aufgenommen werden kann und die Kontrolle des Verfüllvorganges ermöglicht wird. Zur Vermeidung der Lageänderung des Inliners während des Verfüllvorganges ist dieser gegen Auftrieb zu sichern. Die Verfüllung des Ringraumes erfolgt in der Regel vom Tiefpunkt des zu verfüllenden Abschnittes aus. Für ausreichende Entlüftung ist zu sorgen.

Einfülldruck und -geschwindigkeit sind so einzustellen, dass eine vollständige Verfüllung erreicht wird und der Inliner, einschließlich seiner Rohrverbindungen bzw. Dichtungen, den Verfülldruck schadlos aufnehmen kann. Während des Verfüllvorganges soll der Inliner mit Wasser gefüllt sein. Es sind Vorkehrungen gegen unbeabsichtigtes Verfüllen angrenzender Hohlräume wie z.B. Kanäle, Leitungen usw. zu treffen.

Die Wiederherstellung der Einbindungen von Anschlusskanälen an den Inliner kann sowohl von innen als auch von außen durchgeführt werden. Den Regelfall stellt die Herstellung einer Baugrube im Anschlussbereich dar. In dieser wird der Anschlusskanal vor dem Einziehvorgang abgetrennt und die Öffnung verschlossen.

Nach dem Einziehen des Kunststoff-Inliners und dem Verfüllen des Ringraumes werden die alte Rohrleitung fensterartig aufgeschnitten, die Ringraumverfüllung in diesem Bereich entfernt und der Inliner freigelegt und

gereinigt. Als Abzweige können PE-HD-Rohrstücke oder Übergangsstücke mit angeformter Steckmuffe in eine entsprechend große Bohrung im Inliner mit Hilfe verschiedener Verfahren verschweißt werden [Hoechst AG, 1975].

Sattelstücke können auch mechanisch durch nicht rostende Stahl- oder Kunststoffbänder fixiert werden. Dies setzt jedoch die vollständige Freilegung des Inliners voraus.

**Endprüfung**

Nach Abschluss der Arbeiten ist der Kanal gegebenenfalls zu reinigen und optisch zu inspizieren. Vor Inbetriebnahme des sanierten Kanals soll eine Prüfung auf Wasserdichtheit durchgeführt werden. Sie soll Gewissheit geben, dass der Inliner und alle nachträglich hergestellten Verbindungen dicht sind. Freispiegelleitungen werden nach bzw. in Anlehnung an DIN EN 1610 [DIN, 1997b] in Verbindung mit DWA-Arbeitsblatt A 139 [DWA, 2009b] und ATV-Merkblatt M 143-6 [ATV, 1998], Druckleitungen nach bzw. in Anlehnung an DIN EN 805 [DIN, 2000] mit Wasser geprüft.

Abschließend ist die Vorflut in vollem Umfang wieder herzustellen.

**7.6.3.2 Weiterentwickelte Rohrstrangverfahren**

Weiterentwicklungen auf dem Gebiet der Rohrstrangverfahren (*Abb. 7.31*) konzentrierten sich darauf, bekannt gewordene Nachteile zu vermeiden.

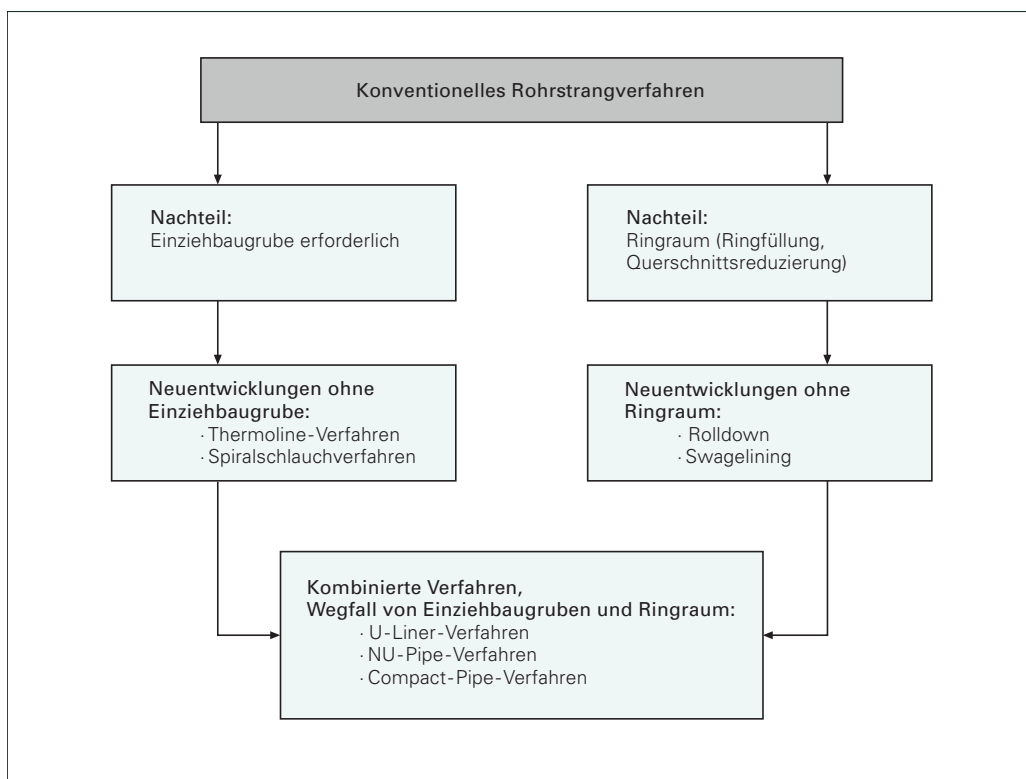


Abb. 7.31: Zielstellungen bei der Weiterentwicklung des Rohrstrangverfahrens [Stein und Körkemeyer, 1991]

**Thermoline-Verfahren**

Die Entwicklung des Thermoline-Verfahrens verfolgte das Ziel, auf die beim konventionellen Rohrstrangverfahren erforderliche Einziehbaugrube verzichten zu können und das Einziehen des Rohrstranges über den vorhandenen Einsteigschacht zu realisieren (Abb. 7.32).

Dies wird durch das Zusammendrücken des auf ca. 70° C erwärmten Rohrstranges und die jeweilige 90° Umlenkung oberhalb und innerhalb des Einsteigschachtes erreicht. Unmittelbar vor der Einführung des Rohrstranges in die zu sanierende Haltung erfolgt die Rückverformung auf den ursprünglichen Kreisquerschnitt.

Der beim konventionellen Rohrstrangverfahren notwendige Ringraum zwischen Inliner und dem zu sanierenden Kanal und die anschließende Verfüllung dessel-

ben entfallen bei den Reduktionsverfahren, z.B. Rolldown, Swagelining.

Der Außendurchmesser des Kunststoffrohrstranges aus PE-HD wird unmittelbar vor dem Einziehen in die zu sanierende Kanalhaltung unter Beibehaltung des Kreisquerschnittes um ca. 10% reduziert und nach dem Einziehvorgang bis zum Anliegen an der Kanalinnenwand wieder aufgeweitet.

In der Regel sind spezielle, in Anlehnung an DIN 8074 [DIN, 2011c], DIN 8075 [DIN, 2011d] und DIN 12666-1 [DIN, 2011e] angefertigte Rohre erforderlich, deren Außendurchmesser im unverformten Zustand etwas größer ist als der Innendurchmesser der zu sanierenden Haltung.

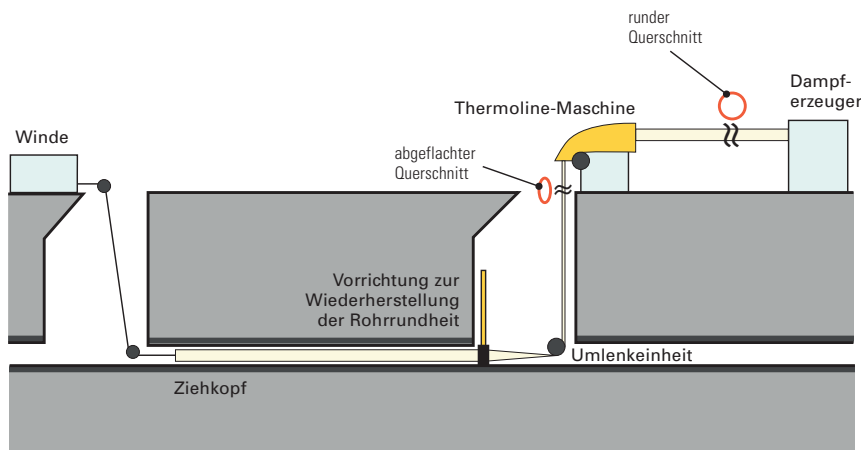


Abb. 7.32: Thermoline-Verfahren (Severin, Gütersloh) [Stein, 1998]

**Rolldown-Verfahren**

Beim Rolldown erfolgt die Durchmesserreduzierung des vorgefertigten Rohrstranges mechanisch. Hierzu wird dieser mit Hilfe einer hydraulisch angetriebenen

Greifvorrichtung durch zwei oder bei größeren Nennweiten drei um 90° gegeneinander versetzte Halbkugelwalzenpaare geschoben (Abb. 7.33 und Abb. 7.34).

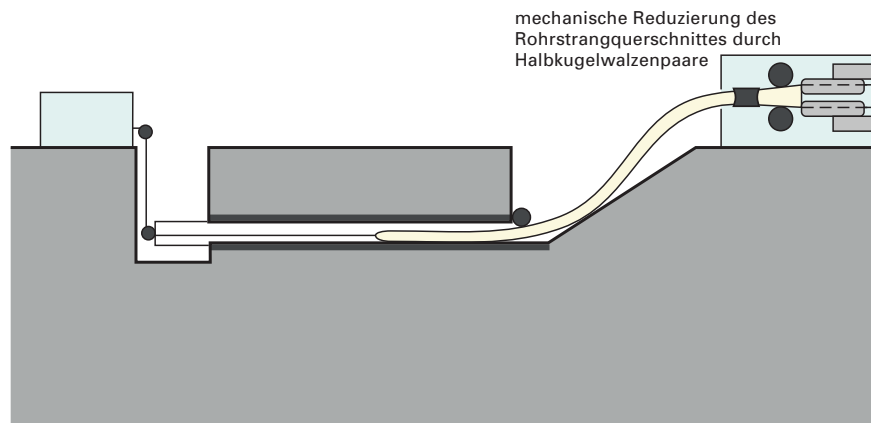


Abb. 7.33: Prinzip des Rolldown-Verfahrens [Stein, 1998]



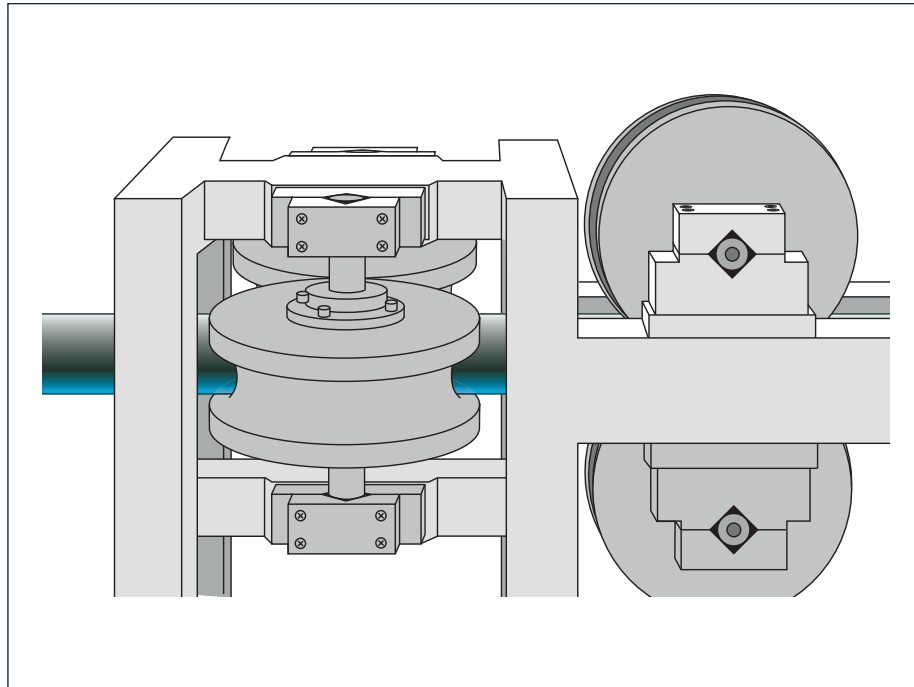


Abb. 7.34: Detail: Rolldown-Verfahren – Mechanische Reduzierung des Rohrstrangdurchmessers durch Halbkugelwalzenpaare [Stein, 1998]

### Swagelining-Verfahren

Im Unterschied zum Rolldown erfolgt die Durchmesserreduzierung beim Swagelining durch eine Warmumformung. Hierzu wird der in einer Wärmekammer

durch Heißluft auf ca. 70° C erwärmte und speziell vorgefertigte PE-HD-Rohrstrang unter Aufrechterhaltung einer konstanten Zugkraft durch ein thermisches Gesenk, das sog. „rig“ gezogen [Stein, 1998] (Abb. 7.35).

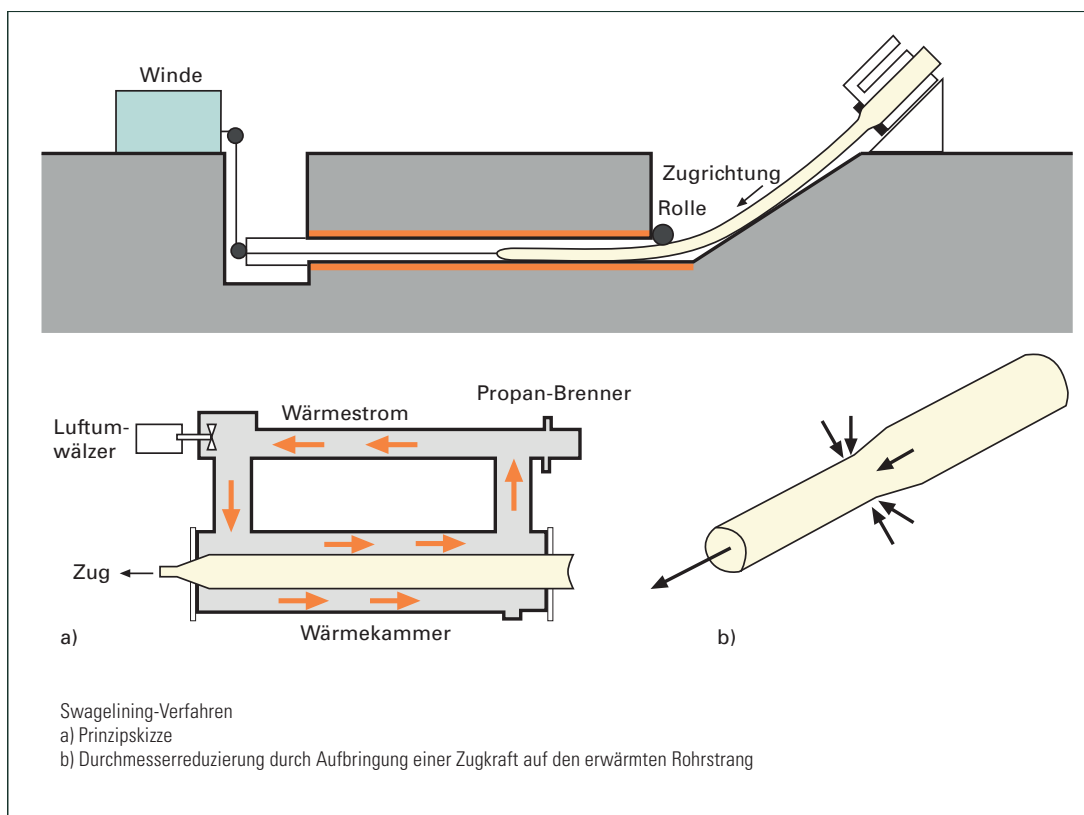


Abb. 7.35: Swagelining-Verfahren [Stein, 1998]

### Verformungsverfahren – Verfahren ohne Ringraum

Die Vermeidung von Einziehbaugrube und Ringraum gelang mit den Verformungsverfahren (Nu-Pipe, U-Liner, Compact-Pipe).

Bei dieser Verfahrensgruppe werden die jeweiligen Kunststoffrohrstränge bereits werkseitig im Querschnitt U-förmig unter Wärmezufuhr vorverformt, so dass sich

gegenüber dem Originalkreisquerschnitt eine Querschnittsreduzierung von 25 bis 30% ergibt. Diese Form wird durch Abkühlen des Rohrstranges fixiert. Die aus der Querschnittsreduzierung resultierende erhöhte Flexibilität des Rohrstranges erlaubt das Einziehen in die zu sanierende Haltung direkt über den Einsteigschacht (Abb. 7.36). Nach dem Einbau des Rohrstranges erfolgt dessen Rückverformung bis zum Anliegen an der Kanalinnenwand unter Innendruck und Erwärmung.

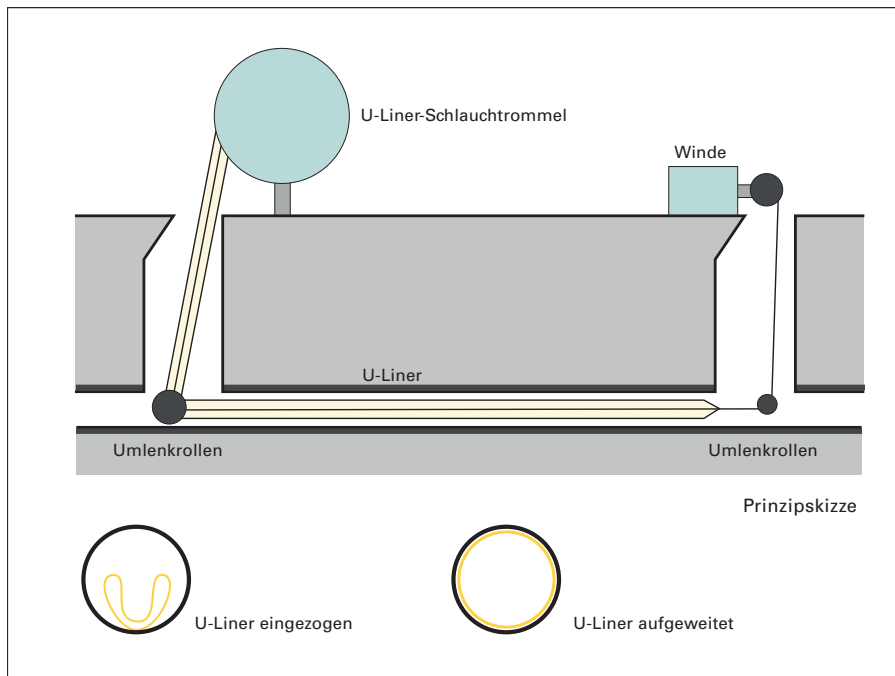


Abb. 7.36: U-Liner-Verfahren: a) Prinzipskizze, b) U-Liner eingezogen, c) U-Liner aufgeweitet [Stein, 1998]

#### 7.6.3.3 Einzelrohr-Lining

Im Gegensatz zu den Rohrstrangverfahren (Kap. 7.6.3.1 Konventionelle Rohrstrangverfahren, Kap. 7.6.3.2 Weiterentwickelte Rohrstrangverfahren) werden bei diesen Verfahrensgruppen selbsttragende Einzelrohre (Langrohre oder Kurzrohre) diskontinuierlich (taktweise) in die zu sanierende Kanalhaltung eingebracht. Die Verbindung der einzelnen Rohre untereinander kann entweder in der zu sanierenden Haltung oder im Startschacht (Baugrube oder Einsteigschacht) erfolgen. Der entstehende Ringraum wird i.A. verfüllt.

Diese Verfahren sind an keine speziellen Rohrwerkstoffe gebunden und damit auch weitestgehend anpassbar an die unterschiedlichen Querschnittsformen.

##### Beschaffenheit der Lining-Rohre

In Abhängigkeit von der zulässigen Querschnittsreduzierung der zu sanierenden Haltung können Lining-Rohre mit nicht glatter oder glatter Außenkontur eingebracht werden:

- Zur ersten Gruppe zählen alle im Abwassersektor üblichen Rohre mit Muffe oder Überschiebkuppelung.
- Zur zweiten Gruppe gehören alle Rohre mit Falz- und Schweißverbindung sowie Vortriebsrohre

[Stein, 1998]. Daneben gibt es spezielle Rohrentwicklungen für das Kurzrohrverfahren.

##### Einbringverfahren

In Abhängigkeit von der Beanspruchung der Inliner-Rohre beim Einbringen werden folgende Varianten unterschieden [Stein, 1998], [Stein et al., 1983]:

- Einziehverfahren: Einziehen einer Rohrleitung aus Rohren mit zugkraftschlüssiger Verbindung, Einziehen einer Rohrleitung aus Rohren mit nichtzugkraftschlüssiger Verbindung, (ziehend/schiebend) oder Einziehen einzelner Rohre (Abb. 7.37).
- Einschubverfahren und
- Einfahrverfahren.

##### Einziehverfahren

Das Einziehen einer Rohrleitung mit zugkraftschlüssiger Rohrverbindung ist prinzipiell vergleichbar mit dem Rohrstrangverfahren. Für das Einziehen einer Rohrleitung aus Rohren mit nichtzugkraftschlüssiger Verbindung (ziehend/schiebend) wird das Zugseil vom Zielschacht aus durch die Rohrleitung gezogen und die Zugkraft über eine jeweils am Ende des letzten noch im Startschacht befindlichen Rohres angebrachte Druckplatte oder Traverse in die bereits zusammengesetzte Rohrleitung eingeleitet. Die Rohre werden dabei nur auf Druck beansprucht.

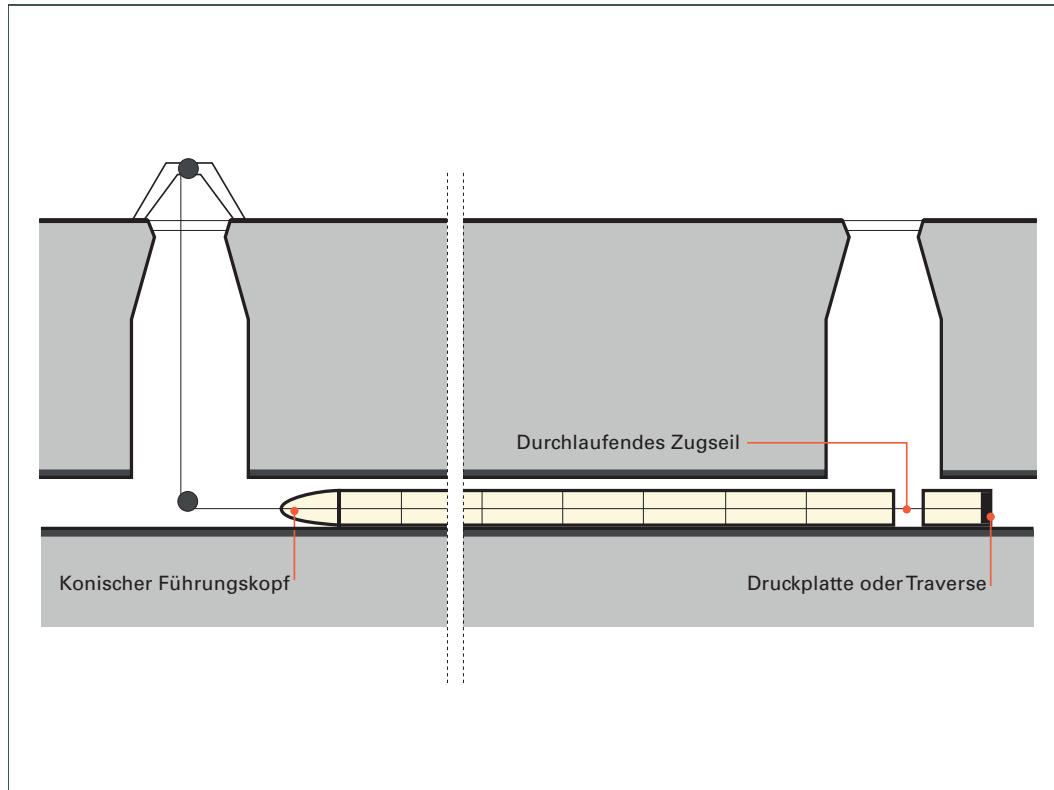


Abb. 7.37: Einziehen von Kurzrohren mit nichtzugkraftschlüssiger Verbindung [Stein, 1998]

Das Einziehen ist entweder mittels eines im Ziel- oder Startschacht angeordneten Greifzuges oder einer Winde möglich (Abb. 7.37). Beim Einziehen einzelner Rohre oder Rohrleitungsabschnitte muss der bereits verlegte Rohrstrang durch Festsetzen des ersten Rohres im Zielschacht arretiert werden.

#### Einschubverfahren

Beim Einschubverfahren werden die Rohre im Startschacht verbunden und die sich so verlängernde Rohrleitung um jeweils eine Rohrlänge in Anlehnung an den Rohrvortrieb mittels hydraulischer Presseneinrichtung in die zu sanierende Leitung eingeschoben. Die Vorschubkraft wird über einen Druckring in die Rohrleitung kontrolliert eingeleitet.

#### Einfahrverfahren

Im Gegensatz zu den Einzieh- und Einschubverfahren, bei denen die erforderlichen Kräfte direkt in die Inliner-Rohre eingeleitet werden, erfolgt beim Einfahrverfahren die Krafteinleitung in spezielle Transportgeräte, auf welche die Rohre aufgelegt sind. Dieses Verfahren wird fast ausschließlich im begehbaren Nennweitenbereich eingesetzt.

### 7.6.4 Wickelrohrverfahren – Auskleidung mit örtlich hergestellten Rohren

#### RIB-LOC-Relining-System - Verfahren mit Ringraum

Das bekannteste zu dieser Gruppe zählende Verfahren ist das in Australien entwickelte und weltweit paten-

tierte RIB-LOC-Relining-System, bei dem ein Spezial-Steg-Profil (RIB-LOC) aus PVC gemäß DIN 8061 [DIN, 2009] innerhalb des Einsteigschachtes durch spiralförmige Wicklung zu einem kreisförmigen Rohr geformt und unter Drehung um seine Achse, kontinuierlich in die zu sanierende Kanalhaltung eingebracht wird (Abb. 7.38). Nach Erreichen des Zielschachtes wird der verbleibende Ringraum verfüllt.

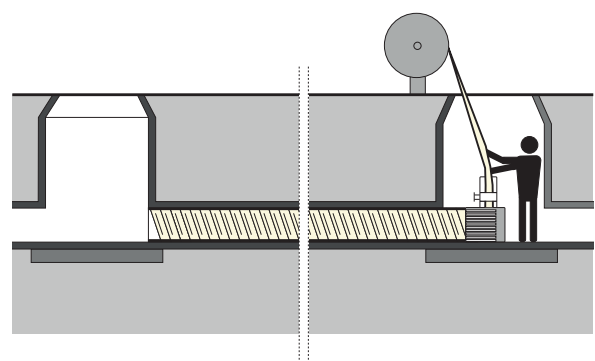


Abb. 7.38: Wickelrohrverfahren am Beispiel des RIB-LOC-Relining-Systems [Stein, 1998]

Die Verbindung der einzelnen Rohrwindungen untereinander wird durch zwei auf der gesamten Berührungsfläche durchlaufende und im Profil integrierte Schnappverschlüsse nach Art einer „Nut- und Federverbindung“ gewährleistet (Abb. 7.39), wobei zusätzlich eine Verschweißung oder Verklebung erfolgen kann.



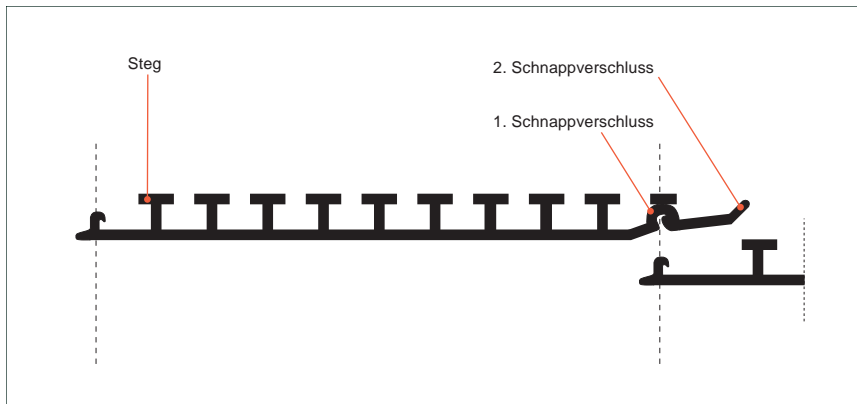


Abb. 7.39: RIB-LOC-Profil [ATV, 1995]

Die Installation der Wickelmaschine erfolgt direkt im Einsteigschacht. Nach dem Ausrichten wird der vorher bereits in die Maschine eingefädelt RIB-LOC-Profilstreifen von einer in Schachtnähe abgestellten Trommel weiter abgespult und zum Wickelrohr geformt, dessen Außendurchmesser mindestens 20 mm kleiner ist als der zu sanierenden Haltung.

Bezüglich der Ringraumverfüllung und Abschlussarbeiten gelten die Ausführungen des Kap. 7.6.3.1 Konventionelle Rohrstrangverfahren.

*RIB-LOC-Expand-Pipe-Verfahren - Verfahren ohne Ringraum*

Der Grundgedanke des Rohrstrangverfahrens ohne Ringraum kann auch mit dem Wickelrohrverfahren realisiert werden. In diesem Fall wird der Inliner in einer zweiten Arbeitsphase bis zum Anlegen an die Rohrinnenwand aufgeweitet. Das Verfahren wird als Expand-Pipe-Verfahren bezeichnet (Abb. 7.40).

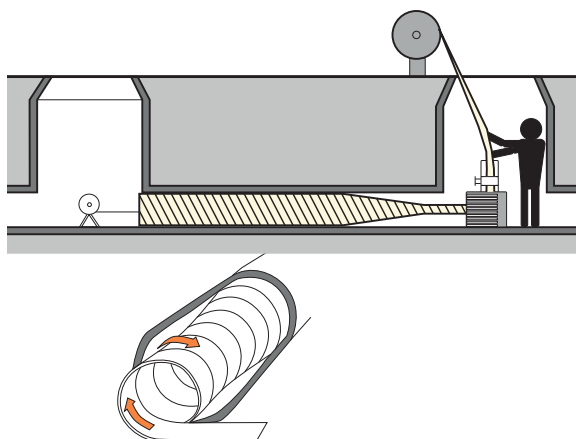


Abb. 7.40: RIB-LOC-Expand-Pipe-Verfahren [Stein, 1998]

**7.6.5 Schlauchverfahren – Auskleidung mit örtlich hergestellten und erhärtenden Rohren**

Im Gegensatz zur Auskleidung mit vorgefertigten oder vor Ort hergestellten Rohren wird bei der Auskleidung mit örtlich hergestellten und erhärtenden Rohren, nachfolgend Schlauchverfahren genannt, ein konfektioniertes, kunstharzgetränktes Trägermaterial in Schlauchform (z.B. Gewebeslauch), das mit Folien beschichtet sein kann, in die zu sanierende Haltung eingebracht und unter Druck an die Innenwand angepresst, wo es dann bei Umgebungstemperatur, durch Wärmezufuhr oder UV-Licht aushärtet. Es entsteht ein muffenloser Inliner, der mit dem Kanal formschlüssig verbunden ist.

*Verfahrensmöglichkeiten*

Als wesentliche Kriterien zur Unterscheidung der Schlauchverfahren sind die Art des Einbringens, Aufstellens und Aushärtens zu nennen:

- Einbringen: Umstülpen oder Einziehen.
- Aufstellen: Druckluft oder Wasserdruck.
- Aushärten: Warmwasser-, Wasserdampf-, UV-Härtung und Kombinationen.

Als Trägermaterialien kommen im Wesentlichen Glasfasermatten oder -gelege und Nadelfilz zum Einsatz.

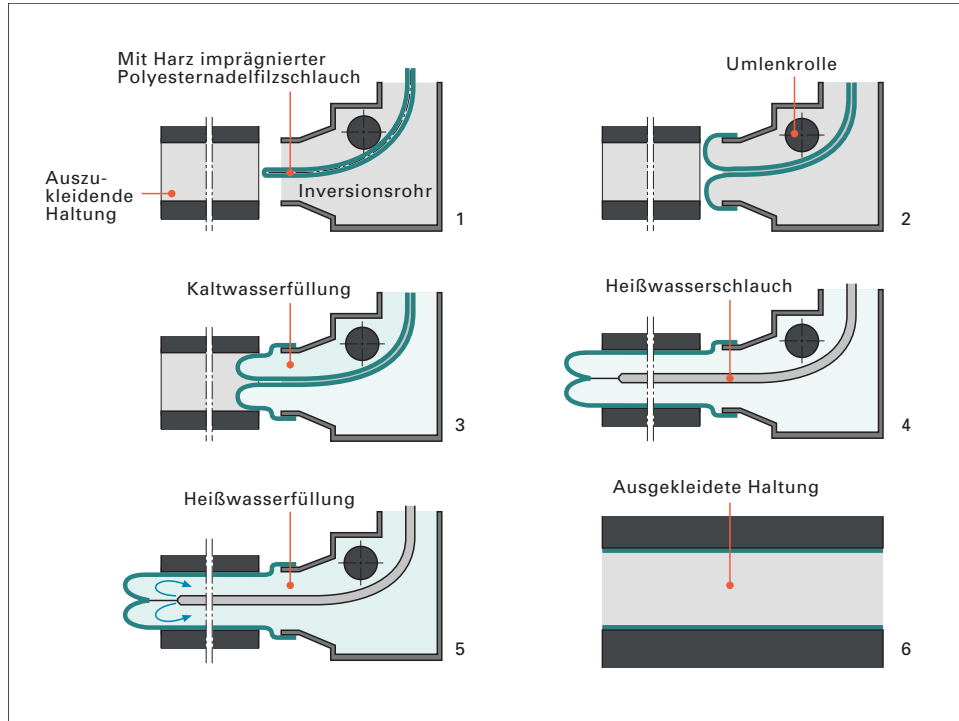


Abb. 7.41: Arbeitsschritte beim Insituform-Verfahren – Bottom-Inversion [Stein, 1998]

Anforderungen an Harze, Träger- und Verstärkungsmaterialien sowie Zusatzstoffe und Hinweise auf weitere Normen und Richtlinien sind in DWA-A 143-3 [DWA, 2005c] und der der Norm DIN EN 11296-4 [DIN, 2011h] enthalten. Ein Beispiel für ein Umstülpverfahren mit Aufstellen unter Wasserdruck und Aushärtung mit Warmwasser bzw. Wasserdampf ist das Insituform-Verfahren. Die einzelnen auf der Baustelle durchzuführenden Arbeitsschritte des Insituform-Verfahrens zeigt Abb. 7.41.

**Einflussfaktoren**

Nach [Bosseler und Schlüter, 2003] und [Bosseler et al., 2003b] kann die Qualität von Schlauchlinern we-

sentlich beeinflusst werden durch die Auswahl und Verarbeitung der verwendeten Werkstoffe, durch die bei dem Einbau und dem Aushärten entstehende Geometrie der Auskleidung und durch die äußeren und inneren Belastungen während der Betriebszeit (vgl. Abb. 7.42).

Im Rahmen des IKT-Forschungsprojekts [Bosseler und Schlüter, 2003] wurden umfassende Untersuchungen an Schlauchlinern durchgeführt (vgl. Abb. 7.43). So wurden Geometrie- und Materialkennwerte bestimmt und Ringspaltweiten, Vorverformungen und Falten sowie Unterschreitungen bei den Materialkennwerten (Biegefestigkeit, E-Modul etc.) gegenüber den Grenzwerten statischer Berechnungen ermittelt.

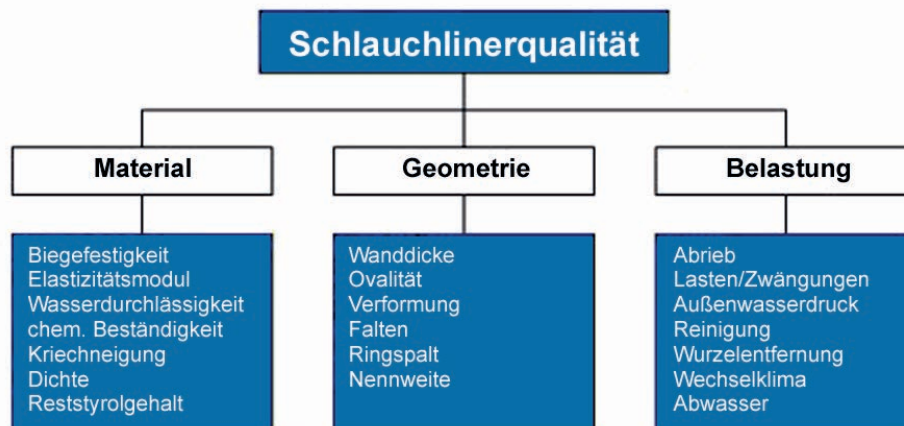


Abb. 7.42: Einflussgrößen auf die Schlauchlinerqualität [Bosseler und Schlüter, 2003], [Bosseler et al., 2003b]











Versuchsprogramm/Ablauf	Prüfgrundlage	Ermittelter Kennwert	Probenanzahl	Probenform
<b>Geometrische Kennwerte</b>				
<b>Wandaufbau</b>	DIN EN 13566, Teil 4	Beschreibung des Wandaufbaus	60	
<b>Dicke</b>		$s_{ges}$ [mm]		
<b>Werkstoffkennwerte</b>				
<b>3-Punkt-Biegeversuche</b>	DIN EN ISO 178	Biege-E-Modul $E_b$ [N/mm <sup>2</sup> ]	65	
<b>Kurzzeit-Scheiteldruckversuch</b>	DIN EN 1228	Anfangs-Ringsteifigkeit $S_0$ [N/mm <sup>2</sup> ]	8	
<b>Langzeit-Scheiteldruckversuch</b>	DIN 53769, Teil 3	E-Modul [N/mm <sup>2</sup> ]	4	
<b>Dichte</b>	DIN 53479	Ringsteifigkeit $S_R$ [N/mm <sup>2</sup> ] $\rho$ [g/cm <sup>3</sup> ]	$s_{ges}$ [mm]	
<b>Betriebliche Kennwerte</b>				
<b>Darmstädter Kipprinne</b>	DIN 19565, Teil 1	Abrieb in [mm]	4	
<b>Chemische Beständigkeit</b>	DIN EN ISO 175	Veränderungen des Linermaterials	52	
<b>Hamburger Spülversuch</b>		Beschädigungen des Linermaterials	2	
<b>Spülversuch im Pipe-Tester</b>		Beschädigungen des Linermaterials	3	
<b>Dichtheit</b>				
<b>Haltsweise bzw. abschnittsweise Dichtheitsprüfung</b>	DIN EN 1610	Dichtheitskriterium erfüllt / nicht erfüllt	6	
<b>Prüfung der Wasserundurchlässigkeit</b>	In Anlehnung an DIN EN 1610	Dichtheitskriterium erfüllt / nicht erfüllt	14	
<b>Chemische Untersuchung der Harze</b>				
<b>Weitergehende chemische Analysen</b>	DSC, DMA, TGR, IR	Alterungsphänomene	60	

Abb. 7.43: Prüfprogramm, Übersicht [Bosseler und Schlüter, 2003], [Bosseler et al., 2003b]

Eine vergleichende Betrachtung verdeutlicht, dass die geometrischen Kennwerte einen erheblichen Einfluss auf die Tragsicherheit haben können. Ist bspw. ein ausgeprägter Ringspalt entstanden, so ist bei entsprechendem Außenwasserdruck die „statische“ Nutzung u.U. schon kurzfristig gefährdet (Beulversagen).

**Langzeit E-Modul**



bei einem Abminderungsfaktor  $A_n = 5$  anstatt  $A_n = 2$

**Falte**



bei einer Falte mit Stichmaß  $w_v = 1$  cm

**Kurzzeit-E-Modul**



bei 1.160 N/mm<sup>2</sup> anstatt 2.800 N/mm<sup>2</sup>

**Ringspalt**



bei einem Ringspalt  $w_s = 3$  mm

**Rechenbeispiel**

**50 % weniger Tragsicherheit**

**Wanddicke**



bei einer Unterschreitung der Wanddicke um 1,2 mm

Abb. 7.44: Verlust an Tragsicherheit um 50 % durch Geometrieabweichungen und Materialfehler, Beispiel: Schlauchliner DN 300, Altrohrzustand I, Grundwasser 3 m über Sohle, Wanddicke = 6 mm [Bosseler und Schlüter, 2003]



In *Abb. 7.44* sind Beispiele von Geometrie- und Materialabweichungen, die für einen ausgewählten Anwendungsfall mit Grundwassereinfluss jeweils die Tragsicherheit um 50 % reduzieren, anschaulich dargestellt. So ist in dem Rechenbeispiel eine Falte mit einem Stichmaß von nur 1 cm von gleicher Bedeutung wie der Kriechfaktor 5 anstelle des üblichen Wertes 2 (zur Ermittlung des Langzeit-E-Moduls aus dem Kurzzeit-E-Modul). Desgleichen reduziert ein Ringspalt von 3 Millimetern oder eine Unterschreitung der Wanddicke von 1,2 mm die Tragfähigkeit ebenfalls um 50 %. Damit ein Materialfehler sich vergleichbar gravierend auf die Tragsicherheit auswirkt, müssten nur noch 40 % des eigentlich erwarteten E-Moduls vorhanden sein (vgl. *Abb. 7.44*).

Dieses Beispiel unterstreicht den potenziellen Einfluss der geometrischen Kennwerte auf die Tragsicherheit des Liners unter Grundwassereinfluss. Vor diesem Hintergrund ist eine geeignete Konfektionierung des Trägermaterials auf der Grundlage einer Vermessung des Altrohres von besonderer Bedeutung.

#### Qualitätssicherung

Der Schlauchliner-Markt durchlebt seit geraumer Zeit eine intensive Qualitätsdebatte. Gut 25 Jahre nach Einführung dieser Sanierungstechnologie in Deutschland wird lebendiger denn je diskutiert. Dies ist nicht verwunderlich, hat sich Schlauchlining doch als das führende Renovierungsverfahren für Abwasserleitungen etabliert. Es steht in direkter Konkurrenz zur Erneuerung und hat sich mittlerweile einen sehr ansehnlichen Marktanteil erkämpft (ca. 20 % des Gesamt- und ca. 80 % des Renovierungsmarkts). Dieser Erfolg ist u.a. dadurch möglich, dass man den Kunden gleich gute Eigenschaften und Lebensdauern wie bei Neurohren zusichert, dies aber zu meist geringeren Kosten.

Bei der Qualitätssicherung haben Schlauchliner jedoch einen systembedingten Nachteil gegenüber werksseitig produzierten Rohren. Sie werden vor Ort auf Baustellen hergestellt, also i.d.R. unter deutlich schwierigeren Produktionsbedingungen als in einem Rohrwerk.

Daher werden die Endprodukte einer strengen Qualitätsprüfung unterzogen. Aus den ausgehärteten Linern werden Stichproben entnommen und im Prüflabor untersucht. Denn: Werden bei einer Sanierungsmaßnahme die zugesicherten Eigenschaften nicht erreicht, so wird die avisierte Nutzungsdauer fraglich und somit auch die gesamte Wirtschaftlichkeit der Sanierungsmaßnahme.

#### Transparenz durch IKT-LinerReport

Zu der kontroversen Qualitätsdebatte trägt zweifelsohne auch der jährliche IKT-LinerReport bei (vgl. [Waniek und Homann, 2004], [Waniek und Homann, 2006], [Waniek und Homann, 2007], [Waniek und Homann, 2008], [Waniek und Homann, 2009], [Waniek und Homann, 2010], [Waniek und Homann, 2011], [Waniek und Homann, 2012], [Waniek und Homann, 2013], [Waniek und Homann, 2014]). Ziel ist es, Transparenz zu schaffen und den Auftraggebern eine objektive Übersicht der tatsächlich erzielten Schlauchliner-Qualitäten zu geben.

Dazu wird die umfangreiche Liner-Datenbank der unabhängigen und neutralen IKT-Prüfstelle für Bauprodukte ausgewertet. Daraus ergibt sich ein umfassendes Gesamtbild der tatsächlich auf Baustellen erzielten Schlauchliner-Qualitäten.

#### Datenbasis

Der jährlich erscheinende IKT-LinerReport umfasst den Prüfzeitraum Januar bis Dezember des betrachteten Jahres und beruht auf den in diesem Zeitraum untersuchten Baustellenproben. Es fließen nicht nur Ergebnisse aus Deutschland, sondern auch aus dem europäischen Ausland ein – bei gleichen Prüfstandards für alle.

Um statistische Ausreißer zu vermeiden, sind nur Sanierungsfirmen berücksichtigt, für die mindestens 25 Linerproben von fünf verschiedenen Baustellen vorliegen. Bei Wiederholungsprüfungen gilt das zuletzt festgestellte Ergebnis, sofern diese Prüfungen ebenfalls im IKT stattfanden.

#### Soll-Ist-Analyse

Die eingesandten Baustellenproben werden in der IKT-Prüfstelle auf zwei zentrale Schlauchliner-Eigenschaften hin untersucht: Standsicherheit und Wasser-Dichtheit. Für erstere werden mechanische und geometrische Kennwerte (vgl. *Abb. 7.45*) bestimmt, im Einzelnen:

- der Elastizitätsmodul (Kurzzeit-Biegemodul),
- die Biegefestigkeit (Kurzzeit- $\sigma_{fb}$ ) und
- die Wanddicke.

Die ermittelten Kennwerte werden im Zuge einer Soll-Ist-Analyse mit vorgegebenen Mindestwerten verglichen. Eine Prüfung ist bestanden, wenn der Sollwert nicht unterschritten wird.

#### E-Modul und Biegefestigkeit

Die Sollwerte für E-Modul und Biegefestigkeit beruhen auf:

- a) den Kennwerten aus der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung durch das Deutsche Institut für Bautechnik (DIBt), sofern das Linersystem das Zulassungsverfahren erfolgreich absolviert hat; bzw.
- b) baustellenspezifischen Mindestvorgaben des Auftraggebers für seine konkrete Sanierungsmaßnahme; diese können von der DIBt-Zulassung abweichen.



Abb. 7.45: Linerprobe im Drei-Punkt-Biegeversuch

### Wanddicke und Wasser-Dichtheit

Wanddicken-Sollwerte werden anhand statischer Berechnungen festgelegt oder vom Auftraggeber vorgegeben. Die Eigenschaft Wasserdichtheit wird heutzutage nach der APS-Prüfrichtlinie (vgl. <http://www.ikt.de/index.php?doc=429>) bestimmt. Dabei lautet das Resultat entweder „dicht“ oder „undicht“ (vgl. *Abb. 7.46*).

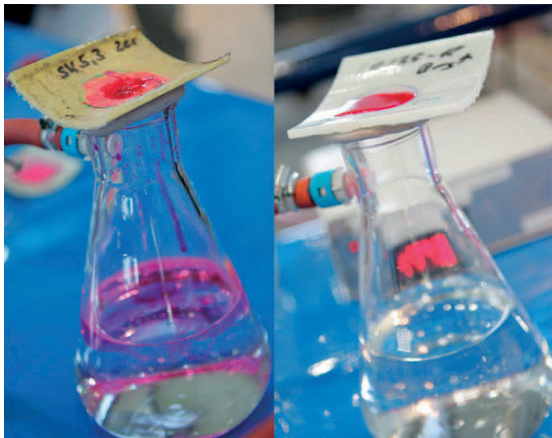


Abb. 7.46: Dichtheitsprüfung mit 0,5 bar Unterdruck: Prüflüssigkeit bei undichtem und dichtem Liner

### Vertragliche Vereinbarungen

Die mechanischen Sollwerte und die Anforderung der Wasserdichtheit sind üblicherweise Bestandteil der vertraglichen Vereinbarung zwischen Auftraggeber und Sanierungsfirma. Immer mehr Verträge sehen für den Fall der Sollwert-Unterschreitung bzw. Undichtigkeit genau festgelegte Sanktionsmechanismen vor, zum Beispiel in Form von Nachbesserungspflichten oder Preisabschlägen. Daher kommt den Laborprüfungen von Schlauchlinern eine große Bedeutung zu.

## 7.7 Erneuerung

### Definition – Erneuerung

Unter Erneuerung versteht man nach DIN EN 752:2008 [DIN, 2008b] die Herstellung neuer Abwasserleitungen und -kanäle in der bisherigen oder einer anderen Linieneinführung, wobei die neuen Anlagen die Funktion der ursprünglichen Abwasserleitungen und -kanäle einbezogen.

Die Maßnahmen können an derselben Stelle durch Auswechslung (Substanzerstörung) oder an anderer Stelle (Substanzaufgabe) durchgeführt werden.

Die Erneuerung erfolgt in:

- offener Bauweise oder
- geschlossener Bauweise (*Kap. 7.7.2 Erneuerung in geschlossener Bauweise*).

### 7.7.1 Notwendigkeit und Umsetzung der Erneuerung

#### Erneuerung - Wann?

Eine Erneuerung kommt alternativ zur Sanierung bei wiederholt auftretenden Schäden in Betracht, bei denen eine Instandsetzung nicht mehr möglich ist. Kann eine

hydraulische Überlastung oder eine Querschnittsreduzierung durch Sanierungsmaßnahmen nicht toleriert werden, bleibt als einzige Schadensbehebungsmaßnahme nur die Erneuerung übrig.

Da die Erneuerung defekter Abwasserkanäle und -leitungen an anderer Stelle mit einer Neuverlegung in der offenen oder geschlossenen Bauweise prinzipiell vergleichbar ist, sei auf [Stein, 1998], [ATV, 1995] und [Stein et al., 1988] verwiesen.

### Prüfung

Vor Inbetriebnahme des erneuerten Kanals ist eine Prüfung auf Wasserdichtheit durchzuführen. Freispiegelleitungen werden nach DIN EN 1610 [DIN, 1997b] und ATV-Merkblatt M 143-6 [ATV, 1998] in Verbindung mit DWA-A 139 [DWA, 2009b], Abwasserdruckleitungen nach bzw. in Anlehnung an DIN EN 805 [DIN, 2000] geprüft.

### Außer Betrieb genommene Kanäle

Wird im Zuge der Baumaßnahme der alte, außer Betrieb genommene Kanal nicht entfernt, so stellt dieser einen gefahrenträchtigen Hohlraum mit Untergrund dar, der nach DIN EN 752:2008 [DIN, 2008b], DIN EN 1986-100 [DIN, 2008a] und DIN EN 12056 [DIN, 2001b] zu sichern bzw. nach DWA-A 139 [DWA, 2009b] in der Regel zu verfüllen ist.

### 7.7.2 Erneuerung in geschlossener Bauweise

Bei der Erneuerung defekter Abwasserleitungen und -kanäle an derselben Stelle in geschlossener Bauweise erfolgt das Auswechseln unterirdisch, d.h. ohne Herstellung eines offenen Grabens.

### Verfahren

Dabei werden im Wesentlichen folgende Verfahren eingesetzt [Stein, 1998], [Stein et al., 1988]:

- Bergmännischer Stollen- oder Tunnelvortrieb mit Getriebezimmerung,
- Schildvortrieb,
- Rohrvortrieb (Vortrieb begehrbarer Vortriebsrohre bzw. Vortrieb nichtbegehrbarer Vortriebsrohre → Überfahren, s. *Kap. 7.7.2.1 Überfahren*),
- Berstverfahren, s. *Kap. 7.7.2.2 Berstverfahren*,
- Rohr-Zieh-Verfahren.

Bei den ersten beiden Varianten ist immer, unabhängig von der Nennweite der zu erneuernden Leitung, ein begehrbarer Querschnitt aufzufahren, da der Abbau des Bodens an der Ortsbrust und das Auswechseln der defekten Kanäle von Hand erfolgen.

#### 7.7.2.1 Überfahren

Das Überfahren von Leitungen, im englischen Sprachgebrauch „pipe replacing“ oder „pipe eating“ genannt, stellt eine Modifizierung des unbemannten, ferngesteuerten Rohrvortriebes dar. Bei diesem Erneuerungsverfahren wird die defekte Leitung überbohrt, zerstört und abgeführt und gleichzeitig die neue Leitung mit gleicher oder auch größerer Nennweite in derselben Trasse und Gradienten erstellt (*Abb. 7.47*).

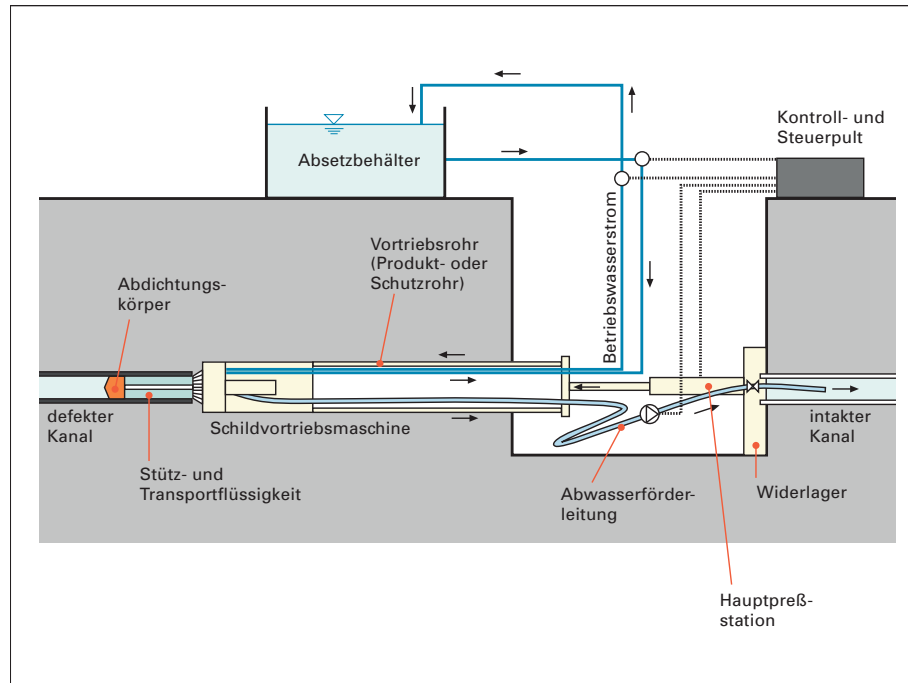


Abb. 7.47: Erneuerung nichtbegehrbarer Abwasserkanäle durch Überfahren [Stein, 1998]

Die auf dem Markt befindlichen Maschinensysteme sind ausgelegt für Haltungslängen von ca. 50 m bis 70 m und Rohrsohlentiefen von 3 m bis 7 m. Grundwasser über der Rohrsohle erfordert je nach Maschinentyp keine besonderen Wasserhaltungsmaßnahmen. Ausführliche Erläuterungen über den diesbezüglichen Stand der Technik sind in [Stein et al., 1988], [Stein et al., 1983] enthalten.

### 7.7.2.2 Berstverfahren

#### Prinzip des Berstverfahrens

Die Berstverfahren basieren auf den bekannten Bodenverdrängungsverfahren [Stein, 1998], [Stein et al., 1988]. Der Grundgedanke hierbei ist, einen Verdrängungskörper durch die defekte Leitung zu führen, der die Rohrwandung zerstört und in den anstehenden Bau-

grund verdrängt. Unmittelbar hinter dem Verdrängungskörper wird eine neue Rohrleitung gleicher oder größerer Nennweite eingebaut. Es ist somit keinerlei Bodenentnahme erforderlich. Diese Arbeiten können von den Einsteigschächten oder speziell hergestellten Startbaugruben aus durchgeführt werden (Abb. 7.48).

Voraussetzungen für den Einsatz sind kreisförmige Rohrquerschnitte, möglichst spröde Rohrwerkstoffe, wie z.B. Grauguss, Steinzeug und unbewehrter Beton, ein verdichtungsfähiger Boden in der Leitungszone sowie eine geradlinige Haltung ohne größere Abwinkelungen und Versätze.

Der Berstvorgang erfolgt entweder mit Hilfe:

- dynamischer oder
- statischer Krafteinleitung.

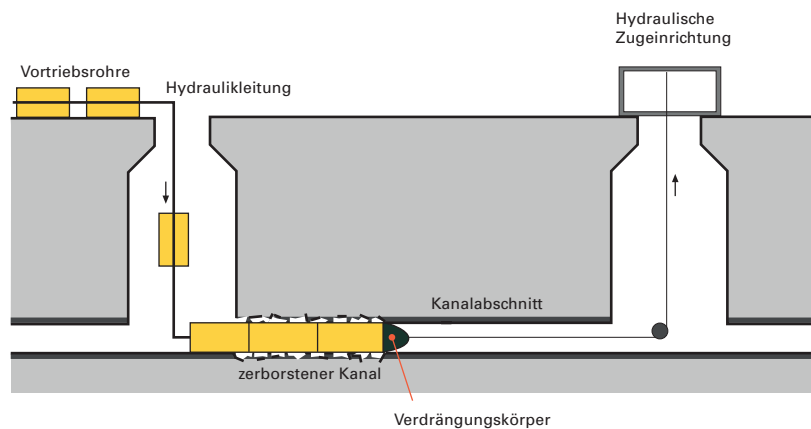


Abb. 7.48: KM-Berstling (Kanal-Müller-Gruppe) [ATV, 1995]



**Dynamische Berstverfahren**

Die dynamisch arbeitenden Berstverfahren basieren auf der Verwendung eines modifizierten Erdverdrängungshammers, dessen Schlagimpulse in erster Linie das Bersten der defekten Leitung bewirken.

Zur Unterstützung des Berstvorganges ist bei einigen Geräten der Verdrängungskörper mit Brecherarmen oder Profilrippen versehen, über die in die zu berstende Leitung Punkt- oder Linienlasten eingetragen werden.

Die dynamisch wirkenden Schlagimpulse können verbunden sein z.B. mit:

- Erschütterungen und hohen Geräuschpegeln,
- unkontrollierten vorausseilenden Zerstörungen oder Einstürzen des zu erneuernden Kanals oder
- ungewollter Verdichtung des Bodens im Bereich der Leitungszone in Verbindung mit Setzungen der Straßenoberfläche bzw. benachbarter Leitungen.

**Statische Berstverfahren**

Diese Nachteile werden beim statisch arbeitenden Berstverfahren eliminiert. Der hier eingesetzte Berstkörper besitzt einen hydraulisch betätigten Auswei-

tungsmechanismus. Er wird von einer über dem Zielschacht positionierten, hydraulisch arbeitenden Zugvorrichtung durch den defekten Kanal diskontinuierlich gezogen.

Alle im Bereich der zu erneuernden Leitungen angeschlossene Anschlusskanäle müssen vor Beginn der Arbeiten in offener Bauweise abgetrennt und nach Abschluss der Erneuerung wieder angeschlossen werden, da sie sonst durch den Berstvorgang unkontrolliert zerstört werden.

**7.8 Auswahlkriterien für Verfahren zur baulichen Sanierung**

**7.8.1 Entscheidungsprozess zur Verfahrensauswahl**

Da Erscheinungsbild, Ausmaß und Ursache der Schäden, aber auch die leitungspezifischen Randbedingungen in Entwässerungssystemen sehr unterschiedlich sind, kommt der richtigen Verfahrensauswahl zur baulichen Sanierung eine große Bedeutung zu. Abb. 7.49 zeigt in vereinfachter Form den Ablauf eines solchen Entscheidungsprozesses.

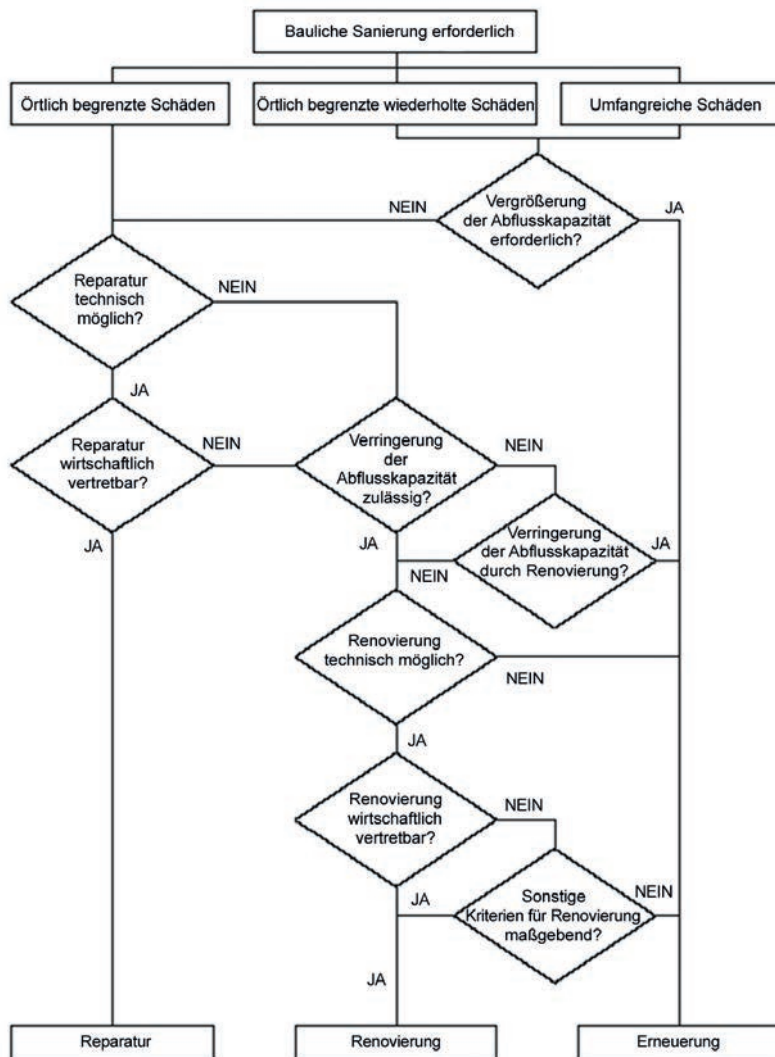


Abb. 7.49: Entscheidungsprozess zur Wahl der baulichen Lösung [ATV-DVWK, 2004a]

Maßgebende Kriterien für die sachgerechte Anwendung eines baulichen Sanierungsverfahrens sind u.a. der Schadensumfang, wobei unterschieden wird zwischen örtlich begrenzten, örtlich begrenzten wiederholten und umfangreichen Schäden, sowie die Notwendigkeit der Vergrößerung des Abflussvermögens, die Möglichkeit einer technischen Veränderung, die Wirtschaftlichkeit einer solchen Veränderung und schließlich die Entscheidung, ob ein Weiterbetrieb der betroffenen Haltung oder des Netzbereiches erforderlich ist.

### 7.8.2 Reparatur – Renovierung – Erneuerung

#### *Reparatur*

Aus wirtschaftlichen Gründen werden örtlich begrenzte Schäden durch Reparatur (*Kap. 7.5 Reparatur*) behoben.

#### *Renovierung und Erneuerung*

An derselben Stelle wiederholt auftretende und umfangreiche Schäden, bei denen eine Reparatur aus technischen oder wirtschaftlichen Gründen nicht mehr möglich ist, können sowohl durch Renovierung (*Kap. 7.6 Renovierung*) als auch durch Erneuerung (*Kap. 7.7 Erneuerung*) behoben werden.

Die Renovierungsverfahren führen zu einer mehr oder weniger starken Querschnittsreduzierung und damit verbunden im Allgemeinen zu einer Verringerung der hydraulischen Leistungsfähigkeit. Während im begehbaren Nennweitenbereich geringfügige Querschnittsreduzierungen im Allgemeinen tolerierbar sind, ist dies aus hydraulischen Gründen bei Kanälen kleiner Nennweiten oftmals nicht vertretbar. In diesem Fall oder wenn eine Vergrößerung der Abflusskapazität erforderlich ist, kommt eine Erneuerung in Betracht.

Ein weiterer Aspekt, der zu einer Einengung der Anwendungsbereiche der Reparatur- und Renovierungsverfahren führt, ist die Berücksichtigung chemischer Randbedingungen. Dies gilt sowohl für die Umweltverträglichkeit der Injektionsmittel bei Injektionsverfahren (*Kap. 7.5.3.2 Wirkung der Injektionsmittel auf das Grundwasser*) als auch für die Resistenz der verwendeten Beschichtungs- und Auskleidungswerkstoffe gegenüber den sich im Abwasser bzw. im Gasraum der Freispiegelkanäle befindlichen Medien.

#### *Auswahlkriterien für eine Renovierung*

Wenn eine Renovierung beim Vergleich der Baukosten mit denen einer zur Zeit noch überwiegend praktizierten Erneuerung in offener Bauweise zunächst wirtschaftlich nicht vertretbar erscheint, können sonstige Kriterien für die Auswahl eines Renovierungsverfahrens maßgebend sein, z.B. [ATV-DVWK, 2004a]:

- keine oder nur kleine Baugrube,
- kürzere Bauzeit,
- Reduzierung der indirekten Kosten, wie z.B. Verkehrsumleitung,

- kreuzende oder parallellaufende Ver- und Entsorgungsleitungen,
- erhaltenswerter Bewuchs oder Oberflächenbelag und
- Vermeidung von Grundwasserabsenkungen.

#### *Vorzugslösung - Erneuerung*

In den Fällen, in denen aus hydraulischen, statischen, chemischen, aber auch aus ökonomischen Gründen Reparatur- und Renovierungsverfahren nicht mehr einsetzbar sind, muss auf die Verfahren der Kanalerneuerung zurückgegriffen werden.

#### *Technische und wirtschaftliche Aspekte*

Alle baulichen Sanierungsverfahren weisen Vor- und Nachteile sowie Einsatzbeschränkungen auf. Es gibt kein Universalverfahren, das unter allen möglichen Randbedingungen gleichermaßen technisch und wirtschaftlich sinnvoll einsetzbar ist. Die Schwierigkeiten bei der Anwendung der meisten Verfahren nehmen mit geringer werdender Nennweite und steigender Anzahl von Anschlusskanälen innerhalb der Haltung erheblich zu. Insbesondere das Abtrennen der Anschlusskanäle vor und das Wiedereinbinden nach erfolgter Sanierung oder Erneuerung von Kanalleitungen bereiten vor allem bei Kanälen mit nichtbegehbarem Querschnitt erhebliche Schwierigkeiten und Kosten, so dass in vielen Fällen nur noch die Haltungserneuerung in offener Bauweise mit ihren bekannten Nachteilen möglich ist [Stein, 1998].

Besondere Probleme bei Reparatur-, Renovierungs- und Erneuerungsmaßnahmen bereitet auch die Vorflutsicherung während der Bauzeit. Sie kann sowohl aus technischer als auch aus wirtschaftlicher Sicht von entscheidender Bedeutung sein [Stein, 1998].

#### *Erschwernisse und Mehrkosten*

Die Reparatur, Renovierung bzw. Erneuerung vorhandener Kanäle findet vornehmlich in voll erschlossenen, bebauten und bewohnten Gebieten statt. Gegenüber vergleichbaren Bauarbeiten in unbebauten Erschließungsgebieten können dadurch, je nach gewähltem Bauverfahren, Erschwernisse und Mehrkosten verursacht werden durch [Müller, 1982], [Stein, 1989]:

- den infolge der räumlichen Enge notwendigen Abtransport der gesamten Aushubmassen,
- die in Anbetracht des aufrechtzuerhaltenden Verkehrs notwendigen Baumaßnahmen und sonstigen wesentlichen Behinderungen in der Bauausführung,
- den notwendigen Aufbruch der Straßenoberfläche und deren Wiederinstandsetzung,
- Verkehrsleitmaßnahmen einschließlich Beschilderung,
- den notwendigen Einbau von Brücken über die Baugruben für Kraftfahrzeuge, Fußgänger usw. und
- die Aufrechterhaltung der Vorflut der am Altkanal angeschlossenen Grundstücke.

**7.8.3 Auswahlkriterien Wirtschaftlichkeit und Lebenszyklus**

Mit der Sanierung eines Bauwerkes wird in der Regel eine Zustandsänderung angestrebt, bei der z.B. Mängel oder Schäden im bisherigen Netz beseitigt werden. Die dabei zu erwartenden Kosten stellen für Netzbetreiber eine zentrale Entscheidungsgröße dar. Um die langfristige Wirtschaftlichkeit einer Sanierung auch vor dem Hintergrund der momentanen Liquiditäts- bzw. Haushaltslage bewerten zu können, sind Kenntnisse der zu erwartenden Lebens- bzw. Nutzungsdauer der sanierten Haltungen von entscheidender Bedeutung. Diese sind Grundlage für die Berechnung der jährlichen Abschreibungskosten von Sanierungsmaßnahmen und haben damit auch maßgeblichen Einfluss auf die Festlegung der Abwassergebühren bzw. Wertermittlung des Kanalnetzes. Darüber hinaus können mit Hilfe von möglichst genau abgeschätzten Lebens- bzw. Nutzungsdauern Kostenvergleiche zwischen alternativ anwendbaren Verfahren auf der einheitlichen Basis von Jahreskosten durchgeführt werden (vgl. Abb. 7.50).

In Abb. 7.51 ist der gesamte Lebenszyklus eines Bauwerkes nach Bau bzw. Sanierung schematisch dargestellt.

Die Lebensdauer einer Sanierung startet mit dem Zeitpunkt der Errichtung bzw. der Baustelleneinrichtung. Die zuvor stattfindende Planungs- und Ausschreibungsphase bis hin zur Arbeitsvorbereitung hat jedoch bereits einen wesentlichen Einfluss auf die spätere Lebensdauer. Bei größeren Sanierungsobjekten werden auch die Planungskosten dem späteren Bauwerk zugeordnet. Nach Fertigstellung der Baumaßnahme unterliegt die Sanierung einem Betriebszyklus. Dieser umfasst die für das Bauwerk geleisteten Unterhaltungsmaßnahmen (HD-Spülung, Wartung, Inspektion u.a.) mit den damit verbundenen Kosten sowie die das Bauwerk beanspruchenden Betriebs- und Umweltbelastungen. Das Kanalnetz wird in regelmäßigen Abständen, die von den rechtlichen Vorgaben und der gewählten Betriebs-, Inspektions- und Instandhaltungs-Strategie abhängen, einer Zustandsbeurteilung unterzogen.

<b>Betriebswirtschaftliche Planung (Kalkulatorische Abschreibung)</b>
In der Kosten- und Leistungsrechnung werden Kosten für interne und externe Leistungen, die im Rahmen von Investitionsmaßnahmen anfallen, über die betriebswirtschaftlich sinnvolle Nutzungsdauer abgeschrieben, d.h. durch kalkulatorische Abschreibungen dargestellt. Als betriebswirtschaftlich sinnvoll gilt die Begrenzung der Nutzungsdauer dann, wenn die in zukünftigen Betriebszyklen zu erwartenden Unterhaltungskosten und kalkulatorischen Abschreibungen die Kosten bei Reinvestition durch Neubau oder Sanierung übersteigen.
<b>Gebührenberechnung</b>
In Abhängigkeit der für die Gebührenberechnung maßgebenden Rechtslage sind Nutzungsdauern festzulegen, die in Verbindung mit den Anschaffungs- bzw. Wiederbeschaffungskosten der Anlagen die Gebührenhöhe mitbestimmen. Im Allgemeinen entsprechen diese Nutzungsdauern den betriebswirtschaftlich gewählten, für die kalkulatorischen Abschreibungen maßgebenden Nutzungsdauern (s.o.) bzw. sind auf diese abzustimmen.
<b>Kaufmännisch/Steuerliche Bewertung (HGB-/Steuerliche Abschreibung)</b>
Sofern der Betrieb über ein kaufmännisches Rechnungswesen verfügt, nach HGB bilanziert und ggf. auch steuerpflichtig ist, werden die Abschreibungen entsprechend den nach HGB bzw. Steuerrecht möglichen Abschreibungssätzen aus kaufmännisch-strategischer Sicht festgelegt. Diese Entscheidung kann damit - in engen Grenzen - auch losgelöst von den technischen Randbedingungen erfolgen.
<b>Technische Planung (Lebensdauer = maximale Nutzungsdauer)</b>
Im Rahmen der technischen Planung, z.B. Instandhaltungsplanung und Ersatzteilbevorratung, ist von Interesse, welche Lebensdauer (maximale Nutzungsdauer) von einem Bauwerk allein durch Fortführung und ggf. Intensivierung von Unterhaltungsmaßnahmen technisch zu erreichen ist. In [1] wird bspw. vorgeschlagen, die Länge der Nutzungsdauer von Schlauchlinern verfahrensunabhängig und ohne Einschränkung auf 50 Jahre festzulegen, wenn ein lückenloses Qualitätsmanagement im Rahmen einer Eigen- und Fremdüberwachung durchgeführt wird.
<b>Projektbewertung (LAWA)</b>
Im Rahmen der Projektbewertung kann auf das durch die Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) für die Praxis verfügbar gemachte Planungs- und Entscheidungsinstrument der Kostenvergleichsrechnung zurückgegriffen werden (vgl. [2]). Von besonderer Bedeutung sind dabei die zu verschiedenen Zeitpunkten anfallenden Kosten und deren Vergleich über eine Jahreskosten- bzw. Barwertbetrachtung. Zentrale Größe für die Berechnung ist die sog. <b>durchschnittliche Nutzungsdauer der betrachteten Anlage</b> . Konkrete Hinweise zur Abschätzung dieser Nutzungsdauer finden sich in [2] allerdings nur als sehr grobe Angaben, z.B. mit 50 - 80 Jahren für Kanäle und 50 Jahren für Kanalisationsschächte.
<small>[1] Wagner, V.: Nutzungsdauer und Dauerhaftigkeit von Schlauchlinern. in UmweltBau, 04/2002. [2] Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA): Leitlinien zur Durchführung dynamischer Kostenvergleichsrechnungen (KVR-Leitlinien), 1998.</small>

Abb. 7.50: Lebensdauerdefinitionen [Bosseler und Schlüter, 2003]



Auf Basis der Zustandsbeurteilung ist zu entscheiden, ob sich der Kanal überhaupt noch in einem technisch akzeptablen Zustand befindet, d.h. im Rahmen der normalen Unterhaltungsmaßnahmen im betriebsfähigen Zustand gehalten werden kann. Auch ist zu prüfen, ob aus betriebswirtschaftlicher Sicht die zukünftig zu erwartenden Unterhaltungsmaßnahmen in Verbindung mit dem Restwert des Kanals noch eine wirtschaftlich sinnvolle Alternative zur Erneuerung oder evtl. auch „Sanierung der Sanierung“ darstellen.

Ist ein weiterer Betrieb des Bauwerkes aus technischer oder betriebswirtschaftlicher Sicht nicht mehr zu ver-

antworten, so ist die technische Lebensdauer bzw. betriebswirtschaftliche Nutzungsdauer erreicht. Schließlich ist die Entsorgung des Bauwerkes sicherzustellen. Die Kosten hängen dabei in hohem Maße von dem gewählten Entsorgungsweg ab. So ist die Verwertung des Altkanals im Rahmen einer Sanierungsmaßnahme ebenso denkbar, wie die Stilllegung des Objektes bei Neubau an anderer Stelle oder auch der vollständige Ausbau des Altbauwerkes bei Entsorgung der anfallenden Reststoffe und Wiederherstellung des Bodenkörpers.

weitere Literatur: [ATV-DVWK, 2010]

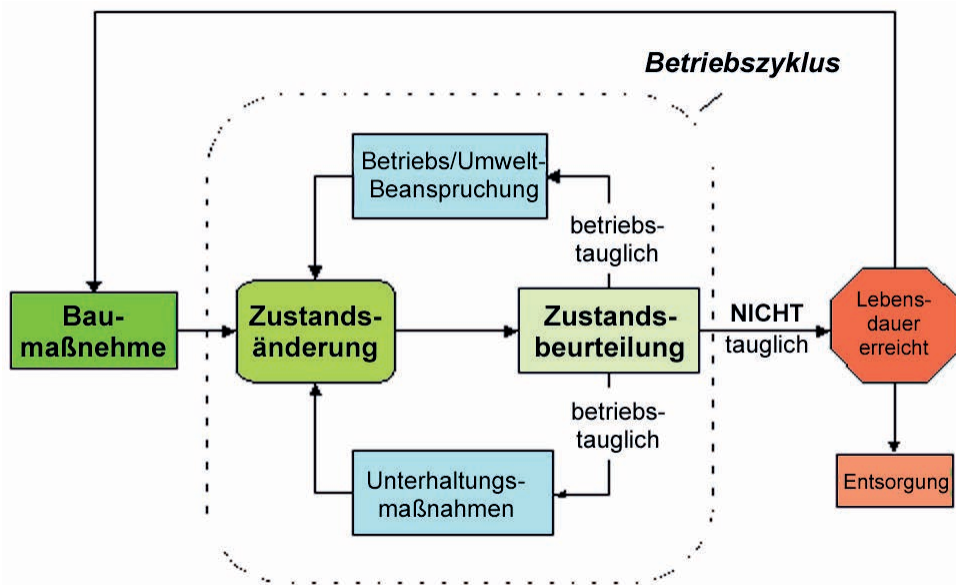


Abb. 7.51: Lebenszyklus eines Bauwerkes bzw. einer Sanierung [Bosseler und Schlüter, 2003]



## 8 Rehabilitation von Fernwärmekanälen und -leitungen

### 8.1 Historische Entwicklung der Fernwärmeversorgung [Brockhaus, 1901-1904], [Schiller, o.J.], [Bärthel, 1975c], [Bärthel, 1975b], [Geier, 1978]

In Deutschland wurden die ersten Fernwärmeversorgungsanlagen in Berlin, Hamburg, Dresden und München gebaut. So entstand 1884 in Berlin eine Fernwärmeversorgungsanlage für die Technische Hochschule, 1893 wurde das Hamburger Rathaus aus dem Elektrizitätswerk mit Wärme versorgt. 1894 folgte Dresden mit dem Sächsischen Staatsbahnhof.

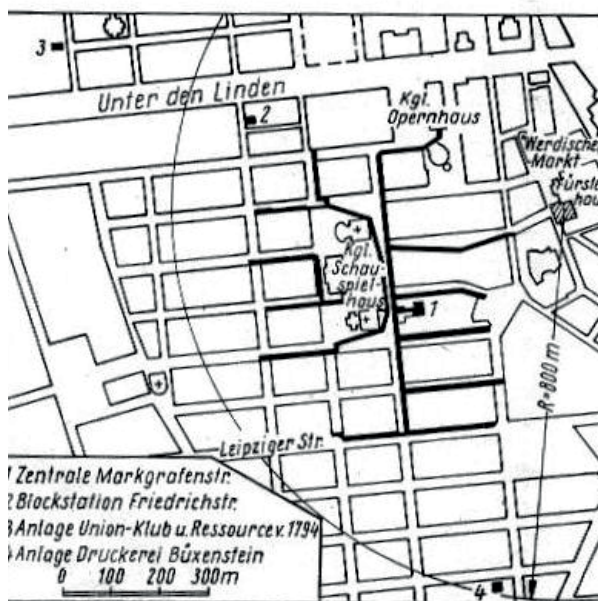


Abb. 8.1: Fernwärmeversorgungsanlage in Berlin in der Markgrafentrasse

Die 1900 für das Schloss, den Zwinger und die Oper gebaute Fernwärmeversorgungsanlage wird als erste europäische Fernwärmeversorgungsanlage bezeichnet.

„Von der hinter dem königlichen Opernhaus gelegenen, architektonisch durchgebildeten Centrale werden ein Dutzend Staatsgebäude, von denen das entfernteste 1,1 km weit abliegt, mit Heizedampf und elektrischem Strom zur Beleuchtung versorgt.....Ein begehbarer Hauptkanal von 2 m Höhe und etwa 2 m Breite enthält 2 Dampffernleitungsrohre von je 216 mm Innenweite, von denen eine als Reserveleitung dient, ferner die Kondenswasserleitung sowie die elektrischen Lichtkabel. Die Dampfleitungen sowie die Kondenswasserleitung sind mit Wärmeschutzumhüllung versehen. Das Kondenswasser kommt mit 80 °C in der Centrale an und wird zum Speisen der Kessel wieder verwendet.“ [Brockhaus, 1901-1904]

Die größten Centralheizungen sind die sog. Fernheizwerke, bei welchen eine größere Anzahl Gebäude von einer einzigen Feuerstelle aus beheizt werden. Sie kamen zuerst in Amerika für Häuserblocks und ganze Stadtteile auf. Die ersten derartigen Anlagen in Deutschland wurden für die rhein. Irrenanstalten errichtet. Ferner sind mehrere andere Irrenanstalten, Kranken- und Kuranstalten, bei denen oft 20—30 Gebäude von einer Centrale aus geheizt werden, mit Fernheizwerken ausgestattet worden, z. B. Bad Ems, die Irrenanstalt zu Großschweidnitz, die Landesheilanstalten bei Lüneburg und Hofheim u. a. Die größte derartige Anlage auf dem Kontinent ist das staatliche Fernheizwerk zu Dresden. Dasselbe wurde nach Plänen des Geh. Baurats Tempel in Dresden von der Firma Rietschel & Henneberg erbaut und im Dez. 1900 in Betrieb gesetzt. Von der hinter dem königl. Opernhaus gelegenen, architektonisch durchgebildeten Centrale werden etwa ein Dutzend Staatsgebäude, von denen das entfernteste 1,1 km weit abliegt, mit Heizedampf und elektrischem Strom zur Beleuchtung versorgt. Der Heizedampf von 8 Atmosphären wird zur Zeit in 10 Kesseln mit je 200 qm Heizfläche erzeugt. Diese Kesselanlage liefert stündlich 15 Mill. Wärmeinheiten für die Heizanlage und 7 Mill. Wärmeinheiten für die Dampfdynamos und besitzt einen 60 m hohen Schornstein von einer oberen lichten Weite von 3,20 m. Ein begehbarer Hauptkanal von 2 m Höhe und etwa 2 m Breite enthält 2 Dampffernleitungsrohre von je 216 mm Innenweite, von denen das eine als Reserveleitung dient, ferner die Kondenswasserleitung sowie die elektrischen Lichtkabel. Die Dampfleitungen sowie die Kondenswasserleitung sind mit Wärmeschutzumhüllung versehen. Das Kondenswasser kommt mit 80° C. in der Centrale an und wird zum Speisen der Kessel wieder verwendet.

Abb. 8.2: Text aus Brockhaus-Lexikon 1900 [Brockhaus, 1901-1904]



Abb. 8.3: Dresden um 1900 - rechts im Bild Heizwerk [Geier, 1978]

Bereits 1878 wurde in Lockport (USA) ein Fernheizwerk errichtet und um 1912 gab es in den USA über 100 städtische Fernheizanlagen, die größte in New York mit 18 km Länge [Bärthel, 1975b].

In der Zeit 1921 bis 1932 erhielten in Deutschland 21 Städte Fernwärmeversorgungssystem (Hamburg 1921, Kiel 1922, Barmen, Berlin-Neukölln, Aschaffenburg 1923/24, Mannheim 1924, Wuppertal 1925, weitere in Braunschweig, Dresden, Halle, München, Schwerin usw.).



8. Rehabilitation von Fernwärmeleitungen und -kanälen



Abb. 8.4: Dresden um 1900 - rechts im Bild Heizwerk [Geier, 1978]



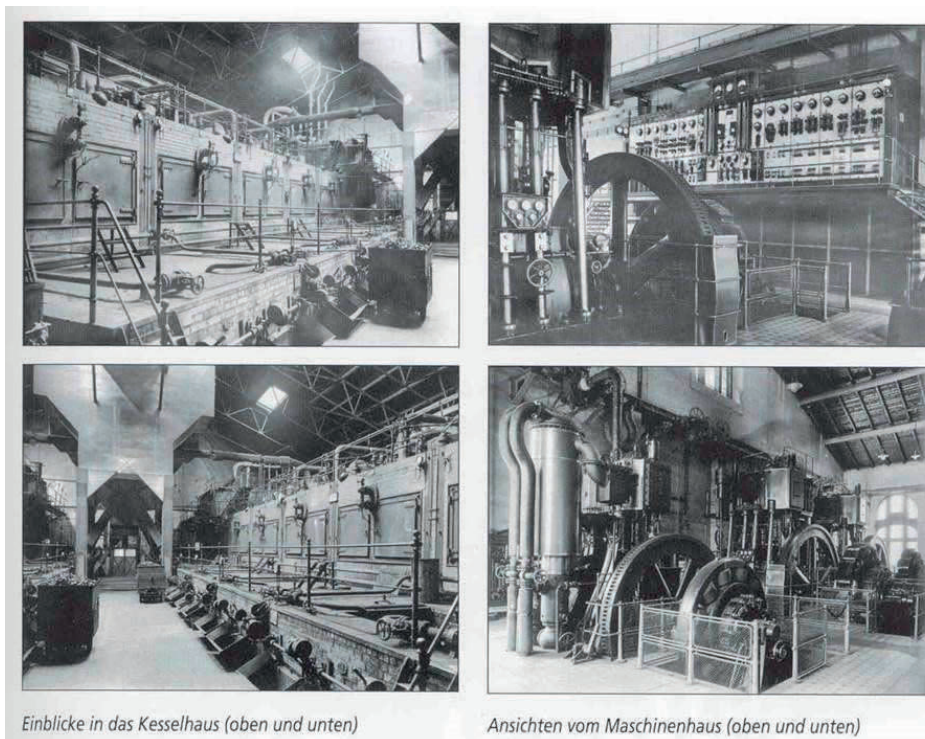
Abb. 8.6: Dresden Heizwerk [Geier, 1978]



Abb. 8.5: Dresden - Sprengung des Heizwerkes [Geier, 1978]

Nach dem zweiten Weltkrieg entstanden größere Fernwärmenetze in England, Österreich, Finnland und Polen. In Ägesta wurde 1960 die Beheizung mit Warmwasserbereitung durch Schwedens erstes Atomkraftwerk realisiert.

Nach dem 2. Weltkrieg begann in den 60er Jahren sowohl in der BRD als auch in der DDR der Aufbau von Fernwärmeversorgungssystemen für neue Stadtteile (München, Frankfurt u.a.) als auch Stadtneugründungen (DDR-Stadtneugründungen: Eisenhüttenstadt, Schwedt, Hoyerswerda, Halle-Neustadt – heute Stadtteil von Halle).



Einblicke in das Kesselhaus (oben und unten)

Ansichten vom Maschinenhaus (oben und unten)

Abb. 8.7: Dresden - Heizwerk Innenansichten [Geier, 1978]



### 8.2 Historische Fernwärmeleitungen und Bauweisen

Bärthel [Bärthel, 1975c], [Bärthel, 1975b] analysierte „historische“ Fernwärmeanlagen (12 Städte mit 217 km Fernwärmeleitungen, die z.T. nicht mehr bestehen), welche unterschiedliche Kanalkonstruktionen, wie Kanalelemente oder Rohre aus Tonteilen, hatten. Isolierstoffe waren Koks, Holzkohle, Filz, Wolle, Papier usw.). Die Bilder zeigen Kanalkonstruktionen aus Bärthels Untersuchungen.

Meißen 1928		0,4 km 150 mm Dampf 6 atü 310/240 °C Ganzjähriger Betrieb
Dresden		11,7 km (1936) 350 mm Dampf 1,8 atü Heißwasser 140/90 °C
1926/27		Ganzjähriger Betrieb
Halle/S. 1928		4,4 km 275 mm Dampf 12/3—6 atü Ganzjähriger Betrieb
Forst/L. 1928/29		0,9 km 600 mm Dampf 6/5 atü Ganzjähriger Betrieb

Abb. 8.8: Historische Heizkanäle 1

Zugleich untersuchte Bärthel Schäden an Fernwärmeleitungen bzw. -kanälen und nannte:

- Undichtheiten des Kanals,
- Schäden an Rohrauflagerungen,
- Ausdehnungskompensatoren und Isolierungen.

Ort Baujahr	Fertigteile Auflegerplatten	Ortbeton Metallteile	Wärmeisolierung Kies- schicht	Netzlänge Größte NW Wärmeträger Parameter Betriebssturnus
Mühlhausen-Pfaffroda 1912				2,0 km 125 mm  Warmwasser 90/70 °C Ganzjähriger Betrieb
Leipzig 1925				15,5 km 500 mm Dampf 2,5/0,5 atü früher nur Winterbetrieb, jetzt ganzjährig Heißwasser 120/60 °C
1927				
1928				
1929				1,9 km 350 mm Heißwasser 190/160 °C jetzt 150/80 °C ganzjähriger Betrieb
1930				
Karl-Marx-Stadt 1929				1,9 km 350 mm Heißwasser 190/160 °C jetzt 150/80 °C ganzjähriger Betrieb
1932				

Abb. 8.9: Historische Heizkanäle 2

Weitere außergewöhnliche historische Kanäle zeigen die Bilder von Munser [Munser und Steinbach, 1994], wie die Holzmantelisolierung und den Hohlsteinkanal.



Abb. 8.10: Rohrverlegung mit Holzmantelisolierung [Munser und Steinbach, 1994]

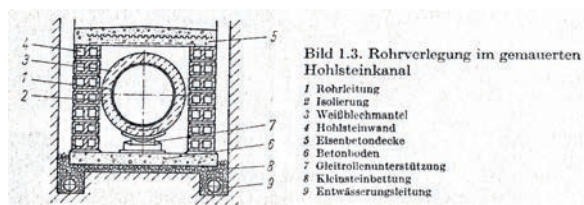


Abb. 8.11: Rohrverlegung im gemauerten Hohlsteinkanal [Munser und Steinbach, 1994]

### 8.3 Grundlagen der zentralen Wärmeversorgung (Lindner/Roscher in [Roscher, 1989])

#### 8.3.1 Bestandteile der zentralen Wärmeversorgung

Zentrale Wärmeversorgungssysteme umfassen:

- die Wärmeerzeugung in Heizwerken, Heizkraftwerken und die Abwärmenutzung der Industrie,
- den Wärmetransport mit den Wärmeträgern Heißwasser, Warmwasser und Dampf und
- die Abnehmerstationen.

Von wesentlicher Bedeutung für die Wirtschaftlichkeit zentraler Wärmeversorgungsanlagen sind:

- das Verfahren der Wärmeerzeugung,
- die technischen Parameter des Wärmeträgers und
- die Ausführung der Rohrleitungen als Kanäle (Kanalförmigkeit und Isolierung bei Kanalverlegung), der Dehnungsbauwerke bzw. Kompensatoren oder als (Mantelrohrsysteme).

Zentrale Wärmeversorgungsanlagen wurden anfänglich als Dampfheiznetze gebaut. Nach dem 2. Weltkrieg wurden dagegen Heißwassernetze angewandt, da sie zahlreiche Vorteile gegenüber Dampfnetzen haben.

#### 8.3.2 Zustandsgrößen und Eigenschaften des Wärmeträgers

Die Wärmeträger werden charakterisiert durch die Zustandsgrößen:

- Temperatur,
- Druck,
- Volumen und
- Enthalpie (Wärmeinhalt).

Sie werden unterschieden in:

- Heißwassernetze ( $t > 115 \text{ °C}$ )
- Warmwassernetze ( $t \leq 115 \text{ °C}$ )
- Dampfnetze
  - Niederdruckdampf ( $p < 0,07 \text{ MPa}$ )
  - Hochdruckdampf ( $p \geq 0,07 \text{ MPa}$ )

Die Wärmeträger Heiß- und Warmwasser werden im Temperaturbereich 70 bis 180 °C angewendet. Bei Überschreiten der Siedetemperatur des Wassers (bei normalem Luftdruck etwa 100 °C) ist ein entsprechender Druck erforderlich, um das Verdampfen des Wassers zu verhindern (z.B. bei 180 °C 1,0 MPa – Siedetemperatur 179,04 °C).

Der nutzbare Energieinhalt von Wasser oder Dampf wird im jeweiligen Aggregatzustand angegeben. Die Enthalpiedifferenz zwischen Vor- und Rücklauf des Wärmeträgers wird nachfolgend als Temperaturspreizung bezeichnet.

Vorteile von Heißwasser-Fernwärmenetzen sind:

- die große nutzbare Temperaturspreizung zwischen Vor- und Rücklauf und damit relativ geringe erforderliche Rohrquerschnitte und
- das Wärmespeichervermögen des Heißwassers.

Sie werden vorzugsweise als Zweileiternetze gebaut, bei großen Bedarfsunterschieden zwischen Sommer-

und Winterbetrieb kann der Ausbau zum Dreileiternetz vorteilhaft sein. In besonderen Fällen werden Vierleiternetze gebaut (2 Rohre für Heizung, 2 Rohre für Warmwasserversorgung, jeweils als Vor- und Rücklauf).

Dampf als Wärmeträger ist z.B. für die industrielle Produktion erforderlich, hat jedoch eine Reihe von Nachteilen wie:

- geringes Wärmespeichervermögen,
- Kosten für die Kondensatwirtschaft und
- hohe Kosten für die Wärmedämmung.

Die Wahl des Wärmeträgers für das jeweilige Versorgungsgebiet ist abhängig von der Bedarfsstruktur und verfügbaren Wärmeerzeugungsanlagen.

Ältere Wärmeversorgungsnetze, die gleichzeitig industriellen Wärmebedarf decken, wurden vielfach als Dampfnetze gebaut, neue Wärmeversorgungssysteme fast ausschließlich als Heißwassernetze.

#### 8.3.3 Wärmeerzeugungsanlagen

##### 8.3.3.1 Heizkraftwerke

Die Wärmeerzeugung erfolgt mittels Wärmekraftkopplung (Erzeugung von Elektroenergie und Wärme). Die Elektroenergieerzeugung erfolgt mit Dampferzeugern und Turbogeneratoren (Gegendruck- oder Entnahme-Kondensations-Turbinen).

Die durch die Turbinen nicht genutzte Energie wird Wärmeaustauschern zugeführt und steht der Fernwärmeversorgung mit Heißwasser zur Verfügung (bzw. es wird dem Prozess Dampf für eine Fernwärmeversorgung mit Dampf entnommen).

##### 8.3.3.2 Heizwerke

Heizwerke erzeugen mittels Heißwasser- bzw. Dampferzeugern die Wärmeträger Heißwasser bzw. Dampf.

Der erforderliche Druck für Heißwassersysteme wird durch Pumpen erzeugt. In Dampfnetzen wird der im Dampferzeuger entstehende Druck für den Transport genutzt.

Heizwerke mit Dampferzeugern können mit Wärmeaustauschern und Pumpen ausgerüstet werden, wenn Heißwasser den Abnehmern zugeführt werden soll.

##### 8.3.3.3 Industriebetriebe mit Hochtemperaturprozessen (Metallurgie, Chemie u.a.)

Die Abwärme kann für die Fernwärmeversorgung genutzt werden. Für die Heiß- oder Warmwassernetze sind zusätzlich Wärmeaustauscher und Pumpwerke erforderlich.

##### 8.3.3.4 Insel- bzw. Verbundbetrieb, regionaler Betrieb

In einer ersten Etappe können Wärmeerzeugungsanlagen als Inselbetriebe, in weiteren Etappen zum Verbundbetrieb und ggf. zu regionalen Systemen ausgebaut werden.

In großen Städten gibt es z.T. ausgedehnte Fernwärmenetze (Westdeutschland: Hamburg, Hannover, Mann-



heim, Städte im Ruhrgebiet, Heidelberg usw.; Ostdeutschland: Chemnitz, Cottbus, Suhl, Halle-Neustadt usw.).

Große Fernwärmenetze wurden in Osteuropa gebaut (Russland, CSSR, Polen, Ungarn usw.), ebenso in Skandinavien (Schweden und Finnland). Eine Besonderheit stellt Island durch seine Geothermienutzung für mehr als 90 % der Wohnungen dar.

### 8.3.3.5 Nutzung von Geothermalenergie (Sonderform - keine Wärmeerzeugung)

Die Nutzung von Geothermalenergie für die Wärmeversorgung von Wohngebieten ist in einigen Gebieten der Bundesrepublik möglich.

Das Thermalwasser wird aus Förderbohrungen mittels Unterwasser-Motorpumpen an die Oberfläche gebracht und ggf. mit Wärmepumpen auf die erforderlichen Parameter für Wärmeversorgung von Gebäuden gebracht. Erforderlichenfalls können Wärmespeicher zwischen geschaltet werden.

### 8.3.3.6 Nutzung der Rücklaufenthalpie (Sonderform - keine Wärmeerzeugung)

Die Nutzung der im Rücklaufwasser enthaltenen Wärme (Rücklaufauskühlung) kann als spezielle Form der indirekten Einspeisung betrachtet werden. Sie kann bei ausgelasteten Primärnetzen in innerstädtischen Bereichen angewendet werden.

Zu klären sind dabei:

- der zeitlich (belastungsabhängige) und außentemperaturabhängige Temperaturverlauf im Primär-rücklauf,
- die maximale Entnahmemenge und
- die Druckverhältnisse unter Beachtung des Belastungsgrades.

### 8.3.3.7 Heißwasserspeicher (Sonderform - keine Wärmeerzeugung)

Heißwasserspeicher dienen der Speicherung von Wärmeenergie in den Nachtstunden und der Wärmeabgabe in den Spitzenstunden (z.B. Heißwasserspeicher Chemnitz).

## 8.4 Wärmetransportsysteme (Lindner/Roscher in [Roscher, 1989])

### 8.4.1 Netzformen

Die Rohrnetze werden als Ring- bzw. Verästelungssysteme aufgebaut.

Kriterien für die zu wählende Netzform sind:

- die Versorgungszuverlässigkeit,
- die Art und Parameter der anzuwendenden Wärmeträger,
- einfache Betriebsführung,
- perspektivische Wärmehöchstlast,
- territoriale Lage der Abnehmer,
- Wärmedichte und
- Wirtschaftlichkeit.

**Strahlennetze** besitzen die geringste Versorgungszuverlässigkeit, da Schäden zum Ausfall des Systems führen. **Ringnetze und Maschennetze** haben eine hohe Versorgungszuverlässigkeit, erfordern jedoch eine entsprechende Betriebsführung und Steuerung.

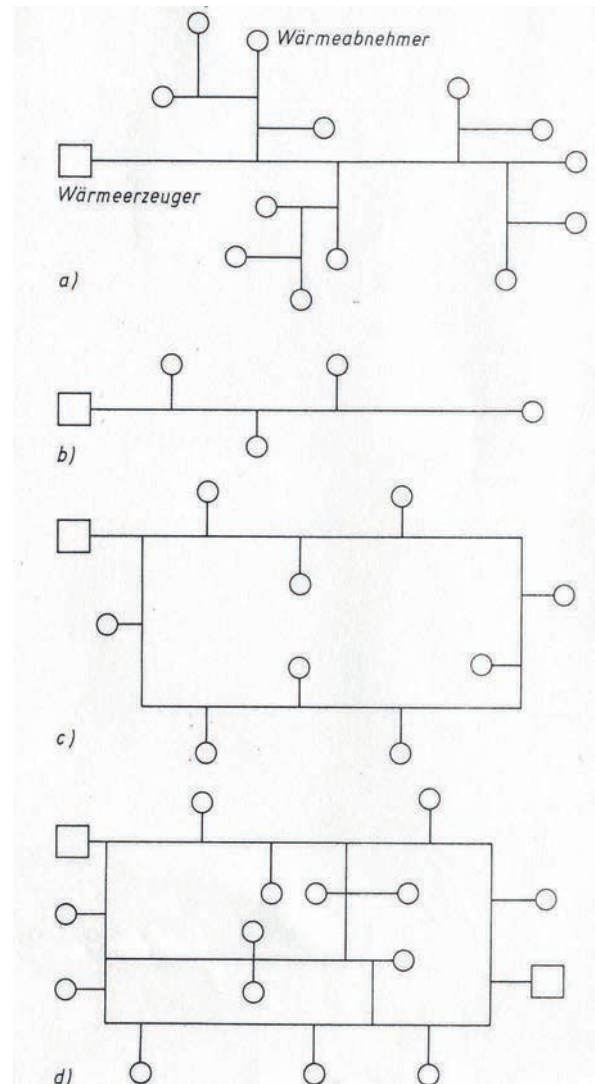


Abb. 8.12: Netzformen a) Strahlennetz b) Verästelungsnetz c) Ringnetz d) Maschennetz (Lindner/Roscher in [Roscher, 1989])

### 8.4.2 Anschlussarten der Abnehmer

#### 8.4.2.1 Wärmeträger Heißwasser

Die Umformung auf die in Gebäuden erforderlichen Parameter erfolgt in Abnehmer- bzw. Hausanschlussstationen, wobei die Umformung auf die im Gebäude erforderlichen Parameter in direkter oder indirekter Einspeisung erfolgen kann.

Unter **direkter Einspeisung** ist zu verstehen, dass das Heißwasser von der Wärmequelle bis zu den Abnehmern (unter Zwischenschaltung von Abnehmerstationen) als Vorlauf und nach der Wärmeabgabe als Rücklauf wieder der Wärmequelle zurückgeführt wird.

Bei der **indirekten Einspeisung** wird das Heißwasser in einem 1. Kreislauf mit möglichst hoher Vorlauftem-

8. Rehabilitation von FernwärmeKanälen und -leitungen

peratur bis zu Abnehmerstationen geführt. In diesen erfolgt der Wärmeübergang auf den 2. Kreislauf mit den für die Verbraucher zulässigen Parametern.

Eine weitere Variante ist z.B. die Rücklaufbeimischung (angewandt in Halle-Neustadt). Die erforderliche Anpassung an die Verbrauchsparameter erfolgt in den Wärmeüberträger- und Mischstationen.

Der Arbeitsdruck wird aufgrund von Systemanalysen festgelegt. Für die optimale Netz- und Pumpenauslegung sind zu berücksichtigen:

- die Arbeitstemperatur,
- die Art der Einspeisung (bei der direkten Einspeisung ist der zulässige Arbeitsdruck der Abnehmeranlage zu beachten),
- die geodätischen Höhenlagen von Wärmequelle und Abnehmern sowie
- die Betriebsweise des Wärmenetzes und weitere Faktoren.

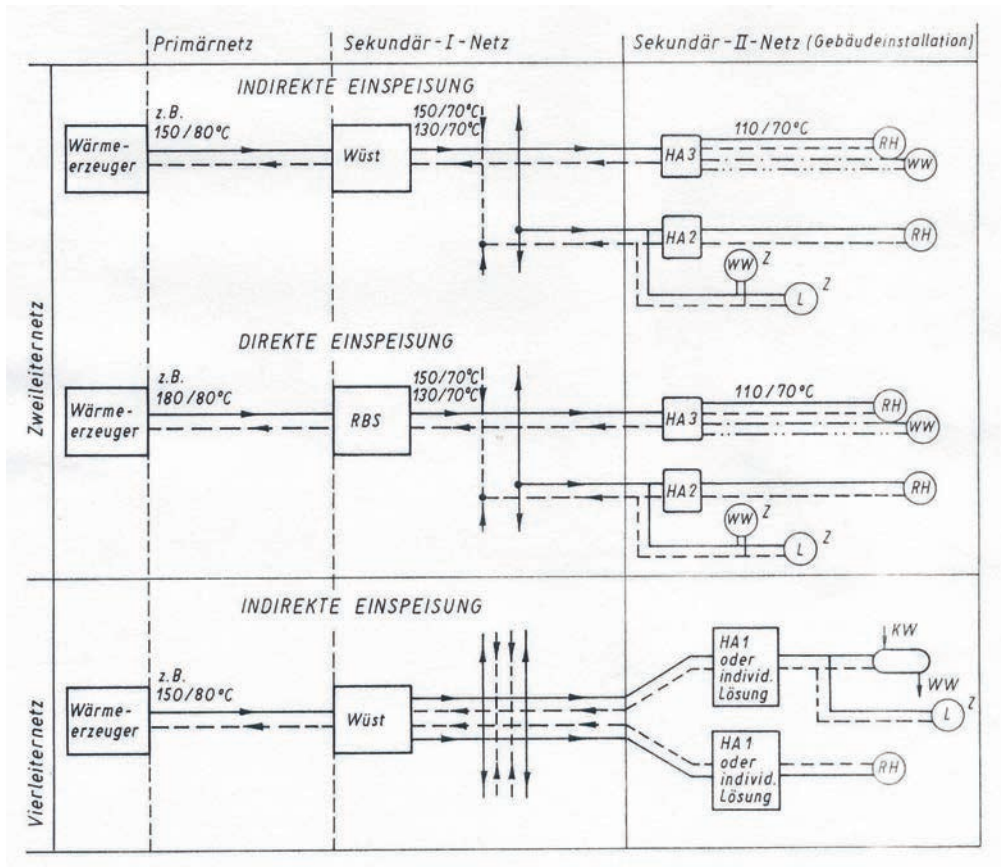


Abb. 8.13: Beispiele für direkte und indirekte Einspeisung (Lindner/Roscher in [Roscher, 1989])

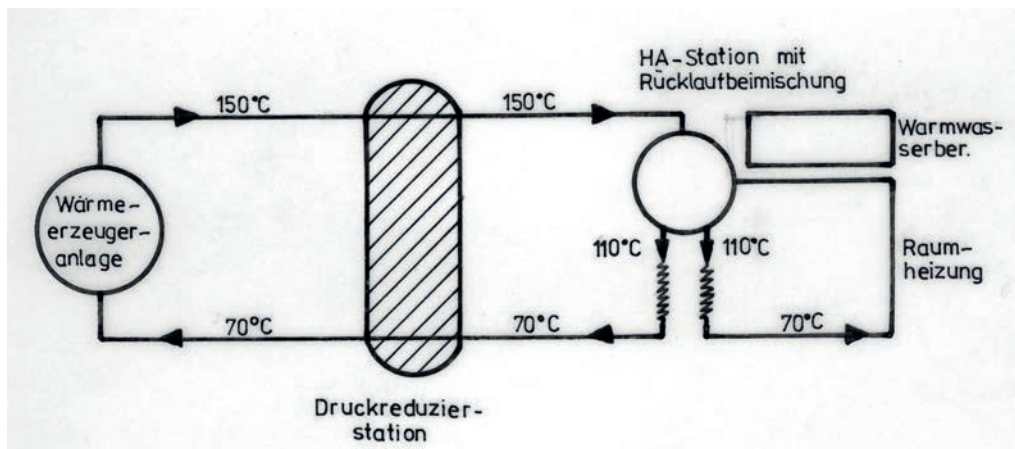


Abb. 8.14: Rücklaufbeimischung [Roscher, 1991]

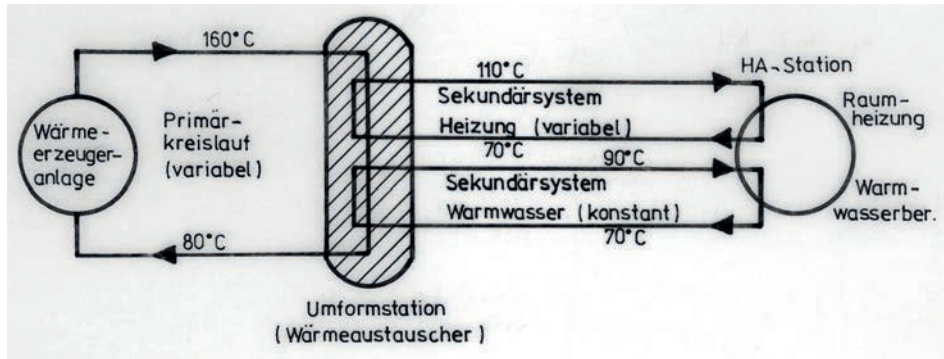


Abb. 8.15: Sekundärkreisläufe getrennt für Raumheizung und Warmwasser [Roscher, 1991]

#### 8.4.2.2 Wärmeträger Dampf

Der Wärmeträger Dampf kann angewendet werden, wenn:

- die Forderungen der Abnehmer an die Parameter des Wärmeträgers mit Heißwasser nicht erfüllt werden können,
- die geodätischen Höhenunterschiede den ökonomischen Einsatz von Heißwasser ausschließen,
- der überwiegende Teil der Wärme für technologische Zwecke verwendet werden soll.

#### 8.4.2.3 Transportsysteme und Verlegeverfahren

Einen wesentlichen Anteil der Gesamtinvestitionen der Fernwärmeversorgung nehmen die Kosten für das Rohrleitungsnetz ein. Deshalb wurde immer wieder nach Möglichkeiten der Kostensenkung gesucht. Das betrifft einerseits den Übergang vom Dampftransport zum Heißwassertransport andererseits die Entwicklung der Verlegeverfahren.

Mit der Einführung des Heißwassertransports versuchte man mit möglichst hohen Vorlauftemperaturen zu den Abnehmern zu gelangen und entwickelte die Systeme der direkten bzw. indirekten Einspeisung sowie der Rücklaufbeimischung (Kap. 8.4.2.1 Wärmeträger Heißwasser).

Bei den Bauweisen verlief die Entwicklung von der Kanalverlegung in Mauerwerks- bzw. Fertigteilbauweisen zu den kanalfreien Verlegearten. Letzter gibt es in mehr als ungezählten Varianten welche sich hinsichtlich der Medienrohre, der Wärmeisolierung und der Mantelrohre unterscheiden.

Der Wärmetransport mit Heißwasser erfolgt in 2-, 3- bzw. 4-Leitersystemen (eine Vor- und eine Rücklaufleitung, 2 Vorlauf- und eine Rücklaufleitung bzw. 2 Vor- und 2 Rücklaufleitungen).

Der Wärmetransport mit Dampfnetzen erfolgt in der Regel in 2- oder 3-Leitersystemen (1 bzw. 2 Vorlaufleitungen und ein Rücklauf = Kondensatleitung).

Die Vorteile der in der Heißwasserfernwärmeversorgung bevorzugten 2-Leiternetze liegen im:

- geringsten Aufwand,
- Einsatz gleicher Durchmesser im Vor- und Rücklauf (bei kanalverlegten Leitungen) und
- Einsatz des Heizmediums vorwiegend für die Raumheizung.

Bei der konstruktiven Gestaltung sind technologische und baukonstruktive Funktionsbedingungen zu erfüllen, wie:

- Transport des Wärmeträgers mit geringen Wärmeverlusten (Parameterauswahl des Wärmeträgers und Isolierungen),
- Rohrauflagerung und Stützkonstruktionen zur Gewährleistung der temperaturbedingten Dehnungsaufnahme,
- Absperrung und Funktionssicherungen (Druckhaltung, Druckstoß) und
- Schutz der Rohrleitung und Isolierungen vor Belastungen bzw. Feuchtigkeit).

Als Verlegeverfahren wurden bzw. werden angewendet:

- Fernwärmekanaln,
- kanalfreie Verlegung,
- Sockel- und Stützenverlegung und
- Sammelkanaln und Kellerverlegung (Leitungsgang und Kellerfreiverlegung).

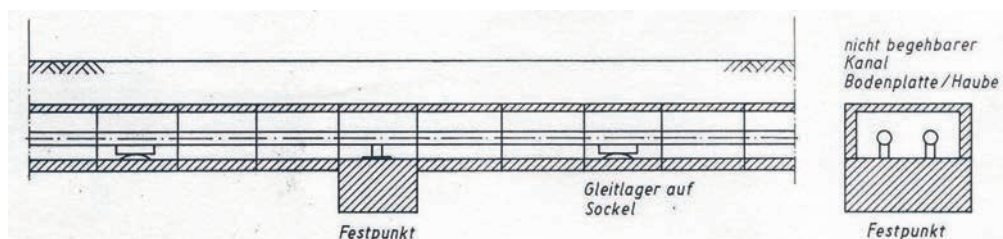


Abb. 8.16: Fernwärmekanal mit Festpunkt und Gleitlager (Lindner/Roscher in [Roscher, 1989])



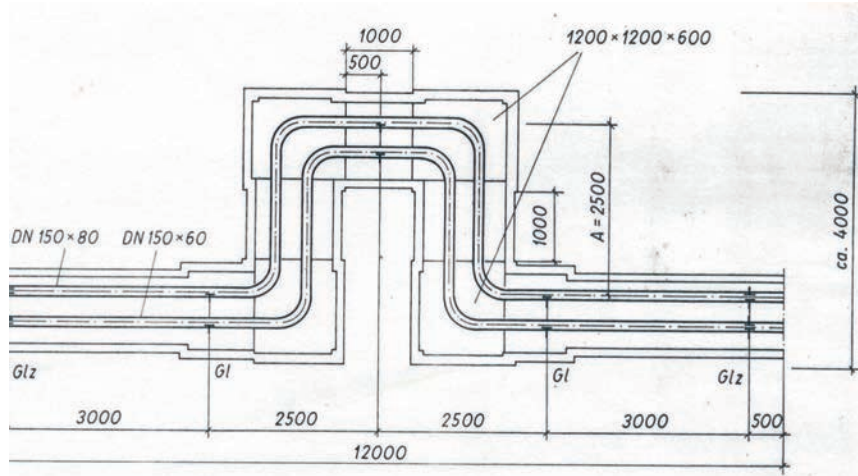


Abb. 8.17: Ausdehnungsbogen (Lindner/Roscher in [Roscher, 1989])

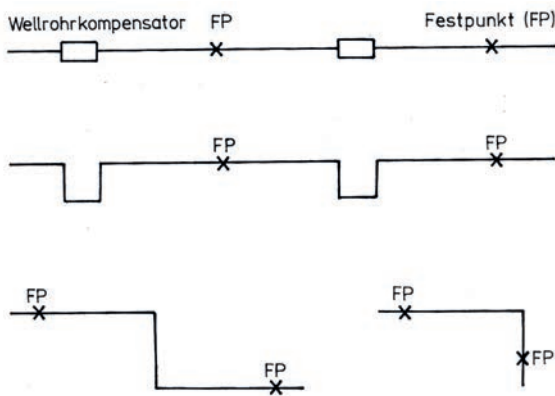


Abb. 8.18: Möglichkeiten der Dehnungsaufnahme (Lindner/Roscher in [Roscher, 1989])

Die Rohrauflagerung in Kanälen erfolgt auf Fest- und Gleitlagern. Die Stützweiten von Auflagern sind abhängig von:

- der Rohrdimension
- der Wärmedämmdicke
- dem Rohrleitungsgefälle und
- der Betriebstemperatur

Die Dehnungsaufnahme kann durch Dehnungsausgleicher (z.B. U-Bogen oder Winkel) bzw. Wellrohrkompensatoren erfolgen.

#### 8.4.2.4 Abzweigstationen

Für Gebäudeanschlüsse sind Abzweigstationen erforderlich.

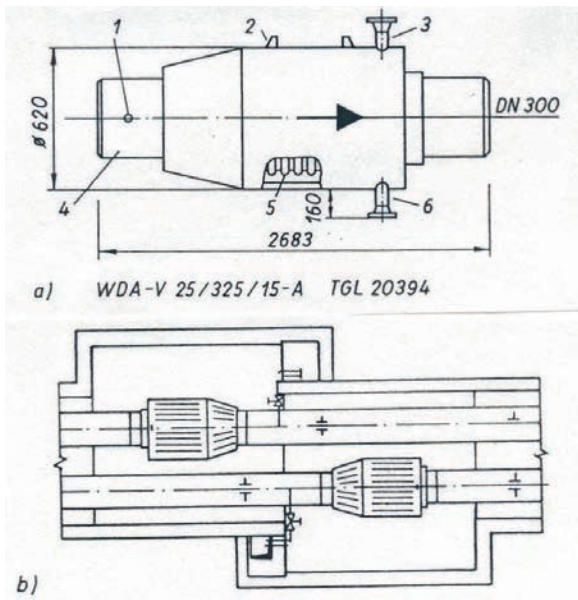


Abb. 8.19: Wellrohrkompensator (Lindner/Roscher in [Roscher, 1989])

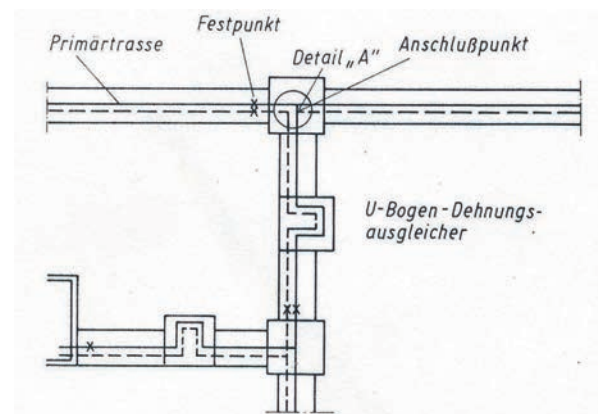


Abb. 8.20: Abzweig mit Gebäudeanschluss

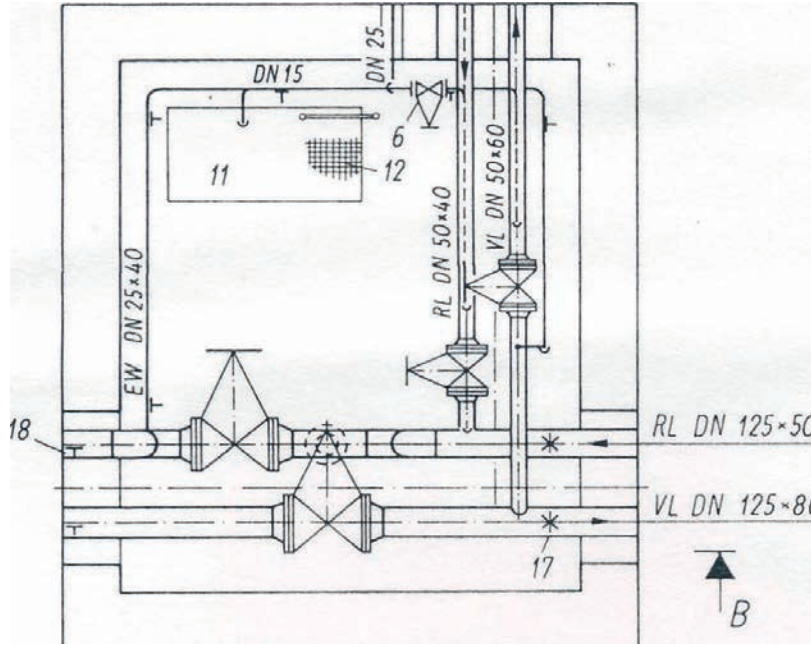


Abb. 8.21: Kontrollbauwerk mit Rohrleitungen

## 8.5 Bauweisen von Fernwärmeleitungen

### 8.5.1 Einteilung der Verlegeverfahren

Fernwärmeleitungen wurden und werden sowohl in Kanalverlegung als auch in kanalfreier Verlegung ausgeführt.

Im unbebauten Gelände sowie in Industrie- und Gewerbegebieten wird aus Kostengründen die Verlegung auf Sockeln und Stützen bevorzugt. Diese Verlegeart ermöglicht auch eine leichte Kontrolle und Reparatur. Der zuletzt genannte Gesichtspunkt ist auch maßgebend für die Verlegung in Sammelkanälen und Leitungsgängen.

Die Sockel- und Stützenverlegung sowie die Verlegung von Fernwärmeleitungen in Sammelkanälen und Leitungsgängen sind besonders rehabilitationsfreundlich.

Die ältesten Fernwärmekanäle waren Mauerwerkskanäle sowie Ortbetonkanäle in unterschiedlicher Ausführung. Fertigteilkanäle wurden nach dem Prinzip Bodenplatten-Haube (klassische Bauweise) und als Bodenplatte-Haube (U-Form) bzw. U-Trog und Abdeckplatte ausgeführt.

Bereits in den 30er Jahren wurden in der damaligen Sowjetunion Fernwärmeleitungen in Sammelkanälen verlegt; in der DDR und anderen osteuropäischen Ländern wurden beginnend mit den 50er Jahren viele Kilometer Sammelkanäle und Leitungsgänge mit Fernwärmeleitungen gebaut.

Bereits sehr früh begann man mit der kanalfreien Verlegung von Fernwärmeleitungen (Schüttssysteme und andere). Mantelrohrsysteme wurden beginnend mit den 50er Jahren in sehr vielen Varianten gebaut.

Die Mantelrohrsysteme können weiterhin unterteilt werden in Verbundsysteme, Gleitsysteme und offene Systeme. Sie wurden mit unterschiedlichen Rohrmat-

rialien, Isolierstoffen und Umhüllungsmaterialien ausgeführt.

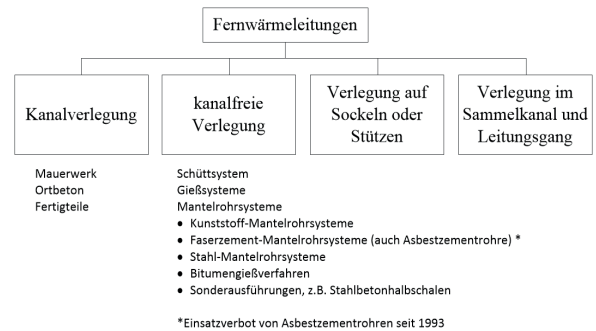


Abb. 8.22: Verlegeverfahren von Fernwärmeleitungen

### 8.5.2 Fernwärmekanäle in Fertigteilbauweise

Fernwärmekanäle wurden nach unterschiedlichen Konstruktionsprinzipien gebaut worden (Ortbeton, Mauerwerk, Fertigteilabdeckplatten bzw. Ortbeton, Fertigteil-Hauben usw., Schächte gemauert bzw. Ortbeton). Abb. 8.23 zeigt die klassische Bauweise mit Bodenplatte-Haube.

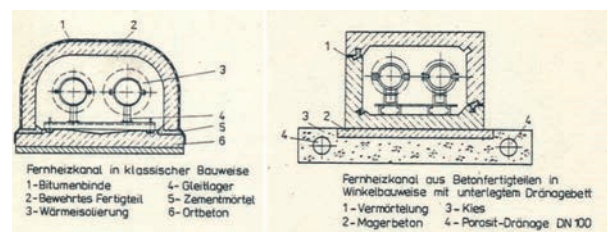


Abb. 8.23: Konstruktionsprinzip klassische Bauweise (links); Betonfertigteile in Winkelbauweise (rechts) [Brachetti, 1985]



8. Rehabilitation von Fernwärmekanaln und -leitungen

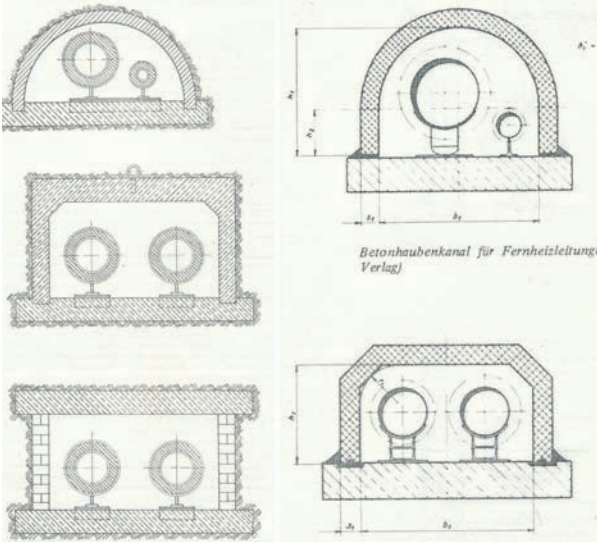


Abb. 8.24: verschiedene Konstruktionsprinzipien [Hakonsson, 1975]

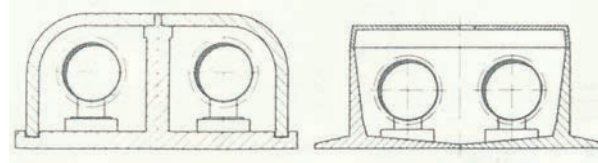


Abb. 8.25: Kanalverlegte Leitungssysteme in Warschau [Hakonsson, 1975]

Weitere Fernwärmekanaln wurden in unterschiedlichen Bauweisen ausgeführt.

Nach 1960 wurden in der DDR Fernwärmeeleitungen überwiegend in Fertigteilbauweise ausgeführt. Als Vorzugslösung kam das Konstruktionsprinzip Bodenplatte-Haube nach Typenkatalog (in Ausnahmefällen auch Trog-Abdeckplatte) zum Einsatz.

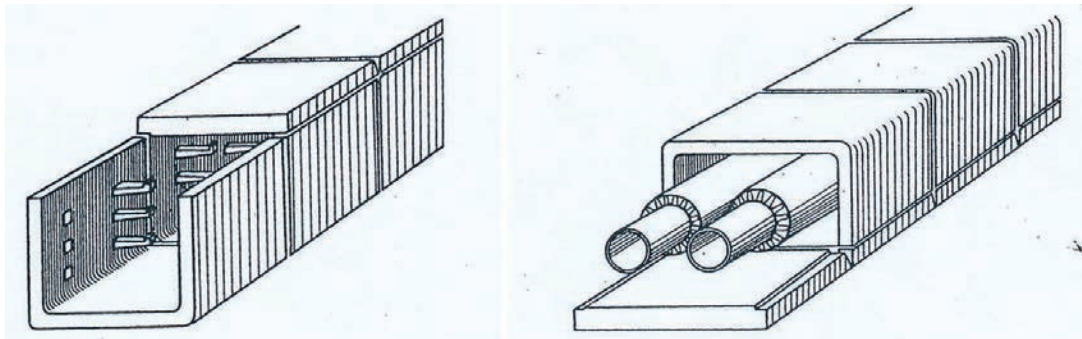


Abb. 8.26: Trog-Abdeckplatte (links); Bodenplatte –Haube (DDR-Typenkatalog) (rechts)

Elemente- beschreibung	Prinzipskizze der Trogelemente (Hauben sind analog ausgebildet)	Haupt- abmessungen $b_1$ [mm]   $h_1$ [mm]	
Elemente mit einseitigen Kontakt- platten		1600	900
		2000	1200
		2400	900
			1200
Elemente mit beidseitigen Wandspiegeln sowie Öff- nungen in Boden bzw. Decke		2000	1200
		2400	1200

Abb. 8.27: Konstruktionsprinzip Trogelemente (DDR-Typenkatalog)



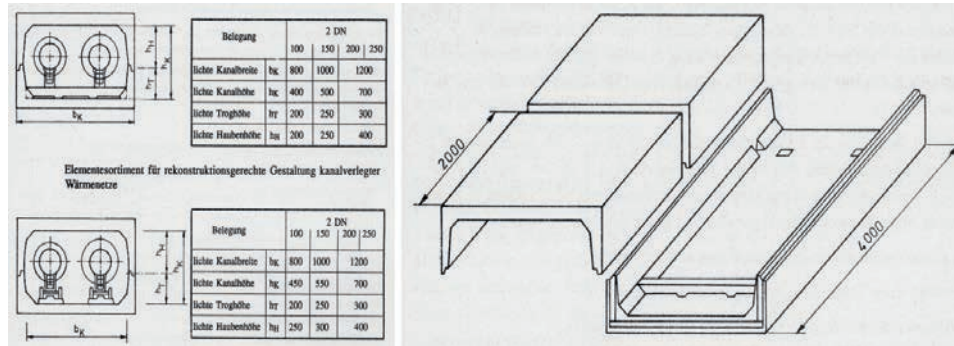


Abb. 8.28: Weiterentwickeltes Kanalsystem - verlängerte Bodenplatte [Winkler et al., 1989]



Abb. 8.29: Fernwärmekanal Bodenplatte – Haube Gebäudeanschlüsse; Eckbauwerk (Wellrohrbögen); Fernwärmekanal Bodenplatte – Haube (Z-Bogen – Richtungsänderung); Eckbauwerk (Segmentbogen); Fernwärmekanal (Ausdehnungsbauwerk Bodenplatte); Fernwärmekanal Bodenplatte – Haube mit Wellrohrkompensatoren

### 8.5.3 Fernwärmeleitungen in Sammelkanälen und Leitungsgängen

Mit dem Bau von **Sammelkanälen/Kollektoren** wurden Fernwärmeleitungen auch in Sammelkanälen und Leitungsgängen verlegt und waren wesentlich für deren Wirtschaftlichkeit.

Durch deren Begehbarkeit kann der Austausch der Fernwärmeleitungen über Schachtbauwerke und den

Bedienungsgänge über große Längen aufgrabefrei erfolgen.

Ebenso wurden Fernwärmeleitungen in Leitungsgängen verlegt und sind wie diese aufgrabefrei zu erneuern. Die Zugänglichkeit der Leitungsgänge ist über Montageöffnungen im Kellerbereich der Gebäude möglich.



8. Rehabilitation von Fernwärmekanaln und -leitungen

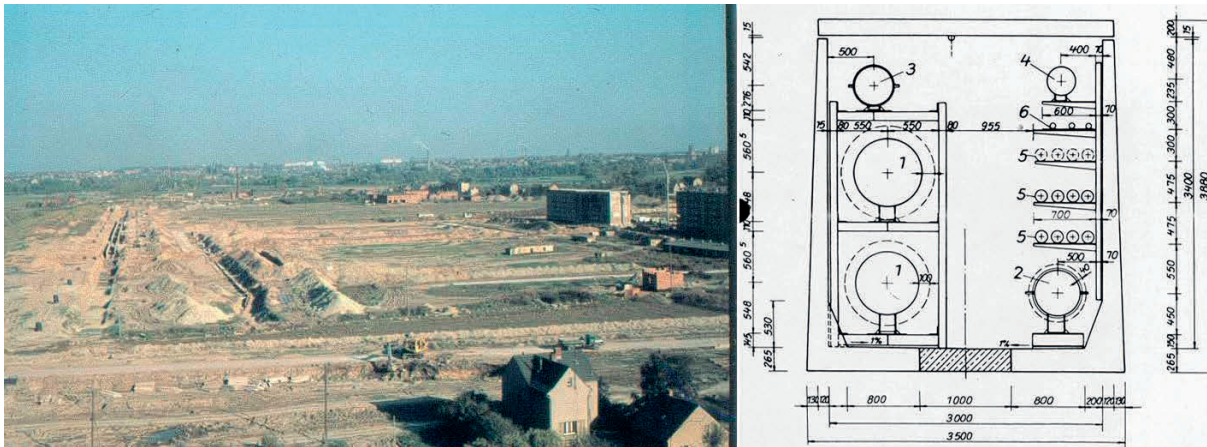


Abb. 8.30: Sammelkanal Magistrale in Halle-Neustadt - Trasse Magistrale und Querschnitt

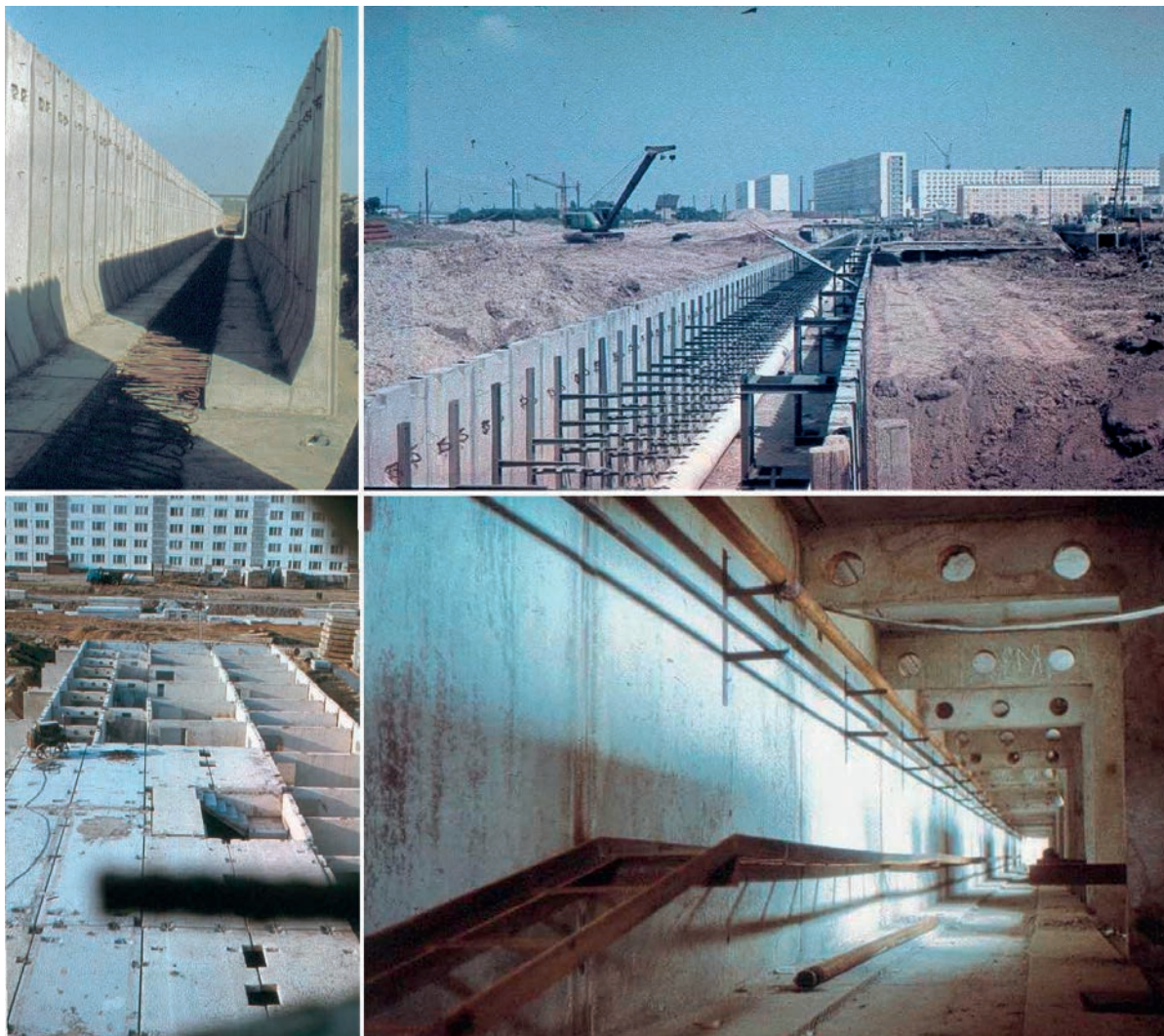


Abb. 8.31: Sammelkanal Halle-Neustadt – Kanalkonstruktion; Sammelkanal im Bau; Gebäude-Leitungsgang – Kellergeschoss, links im Bild Leitungsgang; Gebäude-Leitungsgang – Blick in den Leitungsgang



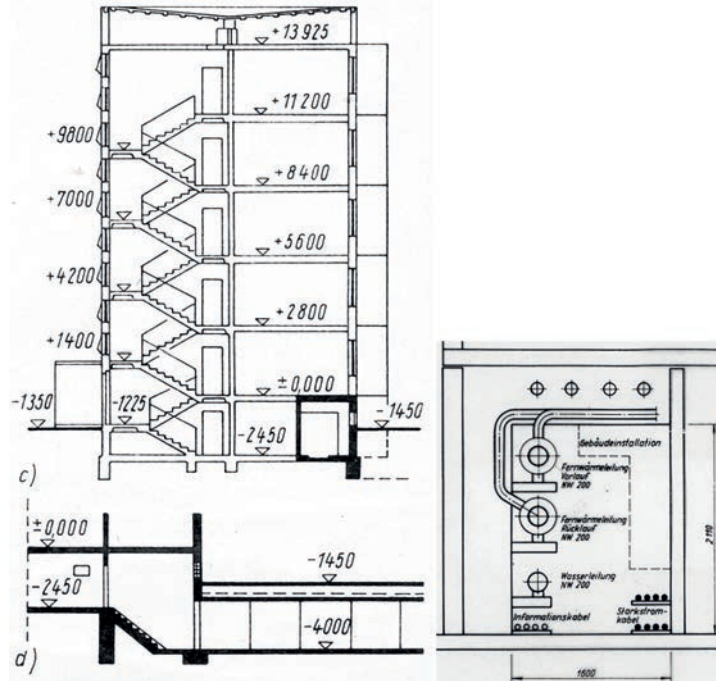


Abb. 8.32: Leitungsgang im Keller von 5-gschossigen Wohngebäuden; Versorgungsleitungen im Leitungsgang

### 8.5.4 Kanalfrei verlegte Fernwärmeleitungen

Parallel zur Kanalverlegung von Fernwärmeleitungen wurden unterschiedliche kanalfreie Verlegeverfahren in der Praxis eingeführt. Es kann unterschieden werden in:

- Schütt-Systeme
- Gieß-Systeme
  - mit Zementbasis oder
  - mit Bitumenbasis
- Mantelrohrsysteme
  - Kunststoff-Mantelrohrsysteme
  - Asbestzement-Mantelrohrsysteme (Einsatzverbot von Asbestzementrohre seit 1993)
  - Stahl-Mantelrohrsysteme
  - Sonderausführungen, z.B. Stahlbetonhalbschalen

Mantelrohrsysteme wurden als Verbundsysteme (Stahl/PUR/KS; KS/PUR/KS; Stahl/WD/Stahl), als Gleitsysteme (Stahl/PUR/KS; Kupfer/Mineral-

wolle/KS) oder als offene Systeme (Einmantelrohr oder Doppelmantelrohr) gebaut.

**Verbundsysteme** sind dadurch charakterisiert, dass Medium- und Mantelrohr mechanisch miteinander verbunden sind. Thermisch bedingte Axialbewegungen führen demzufolge zu einer Gesamtbewegung des Systems im Erdreich. Äußere Lasten werden sowohl auf das Mantelrohr als auch auf das Medienrohr übertragen (siehe dazu *Abb. 8.33 links*).

**Gleitsysteme** weisen als Merkmal auf, dass Medium- und Mantelrohr nicht fest miteinander verbunden sind, wodurch sich bei Axialbewegungen lediglich das Medienrohr bewegt. Dadurch sind zusätzlich Kompensationsmaßnahmen für Medien- und Mantelrohr erforderlich (siehe dazu *Abb. 8.33 rechts*).

**Offene Systeme** ähneln den Gleitsystemen. Die Bilder zeigen ein Doppelmantelrohr und das früher angewandte Asbestmantelrohrsystem.

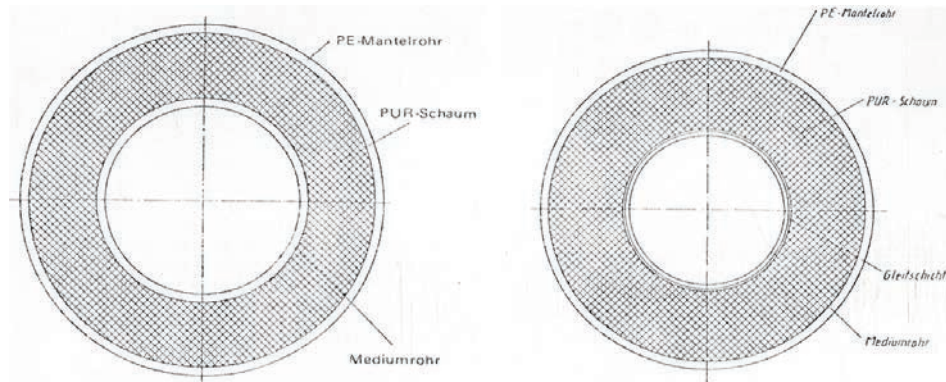


Abb. 8.33: Stahlmantelrohr (Verbundsystem) (links); Stahl-PUR-Kunststoff (Gleitsystem) (rechts) [Gerke-Reineke, 1982]



8. Rehabilitation von Fernwärmeleitungen und -kanälen

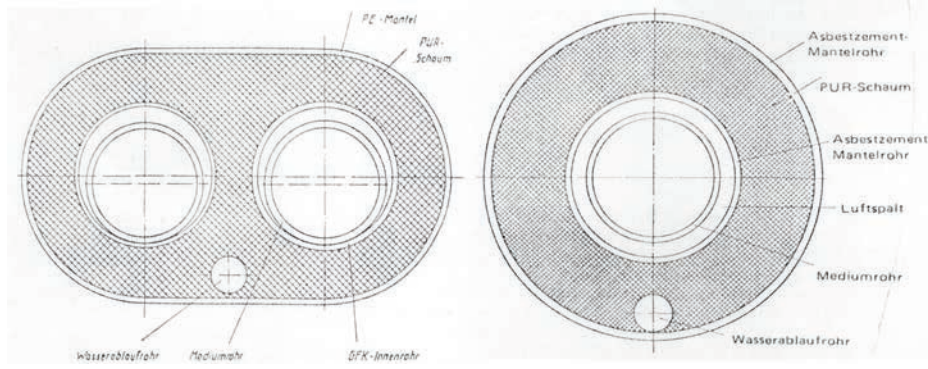


Abb. 8.34: Doppelmantelrohrsystem (links); Asbestmantelrohrsystem (AZ-Verbot seit 1993 – siehe oben) (rechts) [Gerke-Reineke, 1982]

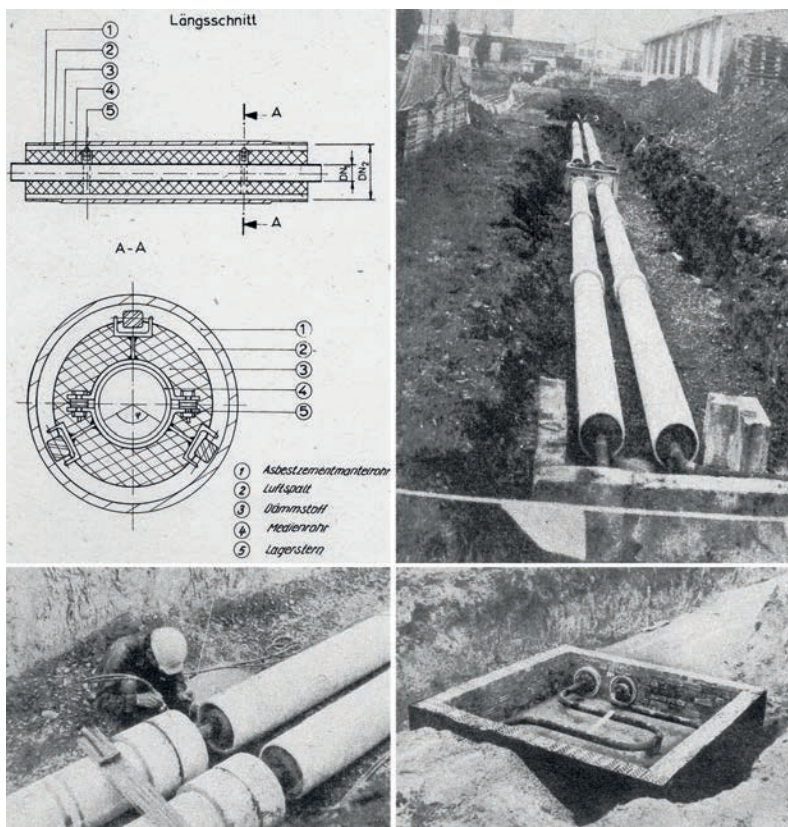


Abb. 8.35: Asbestmantelrohrsystem

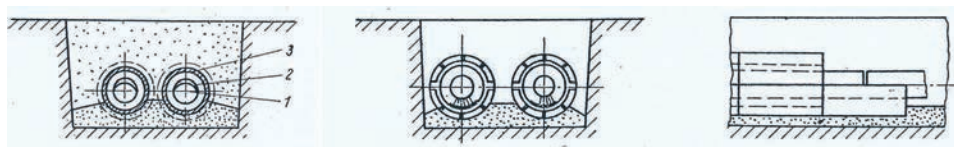


Abb. 8.36: Stahlbeton Halbschalen 1 (verschiedene Autoren)



Anfang der 60er Jahre wurde in der DDR versucht, kanalfreie Verlegeverfahren mit Schüttstoffen auszuführen.

In den 80er Jahren kam als weitere Variante das Framitherm-Verfahren hinzu (zu beachten: seit 1993 Verbot der Produktion von Asbestzementrohrleitungen).

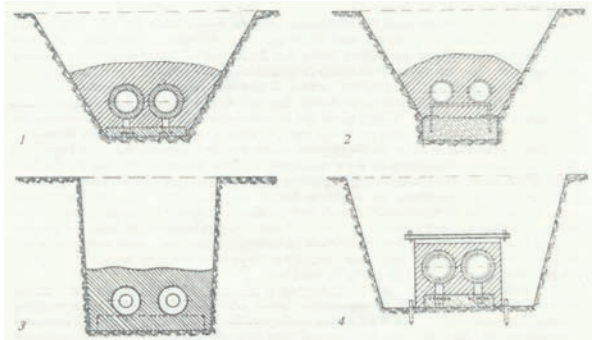


Abb. 8.37: Schüttbauweisen [Hakonsson, 1975]

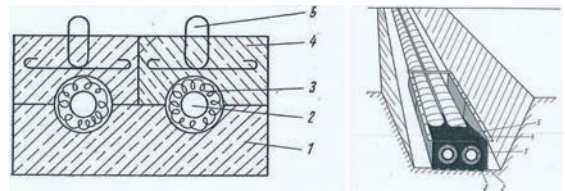


Abb. 8.38: Isothermverfahren (links); Festblockverfahren [Munser und Steinbach, 1994] (rechts)

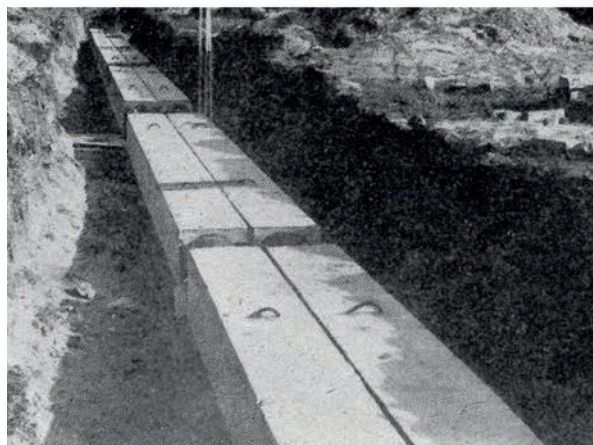
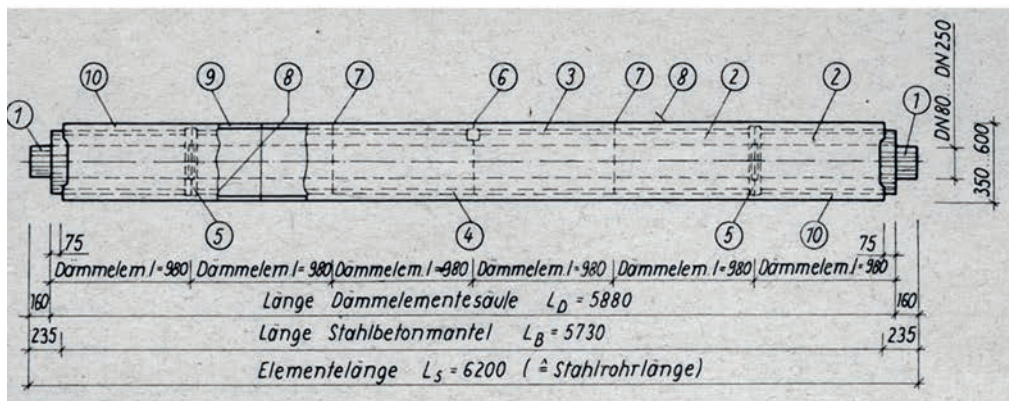
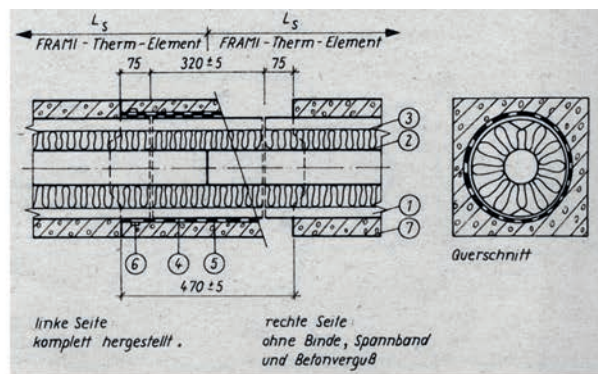
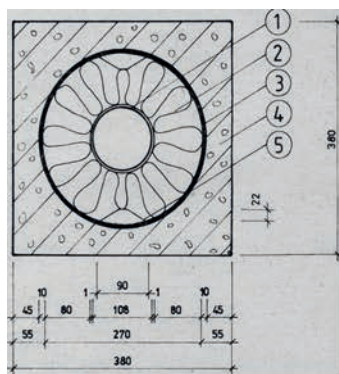


Abb. 8.39: Framitherm-Rohre Verlegung und gemauerte Bauwerke [Fröhlich, 1989], [Wossog, 1989] u.a.



8. Rehabilitation von Fernwärmekanälen und -leitungen



Abb. 8.40: Framitherm-Rohre – Herstellung der Rohrverbindungen [Fröhlich, 1989], [Wossog, 1989], [Roscher, 1989]



Abb. 8.41: Mantelrohrsysteme

Für Hausanschlussleitungen wurden z.B. flexible Lösungsvarianten aus Kunststoff-Mediumrohrsystemen [Führmann, 1989] entwickelt, um den relativ hohen Aufwand für dieselben zu reduzieren.

Die Bilder zeigen einen Abzweig von einer KMR-Hauptleitung bzw. aus einem Haubenkanal.



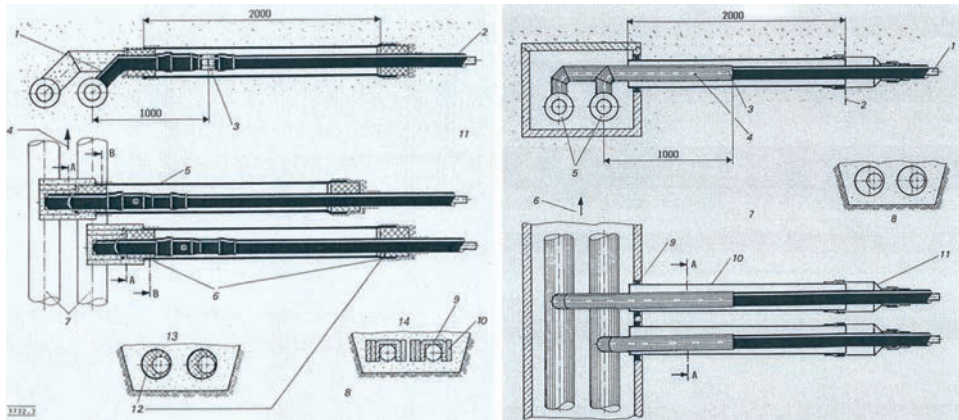


Abb. 8.42: Abzweig aus KMR-Hauptleitung (links); Abzweig aus Haubenkanal (rechts) [Führmann, 1989]

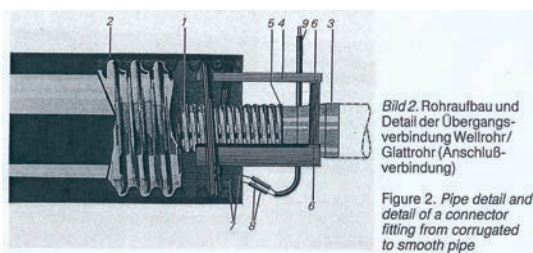


Abb. 8.43: Übergangsverbindung Wellrohr-Glattrrohr [Führmann, 1989]

Da ein wesentlicher Anteil der Gesamtkosten der Fernwärmeversorgung auf das Rohrleitungsnetz entfällt, wurde immer wieder versucht, neue Verfahrensvarianten zu entwickeln, da bei den einzelnen Systemen immer wieder Probleme auftraten.

ten zu entwickeln, da bei den einzelnen Systemen immer wieder Probleme auftraten.

### 8.5.5 Fernwärmeleitungen auf Sockeln und Stützen

Außerhalb bebauter Gebiete wurden Fernwärmeleitungen als:

- Sockelleitungen oder
- Stützenleitungen (nur für Fernwärme oder auch gemeinsam mit anderen Leitungen)

ausgeführt.

Diese Variante war kostengünstig und ermöglicht eine gute Kontrolle und ermöglicht im Schadensfall eine einfache Reparatur

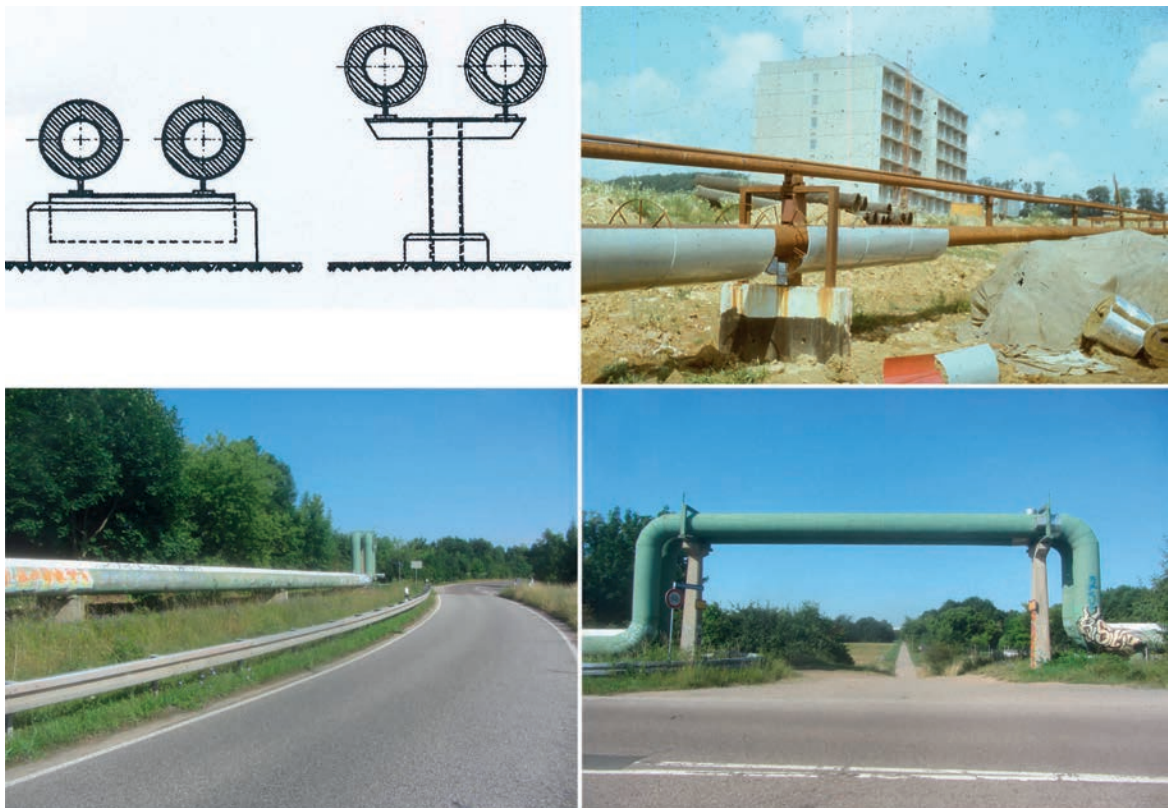


Abb. 8.44: Sockelleitungen [Winkens, 1998], [Roscher, 1969]



Abb. 8.45: Halle-Neustadt - Fernwärmeleitung im Saaleabflussgebiet nach Saalehochwasser 2013



Abb. 8.46: Stützenleitung mit Festpunkt (links) und mit Festpunkt am Ausdehnungsbogen (rechts)



Abb. 8.47: Erfurt Stützenleitung (links); Ausdehnungsbogen (rechts)

## 8.6 Schadensursachen

### 8.6.1 Schäden an Fernwärmekanaln und Fernwärmeleitungen

Als Schäden an Fernwärmekanaln und -leitungen sind zu nennen:

- Schäden an der Kanalkonstruktion,
- Undichtheiten des Kanals (Schäden der Kanalisierung),
- Korrosionsschäden des Medienrohres,
- Schäden an Rohrauflagerungen (Festpunkte und Gleitlager),
- Schäden an der Isolierung und damit im Zusammenhang
- Wärmeverluste und
- Schäden an Ausdehnungskompensatoren (wenn solche anstelle von U-Bögen eingesetzt wurden).

### 8.6.2 Schäden an kanalfrei verlegten Fernwärmeleitungen

Als Schäden an kanalfrei verlegten Fernwärmeleitungen sind zu nennen:

- Konstruktive Schäden (Verbundsystem oder Gleitsystem),
- Schäden am Mantelrohr und daraus folgend,
- Undichtheiten und Durchfeuchtung des Isoliermaterials und damit im Zusammenhang
- Wärmeverluste,
- Korrosionsschäden des Medienrohres und
- Schäden an Ausdehnungskompensatoren (wenn solche anstelle von U-Bögen eingesetzt wurden).



### 8.6.3 Schäden an Sockel- und Stützenleitungen

Als Schäden an Sockel- und Stützenleitungen sind zu nennen:

- Schäden an der Unterstüzungskonstruktion,
- Undichtheiten an der Rohrummantelung,
- Korrosionsschäden des Medienrohres,
- Schäden an Rohrauflagerungen (Festpunkte und Gleitlager),
- Schäden an der Isolierung und damit im Zusammenhang
- Wärmeverluste
- Schäden an Ausdehnungskompensatoren (wenn solche anstelle von U-Bögen eingesetzt wurden).

### 8.6.4 Schäden an Fernwärmeleitungen in Sammelkanälen bzw. Leitungsgängen

Als Schäden an Fernwärmeleitungen in Sammelkanälen bzw. Leitungsgängen sind zu nennen:

- Undichtheiten des Sammelkanals (Schäden der Kanalisolierung),
- Korrosionsschäden des Medienrohres,
- Schäden an Rohrauflagerungen (Festpunkte und Gleitlager),
- Schäden an der Isolierung und damit im Zusammenhang

- Wärmeverluste und
- Schäden an Ausdehnungskompensatoren (wenn solche anstelle von U-Bögen eingesetzt wurden).

### 8.6.5 Schadensuntersuchungen von Fernwärmeleitungen in Kanalstrecken

#### 8.6.5.1 Untersuchung des Kanalzustandes und des Zustandes der Isolierung vom Fernwärmeleitungen mit der Kanalaraupe (Teleraupe)

Während die Kanalkonstruktion bisher in der Regel nur bei Aufgrabungen von Strecken untersucht werden konnte, wurden inzwischen Verfahren zu Kontrolle des Zustandes vom Inneren der Kanalstrecke entwickelt.

Ein solches Inspektionsgerät gestattet die visuelle Erfassung und Dokumentation des baulichen Zustandes von Kanalstrecken. Die Untersuchung umfasst die Untersuchung der:

- Wände und Decken (Abplatzungen und damit freiliegende Bewehrung),
- Fugen hinsichtlich der Dichtheit und
- Sohle (Ablagerungen, Feuchtigkeit).

Weiterhin werden erfasst:

- die Rohrisolierung hinsichtlich der Durchfeuchtung und ggf. Deformation und
- Gleit- und Festlager hinsichtlich der Korrosion.

Das „Befahrungsprotokoll“ kann als DVD gespeichert werden.



Abb. 8.48: Kanalinspektionskamera (links), Schadensbild (rechts)

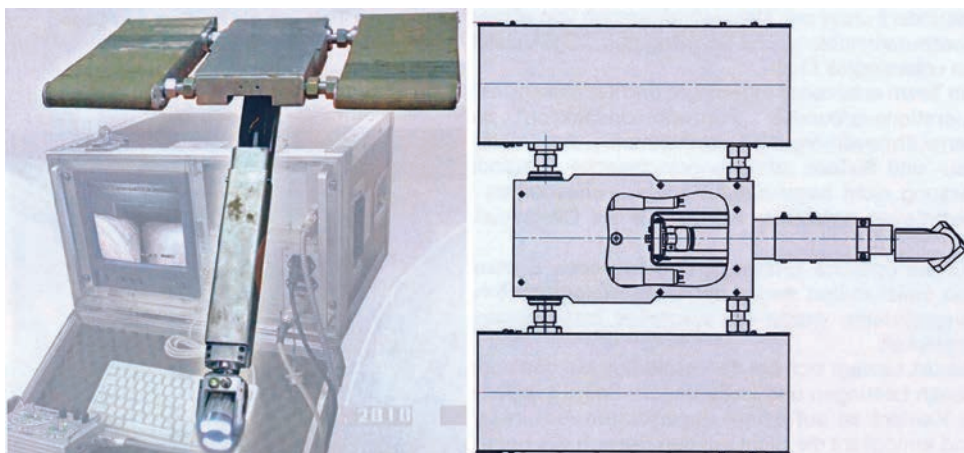


Abb. 8.49: Kamera (links); Konstruktion: Draufsicht und Schwenkarm (rechts)





Abb. 8.50: Einsetzen des Gerätes in einen Schacht und Schadensbilder

Das Gerät bewegt sich bei der Inspektion auf der Rohrisolierung der Leitungen. Mit einer schwenkbaren Kamera und einem absenkbaaren und schwenkbaren Arm ermöglicht es die Sicht in den unteren Bereich des Fernwärmekanalns und die Wandbereiche. Der schwenkbare Arm kann bis zu 70 cm von der Oberkante Rohrisolierung abgesenkt werden.

Das vom Forschungsinstitut Angewandte Bauforschung Weimar entwickelte Gerät zeichnet sich durch ein flache Bauweise aus und erfordert lediglich ein Mindestabstand von 10 cm zwischen Oberkante Rohrisolierung und Unterkante Decke.

### 8.6.5.2 Schadensuntersuchungen mit Hilfe der Thermographie

Ein weiteres besonders wichtiges Feld ist die Bestimmung von Wärmeverlusten. Hierfür wurden bereits in 90er Jahren Verfahren entwickelt, z.B. die:

- Bestimmung des Wärmeverlustes durch die Isolierung [Phetteplace, 1992],
- Infrarot-Thermographie [N.N., 1995].

Das oben beschriebene Verfahren mit der Kanalkamera (Telekamera) ließe sich auch kombinieren mit einer Wärmebildkamera.

Wärmeverluste von Fernwärmeleitungen treten zunächst an der Rohrisolierung und danach bei Erwärmung der Kanalstrecke über den Kanal und das umgebende Erdreich auf.

Von Phetteplace wurde in (Fernwärme international 21 (1992) 3, S. 100-101 [Phetteplace, 1992]) eine Methode zur Bestimmung des Wärmeflusses durch die Isolierung vorgestellt. Dieser wurde unter Verwendung der Formel für den konzentrischen zylindrischen Rohrdurchschnitt berechnet. In die weiteren Berechnungen wurden der thermische Luftwiderstand für den Zwischenraum von Rohrleitung zum Kanal einbezogen und nachfolgend der Wärmeübergang bis zur Erdoberfläche.

Die Abb. 8.51 zeigt die untersuchten Systemvarianten.

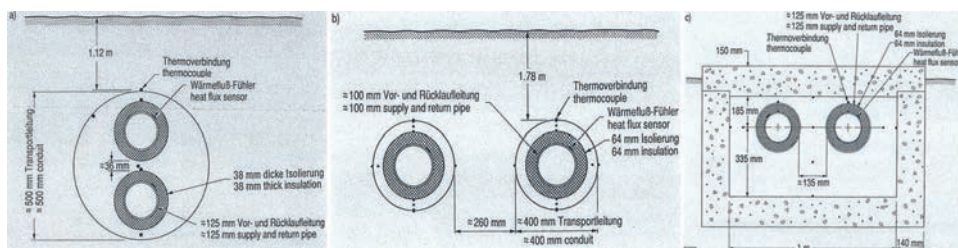


Abb. 8.51: Systemvarianten [Phetteplace, 1992]

In [N.N., 1995] wurde die Anwendung der Infrarot-Thermographie für die Analyse von Wärmeverlusten beschrieben. Dieses von den schwedischen Autoren beschriebene Verfahren hat zum Ziel eine quantitative Aussage der Wärmeverluste zu geben.

Zu dem Verfahren werden Randbedingungen zur Durchführung der Analyse angegeben.

### 8.6.5.3 Leckerkennung in Kanälen

Die Leckerkennung in Kanälen erfordert Methoden, welche es ermöglichen Leckagen zu erkennen ohne eine Kanalstrecke zu öffnen:

- Leckortung durch Korrelationsanalyse [Fuchs et al., 1991]
- Leckortung durch akustische Korrelationsanalyse [Poggemann und Fuchs, 1994]

Von mehreren Autoren werden in [Poggemann und Fuchs, 1994]

- die integrale Methode (Farbstoffzusätze zum Heizwasser, Verlustanalyse in Teilbereichen, Ermittlung des Druckabfalls usw.),
  - die lokalisierende Methode (Temperaturverteilung um die Fernwärmeleitungen, Beobachten des Abschmelzens von Neuschnee, Temperaturmessungen an der Erdoberfläche usw.) und
  - die FFT-Analyse
- angeführt.

Die zuletzt genannte Methode arbeitet mit einer elektro-akustischen Signalverarbeitung bezogen auf eine Messstrecke (in der Regel von Schacht zu Schacht) mit einem sog. FFT-Analysator (Rechner) und liefert Bilder über den Schallverlauf.

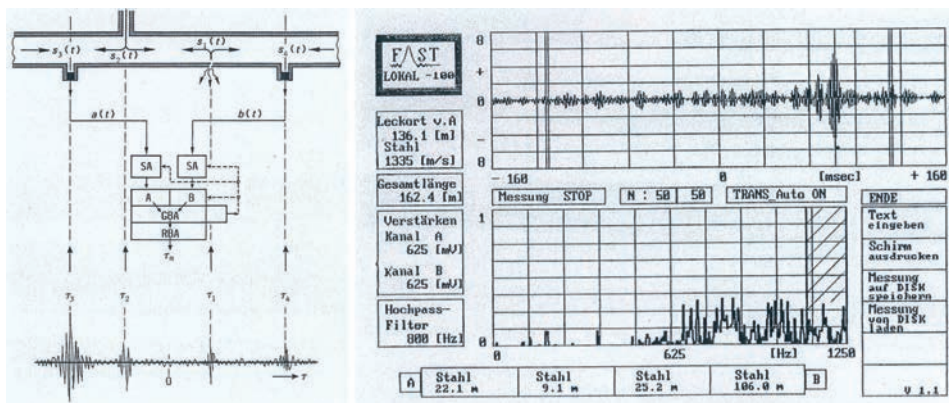


Abb. 8.52: Messstrecke und Ausdruck über den Schallverlauf

### 8.6.6 Schadensuntersuchungen an kanalfrei verlegten von Fernwärmeleitungen

Bereits Anfang der 80er Jahre wurden in der BRD schadensstatistische Untersuchungen (Schadensstatistik „Außenkorrosion an Leitungen“ und „Schäden an Leitungen mit Kunststoffmantelrohr“) durchgeführt. Erfasst wurden zusätzliche Informationen, wie Austausch im gleichen System, Austausch mit anderem System, Vorhandensein von Grundwasser.

### 8.6.7 Schadensuntersuchungen von Fernwärmeleitungen in Sammelkanälen und Leitungsgängen

Die Schadensuntersuchung von Fernwärmeleitungen in Sammelkanälen und Leitungsgängen ist vor allem visuell möglich, lässt sich aber auch kombinieren mit den oben genannten Möglichkeiten der Wärmeverlustbestimmung und der Korrelationsanalyse.

### 8.6.8 Schadensuntersuchungen von Fernwärmeleitungen auf Sockeln und Stützen

Fernwärmeleitungen auf Sockeln und Stützen unterliegen den Witterungseinflüssen und müssen durch Trassenbegehungen beurteilt werden. Leckagen sind durch Wasserverluste zu erkennen. Wärmeverluste müssen durch die o.g. Verfahren bestimmt werden.

### 8.7 Rehabilitationsstrategie (AGFW FW 114 Entwurf auszugsweise)

#### 8.7.1 Begriffe und Definitionen der Rehabilitation

Als Rehabilitation werden die Sanierungs- und Erneuerungsmaßnahmen zur Erhaltung der Funktionsfähigkeit von bestehenden Fernwärmenetzen bezeichnet.

Sie kann notwendig sein, wenn:

- der betroffene Leitungsabschnitt durch einen Schaden ausgefallen und eine Instandsetzung durch Reparatur technisch und wirtschaftlich zu aufwendig ist
- ein bestimmungsgemäßer Betrieb des betreffenden Leitungsabschnittes nicht mehr zuverlässig gewährleistet werden kann
- andere wirtschaftliche, technische, strategische oder rechtliche Gründe für eine Rehabilitation geltend gemacht werden können

Unter **Sanierung** wird die Ertüchtigung eines vorhandenen Instandhaltungsobjekts, d.h. der Ausbau des alten Instandhaltungsobjekts und Ersatz an derselben Stelle (örtlich gleich) oder die weitergehende Nutzung von vorhandenen Netzbestandteilen (Bauwerk, Lagerung etc.).

Als **Erneuerung** wird der Ersatz des vorhandenen, alten Instandhaltungsobjekts, ohne dessen Ausbau, durch



einen Neubau (selbe Funktion) an anderer Stelle (örtlich unterschiedlich) und ohne weitere Nutzung von vorhandenen Netzbestandteilen (Bauwerk, Lagerung etc.).

Die **Verbesserung** ist die Kombination von technischen und administrativen Maßnahmen sowie Maßnahmen des Managements zur Erhaltung oder Verbesserung des Ist-Zustandes (Beispiele: Fernwärme Stationsumbau von direkt nach indirekt; Verwendung neuer Bogenradien zur besseren Durchströmung. Anpassung an die zu erwartende hydraulische Situation).

Tab. 8.1: Begriffe und Definitionen

Begriffe	Definitionen
Schaden	ist die Beendigung der Fähigkeit eines Betriebsmittels, eine geforderte Funktion zu erfüllen.
Fremdschaden	Schaden, der beispielsweise durch Bauarbeiten in der Nähe von Leitungen infolge Unachtsamkeit und Nichtbeachtung vorhandener Anlagen durch Dritte verursacht wird.
Systemschaden	Schaden der systematisch einem Verlegesystem zuzuordnen ist
Leitungsabschnitt	ist der kleinste Abschnitt eines Fernwärmenetzes mit gleichen bestandsbeschreibenden Attributen (Nennweite, Werkstoff, Baujahr usw.)
Leitungsgruppe (Gruppe)	ist die gruppenweise Zusammenfassung einzelner Leitungsabschnitte hinsichtlich einzelner oder mehrerer gleichartiger Merkmale und Verhaltensweisen der Leitungsabschnitte. (hier annähernd gleiche Nutzungsdauer)
Verlegesystem	bezeichnet den Aufbau der Fernwärmerohrleitung (KMR, SMR, Kanal, Gieß- und Schüttssysteme, Frei- und Gebäudeverlegung).
Funktionsfähigkeit	ist die Eigenschaft eine nachhaltige betriebssichere und zuverlässige Verteilung von Wärme in ausreichender Menge mit erforderlicher Temperatur und Druck dem Kunden zur Verfügung zu stellen.
Instandhaltung	sind alle planmäßigen und außerplanmäßige Maßnahmen zur Bewahrung und Wiederherstellung der Funktionsfähigkeit sowie zur Feststellung und Beurteilung des Istzustandes sowie zur Bewahrung und Wiederherstellung des Soll-Zustandes
Wartung	sind alle Maßnahmen zur Bewahrung der Funktionsfähigkeit
Inspektion	sind alle Maßnahmen im Rahmen der Überprüfung des Netzes bzw. der Netzelemente die dazu dienen, den Ist-Zustand festzustellen und zu beurteilen
Instandsetzung	sind alle Maßnahmen zur Wiederherstellung des Soll-Zustandes

Die **Technische Nutzungsdauer** ist die Nutzungsdauer eines Bauteils aus versorgungs-, sicherheits- und oder bautechnischen Gründen von der Inbetriebnahme bis zum Zeitpunkt des Versagens. Sie liegt in der Regel deutlich über der wirtschaftlichen Nutzungsdauer.

Als **wirtschaftliche Nutzungsdauer** wird der Zeitraum des rentabilitäts- und liquiditätsoptimalen Einsatzes eines aktivierungspflichtigen Wirtschaftsgutes in einem Unternehmen einschließlich der Risikobewertung bezeichnet.

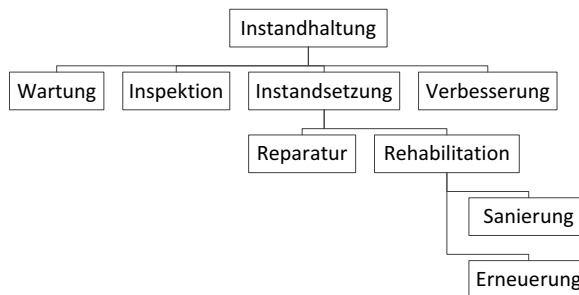


Abb. 8.53: Einteilung der Instandhaltungsmaßnahmen

### 8.7.2 Abschätzung der technischen Nutzungsdauer

Die Bestimmung der technischen Nutzungsdauer ist die Basis für die Festlegung einer Instandhaltungsstrategie. Für die Bestimmung der technischen Nutzungsdauer ist es erforderlich, die Schäden am jeweiligen Verlegesystem, am Bauwerk oder der Armatur zu dokumentieren und zu bewerten.

Im Fall von Verlegesystemen mit verschiedenen Schwachpunkten (z.B. Kanalverlegung: Rohrunterstützung und Kanalbauwerk) sind mehrere Nutzungsdauerkurven gemeinsam zu betrachten, um die gesamte/systemspezifische technische Nutzungsdauer oder den Verlauf mit der kürzesten Nutzungsdauer zu bestimmen.

Aus Erfahrungswerten von Fernwärmeversorgungsunternehmen können für erste Abschätzungen die technischen Nutzungsdauern übernommen werden. Es kann dabei von einer Verteilungsfunktion (z.B. Gaußsche Normalverteilung) ausgegangen werden. Bei Nutzung dieser Abschätzungen für das eigene Unternehmen ist zu beachten, dass bei allen Abschätzungen die eigenen örtlichen Bedingungen zusätzlich zu beachten sind.

#### Gruppeneinteilung als Grundlage von Kurven für die technische Nutzungsdauer

Eine Aussage über eine unterschiedliche technische Nutzungsdauer eines Versorgungsnetzes erfordert eine Untergliederung des Netzes in unterschiedliche Betrachtungseinheiten. Diese sollten eine annähernd gleiche technische Nutzungsdauererwartung aufweisen.

Hauptparameter sind die Verlegesysteme. Zur Differenzierung können u.a. zusätzlich weitere, nachfolgende Parameter herangezogen werden:

- Nenndurchmesser und Betriebsweise (gleichend/konstant),
- Verlegezeitraum (Baujahrguppen),
- Wärmeträgermedium (Dampf, Heißwasser), Wasserqualität und Betriebstemperatur,
- Material Mediumrohr, Material Wärmedämmung, Material Mantelrohr,
- Muffen und sonstige Verbindungen,
- Bodenart, Geologie und Grundwasserspiegel,
- Herstellerspezifische Unterscheidungsmerkmale und
- sonstige unternehmensspezifische Merkmale.



Mit diesen Parametern können Gruppen mit annähernd gleicher Nutzungsdauererwartung gebildet werden. Daraus ergibt sich eine gruppenspezifische Kurve der technischen Nutzungsdauer. Diese Parameter sind für die Gruppenbildung nur dann von Bedeutung, wenn sie zu unterschiedlichen technischen Nutzungsdauern führen.

Zusätzlich sind die gebildeten Gruppen sollten mit Zustands- und Schadensdaten zu überprüfen und anzupassen. Die Bewertung des Zustandes eines Leitungsabschnittes erfolgt durch Inspektion in festzulegenden Zyklen oder durch gezielte Untersuchungen nach Bedarf (siehe AGFW FW 435, und AGFW FW 401 Überwachungssysteme für Kunststoffmantelrohre).

Mit fortschreitendem Alter verschlechtert sich der Zustand einer Gruppe. Durch das laufende Erfassen des Zustandes ergibt sich ein Alterungsverlauf dieser Gruppe.

Ebenso sind die Schadensdaten zu überprüfen und zwischen System-/Alterungsschaden und Fremdschaden zu unterscheiden. Zur Überprüfung der Kurven der technischen Nutzungsdauer mit Schadensdaten ist eine Schadenstatistik mit mindestens folgenden Informationen notwendig:

- Verlegesystem,
- Art des Schadens (System-/Alterungsschaden oder Fremdschaden),
- Jahr des Schadens,
- Baujahr des schadhaften Leitungsabschnittes,
- Verlegelänge im Baujahr und
- Schadensbauteil.

### 8.7.3 Grundstrategien der Instandhaltung

Eine unternehmensspezifische Instandhaltungsstrategie hat neben der Verkehrssicherungspflicht beispielsweise das Ziel:

- einen betriebssicheren Netzzustand,
- eine reduzierte Schadensrate oder
- ein bestimmtes Instandhaltungsbudget

zu erreichen.

Die Grundstrategien sind zu unterscheiden in Maßnahmen zur Beseitigung oder Vorbeugung des Schadens, woraus sich nachfolgende Instandhaltungsstrategien ergeben.

#### 8.7.3.1 Ereignisorientierte Instandhaltung

Bei der ereignisorientierten Instandhaltung ergibt sich ein Schaden an einem Bauteil, da eine Inspektion dort aus technischen Gründen nicht möglich oder strategisch nicht sinnvoll ist. Folglich wird eine Reparatur erst nach Eintreten des Schadens vorgenommen (reaktiv).

#### 8.7.3.2 Zeitorientierte Instandhaltung

Bei der zeitorientierten, auch vorbeugenden, Instandhaltung werden die Instandhaltungsmaßnahmen zu zeitlich geplanten Terminen durchgeführt. Äußere Einflüsse auf das Instandhaltungsobjekt (z.B. Fremdschaden) haben keinen Einfluss auf die Terminintervalle.

#### 8.7.3.3 Zustandsorientierte Instandhaltung

Die zustandsorientierte Instandhaltung betrachtet den aktuellen Zustand des Instandhaltungsobjekts. Die vorab zeitlich geplanten Instandhaltungsmaßnahmen können somit durch Zeitintervall und Intensität an den aktuellen Zustand der Leitung angepasst werden.

Da bei einer Fernwärmerohrleitung keine permanente Zustandsmessung durch Sensoren möglich oder üblich ist, fließen Inspektionsergebnisse in die Planung der nächsten Instandhaltungsmaßnahme mit ein.

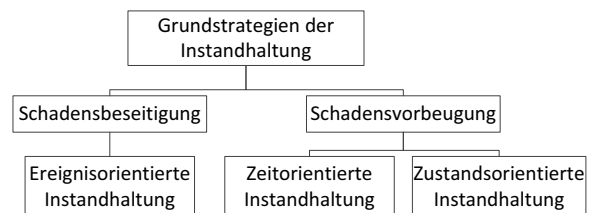


Abb. 8.54: Grundstrategien der Instandhaltung

#### 8.7.3.4 Risikoorientierte Instandhaltung

Durch die risikoorientierte Instandhaltung wird versucht, die Vorteile der Grundstrategien zu kombinieren. Die Auswahl der Grundstrategien für das jeweilige Instandhaltungsobjekt erfolgt unter Betrachtung des jeweiligen Risikos. Bewertungsfaktoren sind die Abschätzung von Zustand und Wichtigkeit des Instandhaltungsobjektes.

Für diese Form der Instandhaltung ist zusätzlich eine Risikobewertung notwendig. Das Risiko wird als Produkt von Eintrittswahrscheinlichkeit eines Schadens und dessen Auswirkungen gesehen.

$$\text{Risiko} = \text{Auswirkungen} \times \text{Eintrittswahrscheinlichkeit} \quad (8.1)$$

Die unterschiedlichen Auswirkungen oder Folgen eines Schadens werden in Form der Bewertung der Wichtigkeit eines Instandhaltungsobjekts erfasst. Somit gilt je höher die Wichtigkeit, desto weitreichender sind die negativen Auswirkungen eines Schadens an diesem Instandhaltungsobjekt auf den laufenden Betrieb.

Eintrittswahrscheinlichkeit (bedingt durch die Zustandsänderung):

Die Eintrittswahrscheinlichkeit eines Schadens ist eng mit dem aktuellen Zustand, bzw. der Zustandsverschlechterung eines Instandhaltungsobjektes verknüpft. Vereinfacht kann somit der Zustand, bzw. die Zustandsverschlechterung als Risiko-Indikator verwendet werden. Somit gilt: Je schlechter der Zustand eines Instandhaltungsobjektes, desto früher ist mit Schaden und damit verbundenen Ausfällen zu rechnen.

#### 8.7.4 Ermittlung des Erneuerungsbedarfs

Die Ermittlung des Erneuerungsbedarfs kann über die:

- Ermittlung des Erneuerungsbedarfs über technische Nutzungsdauer oder
- Ermittlung des Erneuerungsbedarfs über eine Nutzungsdauerverteilung

erfolgen (siehe dazu [Barske, 1962]).

Als Rehabilitation werden Sanierungs- und Erneuerungsmaßnahmen zur Erhaltung der Funktionsfähigkeit der bestehenden Fernwärmenetze bezeichnet, welche erforderlich sind wenn Leitungsabschnitte durch Schäden ausgefallen sind und die Instandsetzung durch Reparatur technisch und wirtschaftlich zu aufwendig ist.

Die Erfassung von Schäden sollte erfolgen nach:

- Verlegesystem,
- Art des Schadens (System-/Alterungsschaden oder Fremdschaden),
- Jahr des Schadens,
- Baujahr des schadhaften Leitungsabschnittes,
- Verlegelänge im Baujahr und
- Schadensbauteil.

Instandhaltungsstrategien werden unterschieden in:

- ereignisorientierte Instandhaltung,
- zeitorientierte Instandhaltung,
- zustandsorientierte Instandhaltung (Eintrittswahrscheinlichkeit bedingt durch die Zustandsänderung).

Die Bewertung des Zustandes kann nach Tab. 8.2 erfolgen.

Tab. 8.2: Beispiel für eine Bewertung der Inspektionsergebnisse

Beschreibung	Bewertungs- note
keine Mängel, Funktion voll gewährleistet (keine Änderung des Inspektionsintervalls)	1
Keine Mängel, Funktion voll gewährleistet (keine Änderung des Inspektionsintervalls)	2
Mängel/Schaden wurden festgestellt, Versagen des Bauteils wird in den nächsten Jahren erwartet Inspektionsintervall muss verkürzt werden	3
Mangel/Schaden wurden festgestellt, Versagen des Bauteils wird im nächsten Jahren erwartet (Inspektionen müssen auf den Zustand abgestimmt werden zustandsabhängig)	4
Bauteil ohne Funktion, Instandsetzung ist einzuleiten	5

## 8.8 Instandsetzung und Rehabilitationsmaßnahmen von Fernwärmeleitungen

### 8.8.1 Betriebsstörungen und Schäden

Der Austritt von Medien (Dampf oder Wasser) weist auf Schäden am Fernwärmesystem hin und gefährdet die Betriebssicherheit. Kleinere Schäden werden bei der Kontrolle sowie bei der Inspektions- und Wartungstätigkeit entdeckt. Über ihre Beseitigung muss durch eine Instandsetzungsstrategie entschieden werden.

Große Schäden durch Medienaustritt erfordern Sicherungsmaßnahmen und die Notversorgung. Sie werden in der Druckhaltung erkannt. Da die Wassereinspeisung begrenzt ist, sind entsprechende Sofortmaßnahmen erforderlich.

Die Leckagen (und Wasserverluste) sind zu orten. Sie sind abhängig vom Verlegeverfahren. Für Kanalsystem kann die Teleraupe eingesetzt werden, für Kunststoffrohr-Mantelsysteme die Thermographie und die Korrelationstechnik. Für Freileitungen (Sockel- und Stützenleitungen) und Leitungen in Gebäuden und Sammelkanalstrecken sind Schäden bei Begehungen erkennbar.

### 8.8.2 Abschätzung der technischen Nutzungsdauer

Die erreichbare Nutzungsdauer von Fernwärmesystemen ist abhängig vom eingesetzten Verlegeverfahren und weist nach dem AGFW Entwurf 114 eine große Streubreite auf, wie die nachfolgende Übersicht zeigt.

Tab. 8.3: abgeschätzte technische Nutzungsdauer von ausgewählten Verlegesystemen

Kunststoffmantelrohr	36 - 70 Jahre (Mittelwert 51 Jahre)
Stahlmantelrohr	30 - 81 Jahre (Mittelwert 47 Jahre)
Kanal	48 - 81 Jahre (Mittelwert 68 Jahre)
Freileitung	50 - 81 Jahre (Mittelwert 62 Jahre)
Gebäudeleitung	50 - 100 Jahre (Mittelwert 77 Jahre)

### 8.8.3 Rehabilitationsmaßnahmen von kanalverlegten Strecken

Die Rehabilitationsmaßnahmen von kanalverlegten Strecken können erfolgen:

- unter Beibehaltung der vorgegebenen Trassenlage oder
- unter Aufgabe bisheriger Kanalstrecken und Wahl einer neuen Leitungstrasse (Aufgabe bisheriger Kanalstrecken und Wahl einer neuen Leitungstrasse).

Die letztgenannte Variante ist dann in Betracht zu ziehen, wenn bisher kanalverlegte Trassen verlagert werden können (z.B. in Gebäudekeller) oder die bisherige Trasse durch Flächennutzungsänderungen (z.B. durch Fahrbahnverbreiterung) aufgegeben werden müssen.

Die Rehabilitationsmaßnahmen sind entsprechend der örtlichen Bedingungen festzulegen. Sie können erfolgen durch:

- Instandsetzungen des Mauerwerks,
- Ortbetonarbeiten und Verlegung von Fertigteilen (z.T. als Ersatz z.B. nach dem Prinzip Bodenplatte-Haube),
- Entfernung der alten Fernwärmeleitung aus den kanalverlegten Strecken und Einbau neuer Leitungen als isolierte Leitungen oder von kanallosen Leitungen mit Verdämmung der Hohlräume und
- Einbau von kanallosen Fernwärmeleitungen in die alte bauliche Hülle aus Mauerwerk und Verdämmung derselben.

Die Rehabilitationsmaßnahmen umfassen den Ausbau der alten Rohrstrecken und die Neuverlegung in kanalloser Bauweise mit derzeitigen Technologien bzw. die in Abb. 8.55 dargestellte Strangvorschubtechnologie.

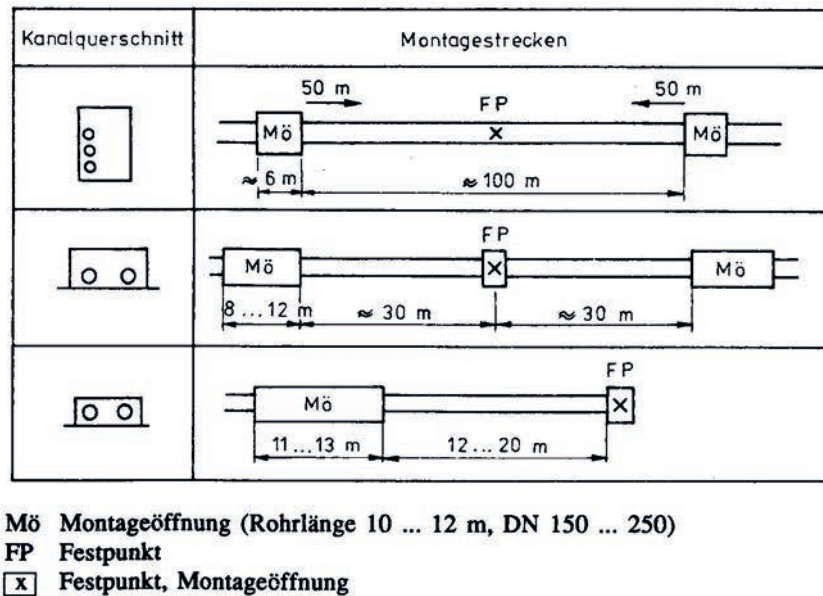


Abb. 8.55: Strangvorschubtechnologie für kanalverlegte Strecken und Sammelkanäle



Abb. 8.56: Fernwärmeleitungen – Rekonstruktionsmaßnahme in der Innenstadt von Leipzig (Bilder Roscher in den 80er Jahren)

#### 8.8.4 Rehabilitationsmaßnahmen von kanalfrei verlegten Strecken

Da die Anzahl der in der Vergangenheit eingesetzten Verlegeverfahren sehr groß ist, sind deshalb auch sehr unterschiedliche Möglichkeiten der Rehabilitation in Betracht zu ziehen, wie:

- Austausch von Teilstrecken bzw.
- Ersatz des gesamten Systems durch ein bewährtes System.

#### 8.8.5 Rehabilitationsmaßnahmen von Fernwärmeleitungen in Sammelkanälen und Leitungsgängen

In begehbaren Kanalstrecken (Sammelkanälen) kann unter Nutzung der Montageöffnungen die von der ehemaligen Bauakademie der DDR entwickelte Strangvorschubtechnologie angewendet werden (siehe *Abb. 8.55*) Dieses Verfahren ist bei nicht begehbaren Kanälen mit dem geringen Freiraumprofil zwischen Dämmung und baulicher Hülle nur in begrenztem Umfang möglich. Die Länge der aufgrabefrei zu rekonstruierenden Abschnitte wird bestimmt durch die Festpunktabstände.



Nach vorliegenden Erfahrungen ist bei Leitungen  $DN < 250$  die aufgrabefreie Rekonstruktion von 20 bis 30 m Leitungslänge möglich. Die Länge kann sich durch die Lage der Leitungen, Kanalbauwerke und Montagegruben noch reduzieren.

### Danksagung

Von der AGFW (Herrn Dr. Weidlich) wurde freundlicherweise zur Verfügung gestellt:

AGFW FW 4FW 114 Instandhaltungsstrategien und Rehabilitationsplanung, Mindestanforderungen Verlags- und Wirtschaftsgesellschaft der Elektrizitätswerke m.b.H – VWEW 1993

Vom IAB – Institut für Angewandte Bauforschung Weimar gGmbH Dienstleistung FernwärmeKanalinspektion wurden freundlicherweise die Bilder zur Kanalinspektion zur Verfügung gestellt

## 8.9 Begriffsbestimmung Sammelkanäle

Unter den Begriffen Leitungstunnel, Versorgungstunnel und Galerie wurden in Städten Europas und Nordamerikas begehbare Kanäle für Versorgungsleitungen in verschiedenster Form gebaut. Der Name Kollektor wurde in der UdSSR verwendet. Für die Erschließung von Gewerbegebieten sowie in der jüngeren Fachliteratur wurde auch die Bezeichnung Infrastrukturkanal verwendet.

### Sammelkanäle und Leitungsgänge in Wohn- und Gewerbegebieten in der DDR

In der früheren DDR war der Begriff Sammelkanal gebräuchlich. Die Bezeichnung Leitungsgang wurde für

vom Kellergeschoss abgetrennte Räume, in denen Versorgungsleitungen verlegt wurden, eingeführt.

### Vorteile von Sammelkanälen

Zu den wesentlichen Vorteilen der Sammelkanäle zählt die Möglichkeit, Rohrleitungen oder Kabel auszutauschen ohne Straßen, Plätze oder andere Flächen aufzubrechen. Hierfür sind an geeigneten Stellen Einstiegs- oder Materialschächte anzuordnen.

Beim Austausch von Rohrleitungen können Leitungen gleichen Durchmessers bzw. kleineren Durchmessers, bei verfügbarem Raum auch größere eingebaut werden.

### Sammelkanäle und grabenlose Bauweisen im Vergleich

Durch die Entwicklung von grabenlosen Bauverfahren für das Einbringen von Rohrleitungen oder Kabeln wiegt der o.g. Vorteil nicht mehr so schwer.

### Beispiele für die Rehabilitation von Rohrleitungen in Sammelkanäle

Nachfolgend werden zwei Beispiele für den Austausch von Rohrleitung in Paris und Frankfurt/Oder beschrieben, bei welchen Rohrleitungen Duktus Rohrsysteme Wetzlar GmbH eingebaut wurden.

#### 8.9.1 Einbau neuer Gussrohre unter dem Champs-Elysees in Paris [Planel, 2014]

In Paris befand sich eine zu groß dimensionierte Gussrohrleitung in einem Stollen (in Frankreich gebräuchliche Bezeichnung für Sammelkanäle) unter der Avenue Franklin Roosevelt, dem Kreisverkehrsplatz Champs-Elysees und der Avenue Champs-Elysees.



Rückbau der alten Leitung



Begutachtung der neuen Leitung



Verlegearbeiten



Benolt Planet an einem Serviceschacht

Abb. 8.57: Einbau neuer Gussrohre unter dem Champs-Elysees in Paris [Planel, 2014]

Die 840 m lange Rohrleitung war für einen Anschluss an der Paris Maillot im Pariser Westen gebaut worden. Diese Leitung hatte nach hydraulischen Untersuchungen durch Eau de Paris eine zu geringe Fließgeschwindigkeit, so dass lediglich ein kleinerer Durchmesser (DN 300) erforderlich war.

Insgesamt waren 140 Rohre sowie entsprechende Formstücke erforderlich. Für deren Einbau war aufgrund der 6 m langen neuen Duktulgussrohre allerdings ein neuer Schacht mit 7 m Länge erforderlich. Die Leitung wurde auf Stützen oder Konsolen gelagert.

Der Rückbau der alten Leitung konnte erst nach Inbetriebnahme der neuen Leitung durchgeführt werden

Der Einbau der Rohrleitungen erforderte Absprachen mit den zuständigen Behörden, um die notwendigen Flächen auszuweisen. Diese Aufgabe war aufgrund der Nähe zur deutschen Botschaft, zahlreicher Luxusboutiquen und der vielen Touristen keine leichte Aufgabe. Außerdem musste die Trinkwasserversorgung wichtiger Anschlussnehmer während der Bauzeit gewährleistet werden.

Lediglich 14 Wochen standen der Verlegfirma SOVAL und dem betreuenden Vertriebsmanager von Duktus Wetzlar GmbH zur Verfügung.

### 8.9.2 Erneuerung einer Trinkwasserleitung DN 300 in einem Sammelkanal [Schneider und Rau, 2010]

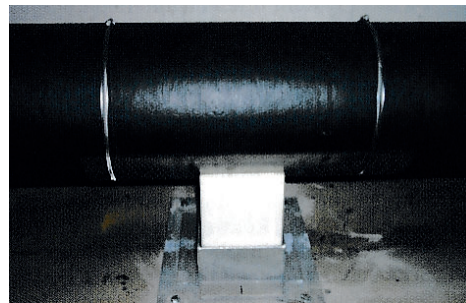
Im Berliner Stadtbezirk Lichtenberg war eine in den 70er Jahren des 20. Jahrhunderts in einem Sammelkanal verlegte Stahlrohrleitung DN 300 auf einer Länge von 800 m zu erneuern.

Der Sammelkanal besitzt einen Querschnitt von 2,2 m Breite und 2,7 m Höhe (Regelabmessungen der Typenreihe).

Der Zustand der vorhandenen Stahlrohrleitung machte eine Auswechslung der Rohrleitung erforderlich. Die Werkstoffauswahl musste unter dem Gesichtspunkt der Sicherheit erfolgen, um mögliche spätere Schäden an der Rohrleitung und Folgen für andere Leitungssysteme auszuschließen.



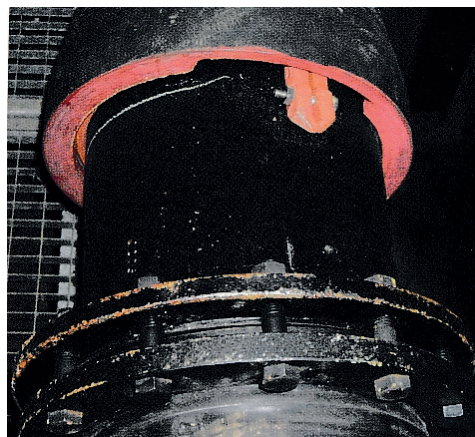
Zustand der alten Leitungen



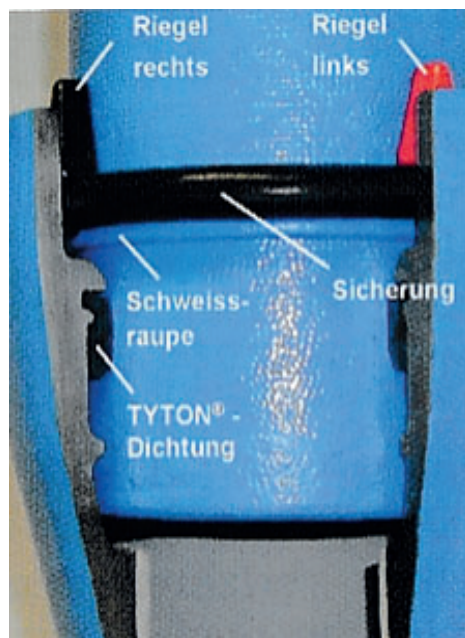
Auflagerkonstruktion



Unterirdischer Trassenverlauf



BLS-Klemmung an einem F-Stück



Aufbau der BLS-Steckmuffenverbindung

Abb. 8.58: Erneuerung einer Trinkwasserleitung DN 300 in einem Sammelkanal [Schneider und Rau, 2010]



Die Auswahl der in Frage kommenden Rohrwerkstoffe Stahl, Duktiguss und PE-HD erfolgte unter folgenden Kriterien:

1. zur Vermeidung unzulässiger Durchbiegung war ein Auflagerabstand von maximal 2 m vorzusehen
2. wegen der möglichen Temperaturspreizung von 20 K und der daraus folgenden Längenänderungen mussten mehrere Kompensatoren einzubauen
3. aufgrund der verfügbaren Platzverhältnisse, wäre ein erhöhter Aufwand bei Schweißarbeiten bei Stahlrohrleitung bzw. dem Heizelementestumpfschweißen bei PE-HD-Rohrmaterial erforderlich
4. für Schweißarbeiten bei Stahlrohrleitungen waren Auskühlzeiten zu berücksichtigen und Zeiten für den Aufbau, den Transport und Wiederaufbau der Schweißgeräte
5. bei PE-Rohrmaterial können Beschädigungen durch spätere Arbeiten an anderen Leitungssystemen nicht ausgeschlossen werden.

Bei Rohren aus Stahl ist zu berücksichtigen, dass aufgrund der Größe der Montageöffnungen nur 6 m lange Rohre eingebaut werden können, eine große Anzahl von Verschweißungen unter beengten Platzverhältnissen auszuführen wären.

Außerdem wäre die Stromheranführung erforderlich und eine ordnungsgemäße Be- und Entlüftung während der Schweißarbeiten zu gewährleisten.

Bei Duktigussrohren war die gesamte Leitung längskraftschlüssig auszuführen. Die längskraftschlüssigen Verbindungen müssen nach ihrer Montage in Längsrichtung vorgereckt und in ihrer Lage gesichert werden.

Gewählt wurden Duktigussrohre nach DIN 545 mit Zementmörtelauskleidung, äußerer Verzinkung und Deckbeschichtung in längskraftschlüssiger Ausführung mit dem BLS-System.

Die Rohre mit der Baulänge von 6 m konnten in den vorhandenen Montageöffnungen abgesenkt werden. Die Montage der zugfesten Steckmuffenverbindungen war mit eigenem Personal möglich.

Für die Auflagerung der Rohre auf dem Boden des Sammelkanals erforderte nur ein Auflager je Rohr. Nach der Demontage der alten Leitungen und der Reinigung des Sammelkanals, konnten die neuen Auflager mit Auflagersätteln aus Kunststoff eingebaut werden.

Die Rohre wurden in den Montageschächten abgesenkt und auf Rohrwagen an den Montageort verfahren (Anm.: Verfasser: Nach den Richtlinien der Bauakademie der DDR, Institut für Ingenieur- und Tiefbau Leipzig muss der Bedienungsgang mindestens 0,70 m bzw. größter Rohrdurchmesser + 0,2 m betragen),

Die Auflager erhielten ein Stahlblech zur Auflagerung, um eine Längsverschiebung der Rohre bei Temperaturänderungen zu ermöglichen und die Rohraußenwand vor Beschädigungen zu schützen.

Zur Aufnahme von Längenänderungen durch Temperaturschwankungen wurden 5 Dehnungsstopfbuchsen eingebaut.

Abschließend erfolgte vor der Inbetriebnahme die Desinfektion und Druckprüfung der Rohrleitung,

Die hohe Einbaugeschwindigkeit und die leichte Montage überzeugte die Mannschaft vor Ort und den Betreiber des Leitungssystems.

### 8.9.3 Neue Duktigussrohrleitungen im Sammelkanal Frankfurt/Oder [Rau, 2014]

In Frankfurt/Oder waren in einem Wohngebiet Stahlrohrleitungen für die Trinkwasserversorgung verlegt worden.

Dieses Rohrmaterial war in der DDR das gängige Rohrmaterial für Trinkwasserleitungen in Sammelkanälen, wobei die Fachleute die Korrosionsgefährdung dieser Leitung durchaus kannten und mit dem Ersatz dieser Leitung nach einer bestimmten Zeit zu rechnen war.

An den Trinkwasserleitungen bildet sich trotz der Lagerung der Leitung im unteren Bereich wurden durch des Sammelkanals Schwitzwasser und fördert die Korrosionsgefahr.

Die Duktigussrohrleitungen wurden mit BLS-Kuppungen untereinander verbunden. Verlegt wurden durch die Firma ESO-Bau GmbH aus Beeskow zwei Rohrleitungen der Nennweiten 80 und 100 im ersten Bauabschnitt und 60 m DN 200 und 54 m DN 150.

Betreut wurde das Vorhaben durch Herrn Rau von Duktus Wetzlar GmbH.



Abb. 8.59: Neue Leitungen im Sammelkanal [Rau, 2014]





Abb. 8.60: Sammelkanal Frankfurt/Oder [Rau, 2014]

#### 8.9.4 Betoninstandsetzung und Dichtungsarbeiten in Sammelkanälen [Breternitz GmbH, o.J.]

Nach einer Betriebszeit von 50 Jahren sind aus unterschiedlichen Gründen (Setzungen, Undichtigkeiten an Fugen der Fertigteilkonstruktion und an Anschlussleitungen usw.) Betoninstandsetzungsarbeiten und Dichtungsarbeiten erforderlich.

Durch das Bauunternehmen Breternitz GmbH mit Sitz in Ranis/Thüringen derartigen Arbeiten in Sammelkanälen in Jena-Lobeda und Suhl durchgeführt worden.

Mit dem verfügbaren Maschinenpark wurden die Oberflächenreinigung, die abdichtende Injektion von Fugen, Rissen und Hohlräumen in Mauerwerk und Beton mit dauerhaften Wasserkontakt, weiterhin die abdichtende

und verklebende Injektion von Kontaktflächen zwischen Kunststoffdichtungsbahnen und Beton mit dauerhaftem Wasserkontakt sowie die nachträgliche Außenabdichtung von Bauteilen sowie die nachträgliche Abdichtung durch Horizontalsperre ggf. Vertikalsperre gegen aufsteigende Feuchtigkeit im Mauerwerk durchgeführt.

Ausgeführt wurden die Arbeiten mit unterschiedlichem Materialien wie weich-elastisch abdichtendes Injektionsharz, faserverstärktem Betonersatz sowie Feinmörtel zum Egalisieren von Betonflächen.

Untergrundbehandlung, Verarbeitung des Materials und die Nachbehandlung sind Merkblättern des Unternehmens aufgeführt (MC-Injekt GL-95-95 TX, Natufill KM 110 und 250)



Abb. 8.61: Sammelkanal Suhl: Instandsetzung der Kanalstrecke durch Abstemmen von hohlliegenden und losen Bestandteilen der Betonteile sowie Wiederherstellen des Bestandes durch Reprofilierung der Schadstellen mit Kunststoff modifizierten Zementmörtel (PCC); Sammelkanal Jena: Abdichtende Verpressung mit PU-Injektionsharz [Breternitz GmbH, o.J.]



## Literaturverzeichnis

- [AbwAG, 2010] Abwasserabgabengesetz (AbwAG). Gesetz über Abgaben für das Einleiten von Abwasser in Gewässer. Bundesgesetzblatt I 1976, S. 2721, Fassung vom 18. Januar 2005, zuletzt durch Artikel 1 des Gesetzes vom 11. August 2010 (BGBl. I S. 1163) geändert. August 2010.
- [ATV, 1995] Abwassertechnische Vereinigung e.V. (ATV). Bau und Betrieb der Kanalisation. Bd. II von Lehr- und Handbuch der Abwassertechnik. Verlag Ernst & Sohn. Berlin, München. 4. Auflage. 1995.
- [ATV, 1996] Abwassertechnische Vereinigung e.V. (ATV). ATV-Merkblatt ATV-M 101: Planung von Entwässerungsanlagen - Neubau-, Sanierungs- und Erneuerungsmaßnahmen. Gesellschaft zur Förderung der Abwassertechnik (GFA) e.V.. Mai 1996. ISBN 3-927729-32-9.
- [ATV, 1998] Abwassertechnische Vereinigung e.V. (ATV). ATV-Merkblatt ATV-M 143-6: Inspektion, Instandsetzung, Sanierung und Erneuerung von Abwasserkanälen und -leitungen; Teil 6: Dichtheitsprüfung bestehender, erdüberschütteter Abwasserleitungen und -kanäle und Schächte mit Wasser, Luftüber- und Unterdruck. Juni 1998. ISBN 3-927729-77-9.
- [ATV, 2008] Abwassertechnische Vereinigung e.V. (ATV). ATV-DVWK-Arbeitsblatt ATV-DVWK-A 127: Statische Berechnung von Abwasserkanälen und -leitungen. 3. korrigierte Auflage, ISBN 978-3-933707-37-6. April 2008.
- [AGFW, 2013] AGFW E.V. Instandhaltungsstrategien und Rehabilitationsplanung, Mindestanforderungen. 2013.
- [Ahrens, 1985] J. AHRENS. Rekonstruktionsbedarf für das Wasserversorgungsnetz der DDR. Forschungsbericht. Institut für Wasserwirtschaft Berlin. 1985.
- [Ahrens, 2000] J. AHRENS. Vorschlag einer optimalen Rehabilitationsstrategie für die Berliner Wasserbetriebe. Forschungsbericht. 2000.
- [Ahrens, 2008] J. AHRENS. Rehabilitation von Rohrleitungen - Sanierung und Erneuerung von Ver- und Entsorgungsnetzen. Weiterbildendes Studium Wasser und Umwelt. 2008. Kapitel 3 - Sanierung und Erneuerung von Wasserrohrnetzen.
- [Allerge et al., 2000] H. ALLEGRE, W. HIRNER, J. M. BAPTISTA und R. PARENA. Performance Indicators for Water Supply Services. The Inland Waterways Association (IWA). London Region. 2000.
- [Arnold, 1943] G. ARNOLD. Städtischer Tiefbau. Dr. Max Jänicke Verlagsbuchhandlung. Leipzig. 1943.
- [Bärreis, 2013] J. BÄRREIS. Grabenlose Sanierung von Druckrohrleitungen mithilfe des RS Blue-Line-Verfahrens. 3R Fachzeitschrift für sichere und effiziente Rohrleitungssysteme. 2013 (4/5). Seiten 96–99. 2013. ISSN: 2191-9798.
- [Barske, 1962] A. BARSKE. Heizkanalsolehnen in Montagebauweise. Bauzeitung. 19/20. Seite 538 ff. 1962.
- [Bärthel, 1975a] H. BÄRTHEL. Die Brauchbarkeitsdauer von unterirdischen Leitungen in bestehenden städtischen Systemen - Teil I. Bauzeitung. Nr. 12. Seiten 668 – 671. 1975.
- [Bärthel, 1975b] H. BÄRTHEL. Die Brauchbarkeitsdauer von unterirdischen Leitungen in bestehenden städtischen Systemen. Bauzeitung. Seiten 668–671. Dezember 1975.
- [Bärthel, 1975c] H. BÄRTHEL. Zur Wertung der tiefbaulichen Substanz bei Aufgaben der städtebaulichen Umgestaltung. Bauzeitung. Seiten 610–614. November 1975.
- [Bärthel, 1976] H. BÄRTHEL. Die Brauchbarkeitsdauer von unterirdischen Leitungen in bestehenden städtischen Systemen - Teil II. Bauzeitung. Nr. 1. Seiten 48 – 51. 1976.
- [Bärthel, 1992] H. BÄRTHEL. Beiträge zur Entstehung der Kanalisation in Berlin. Wasserwirtschaft Wassertechnik (WWT). 1 (Heft 4 und Heft 5). Seiten 186–190 und 232–235. 1992.
- [Baur und Herz, 2004] R. BAUR und R. HERZ. Einsatz von Zustandsbewertungsprogrammen für Gas- und Wasserversorgungsnetze. Technical report. KANEW. Beitrag zu einem Forschungsvorhaben an der FH Erfurt im Auftrag des DVGW. 2004.
- [Bayer, 2004] H. BAYER. Offene Bauweise und grabenlose Bauweise. 3 R international. 43 (1). Seiten 21–25. 2004.
- [Bayer AG, o.J.] Bayer AG. Baytec RT - Das Hochreaktive Polyurethan-Spritzsystem. Firmeninformation der Bayer AG, Leverkusen.



- [Beck, 2013] M. BECK. Netzbewertung zum anlagenübergreifenden Asset-Management. bbr Leitungsbau, Brunnenbau, Geothermie. 64 (9). Seiten 38–43. 2013.
- [Benkendorf, 1975] J. BENKENDORF. Erfahrungen bei der Anwendung der Bitumen-Latex-Zweikomponenten-Spritzverfahren am Sammelkanal. Bauplanung-Bautechnik. 29 (Heft 9). Seiten 440 – 443. 1975.
- [Bennerscheidt, 2007] C. BENNERSCHEIDT. Betriebs- und Sanierungsmaßnahmen bei Wurzelschäden in öffentlichen und privaten Abwasserleitungen und -kanälen - Inspektionen. IKT - Institut für Unterirdische Infrastruktur; in Kooperation mit dem Lehrstuhl für Spezielle Botanik der Ruhr-Universität Bochum und der Gemeinde Raesfeld im Auftrag des Umweltministeriums NRW (MUNLV). Juli 2007.
- [Bennerscheidt et al., 2007] C. BENNERSCHEIDT, H. SCHMIEDENER, M. STRECKENBACH, S. HÜBEN, J. SCHUNICHT und K. STRÖCKER. Wurzeleinwuchs in Abwasserleitungen- und -kanäle - Ergänzende Feldversuche. IKT - Institut für Unterirdische Infrastruktur; in Kooperation mit dem Lehrstuhl für Spezielle Botanik der Ruhr-Universität Bochum und dem Forschungsinstitut für Wasser- und Abfallwirtschaft an der RWTH Aachen im Auftrag des Umweltministeriums NRW (MUNLV). Juni 2007.
- [Berger und Falk, 2009] C. BERGER und C. FALK. Zustand der Kanalisation in Deutschland. Ergebnisse der DWA-Umfrage 2009. DWA-Bundesgeschäftsstelle, Hennef. 2009.
- [Berger, 1999] W. BERGER. Zeit- und kostensparender Rohrleitungsbau mit Bodenmörtel. In: Materialien zum HTI-Forum am 7. Oktober 1999 in Weimar. 1999.
- [Berger, 2000] W. BERGER. Beanspruchungs- und Kostenreduzierung durch Anwendung "stabilisierter Verfüllmaterialien" SVM. In: Vortrag zur rbv-DVGW-Informationsveranstaltung "Erd- und Oberflächenarbeiten im Rohrleitungsbau" am 17. Februar 2000 in Karlsruhe. 2000. Tagungsmaterial, Ordner.
- [Berger, 2001a] W. BERGER. Entwicklungen bei Erd- und Oberflächenarbeiten für den Einsatzbereich Fernwärme. In: Materialien des rbv-AGFW-Erfahrungsaustauschs für Fernwärme-Meister "Neue Technologien/Regelwerke" am 19./20. März 2001 in Köln. 2001.
- [Berger, 2001b] W. BERGER. Klassifizierung und Bewertung des anstehenden Bodens. In: Vortrag zur brbv-Informationsveranstaltung in Zusammenarbeit mit Güteschutz Kanalbau "Tiefbauarbeiten im Rohrleitungsbau - Neuerungen aus der DIN 4124 im Entwurf" am 9. Oktober 2001 in Berlin. 2001. Tagungsmaterial, Hefter, 12 S.
- [Berger, 2001c] W. BERGER. Neue Entwicklungen bei Erd- und Oberflächenarbeiten. In: Materialien der brbv-Informationsveranstaltung für Rohrnetzmeister "Neue Technologien / Regelwerke" am 19./20. März 2001 in Köln. 2001.
- [Berger, 2002] W. BERGER. Beanspruchung von Rohrleitungen in der Einbauphase. In: Vortrag auf der rbv-DVGW-Informationsveranstaltung "Kunststoffrohre in der Gas- und Wasserversorgung - Verlängerung zur GW 331 - " am 10. Januar 2002 in Bremen. 2002. Tagungsmaterial, Ordner.
- [Berger, 2012] W. BERGER. Zeitweise fließfähige selbstverdichtende Verfüllbaustoffe (ZFSV) aus Böden und Baustoffen. Arbeitskreis der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, 56. Betontage, Neu-Ulm. 2012. Tagungsband S. 194-195.
- [Berger und Büchner, 1999] W. BERGER und U. BÜCHNER. Anwendung von stabilisierten Verfüllmaterialien bei besonderen Einbauanforderungen. In: Vortrag auf dem 8. ROHRBAU-Kongress "Innovationen für das neue Jahrhundert" am 1./2. Dezember 1999 in Weimar. 1999. Tagungsband, S. 193-204.
- [Berger und Büchner, 2002] W. BERGER und U. BÜCHNER. Alternative Grabenverfüll-Materialien. In: Vortrag auf der DVGW-Informationsveranstaltung "Mitbenutzen von Verkehrswegen" am 22./23. Januar 2002 in Hildesheim. 2002. Tagungsmaterial, Ordner.
- [Berger et al., 2000] W. BERGER, H. KELLER und T. GRAGE. Experimentelle Erfassung der Interaktion von Kunststoffmantelrohren der Fernwärmerversorgung und neuartigen Rohreinbettungsverfahren. 3R international, Zeitschrift für die Rohrleitungspraxis. 39 (Heft 1). Seiten 33–38. 2000.
- [Berger und Krausewald, 2002] W. BERGER und J. KRAUSEWALD. Selbstverdichtende Verfüllmaterialien. In: Vortrag auf der 15. Fachmesse "Fern-/Nahwärmetechnik 2002" am 19. März 2002 in Köln. 2002.
- [Berger et al., 1999] W. BERGER, J. KRAUSEWALD und L. V. HEYDEN. Boden-Mörtel - Anwendungsfragen und Wirtschaftlichkeit für den Tiefbau der Gasverteilung. ghwf - Gas Erdgas. 8. Seiten 513–518. 1999.
- [Berkel, 2012] R. BERKEL. Großrohrsanierung von Trinkwasserleitungen mit Zementmörtel. Vulkanverlag Essen. 2012.

- [Brockhaus, 1986 - 1994] Bibliographisches Institut & F. A. Brockhaus AG. Definition Technische Infrastruktur. In: Brockhaus Enzyklopädie. Band 15. F. A. Brockhaus Verlag. 19. Auflage. 1986 - 1994.
- [Bielecki und Schremmer, 1987] R. BIELECKI und H. SCHREMMER. Biogene Schwefelsäure-Korrosion in teilgefüllten Abwasserkanälen. Sonderdruck aus den Mitteilungen des Leichtweiß-Institutes für Wasserbau der Technischen Universität Braunschweig. Heft 94. Seiten 1 – 275. 1987.
- [Bilsing et al., 2014] A. BILSING, A. LINKAMP, A. BRÜMMER und G. MÜLLER-SYRING. Pulsations- und Schwingungsbelastung von PVC-Rohrleitungen. energie | wasser-praxis. 65. Jhr. (Heft 1). 2014.
- [Böhm, 1989] A. BÖHM. Wasser- und Abwasserleitungen. VEB Verlag für Bauwesen. Berlin. 1. Auflage. 1989.
- [Böhm, 1993] A. BÖHM. Betrieb, Instandhaltung und Erneuerung von Wasserleitungen. Vulkan Verlag. Essen. 1993.
- [Bosseler et al., 2003a] B. BOSSELER, T. BIRKNER, O. SOKOLL und T. BRÜGGEMANN. Umsetzung der Selbstüberwachungsverordnung Kanal (SüwV Kan) bei den kommunalen Netzbetreibern und Wasserverbänden in NRW. im Auftrag des Ministeriums für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes NRW; IKT - Institut für Unterirdische Infrastruktur, Gelsenkirchen. Dezember 2003.
- [IKT, 2009] B. BOSSELER, K. HARTING und D. FÄRBER. IKT-Warentest - Reparaturverfahren für Hauptkanäle. Endbericht zum Warentest, IKT - Institut für Unterirdische Infrastruktur. Gelsenkirchen. Juli 2009. Download unter [www.ikt.de](http://www.ikt.de).
- [Bosseler et al., 2001] B. BOSSELER, D. HOMANN und G. KALTENHÄUSER. Bundesweite Umfrage zur Sanierung von Schachtbauwerken im Bereich der Abwassertechnik mittels Beschichtungsverfahren. Gelsenkirchen. Juli 2001.
- [Bosseler et al., 2002] B. BOSSELER, D. HOMANN, G. KALTENHÄUSER und R. PUHL. Endbericht zum IKT-Warentest "Hausanschlusstutzen". IKT - Institut für Unterirdische Infrastruktur, Gelsenkirchen. Juni 2002. download unter URL: <http://www.ikt.de>.
- [Bosseler und Kaltenhäuser, 2004] B. BOSSELER und G. KALTENHÄUSER. IKT-Warentest - Reparaturverfahren für Anschlussstutzen, Endbericht. IKT - Institut für Unterirdische Infrastruktur, Gelsenkirchen. Juni 2004. download unter URL: <http://www.ikt.de>.
- [Bosseler und Puhl, 2005] B. BOSSELER und R. PUHL. Beschichtungsverfahren zur Sanierung von Abwasserschächten - Studie zu Qualitätseinflüssen und Einsatzgrenzen anhand von Praxis- und Laboruntersuchungen. IKT - Institut für Unterirdische Infrastruktur; Gelsenkirchen. Dezember 2005. download unter URL: <http://www.ikt.de>.
- [Bosseler und Puhl, 2006] B. BOSSELER und R. PUHL. Abwasserschächte -Überwachung, Prüfung und Sanierung, Teil I: Voruntersuchungen. IKT - Institut für Unterirdische Infrastruktur, Gelsenkirchen. Februar 2006.
- [IKT, 2010] B. BOSSELER, A. REDMANN, C. BENNERSCHIEDT und D. FÄRBER. IKT-Warentest - Hausanschluss-Liner Teil 2. Endbericht zum Warentest; im Auftrag des Ministeriums für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes NRW; IKT - Institut für Unterirdische Infrastruktur; Gelsenkirchen. März 2010. Download unter [www.ikt.de](http://www.ikt.de).
- [Bosseler und Schlüter, 2003] B. BOSSELER und M. SCHLÜTER. Qualitätseinflüsse Schlauchliner - Stichproben-Untersuchung an sanierten Abwasserkanälen. IKT - Institut für Unterirdische Infrastruktur; Forschungsvorhaben im Auftrag des Ministeriums für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes NRW. Dezember 2003. download unter URL: <http://www.ikt.de>.
- [Bosseler und Sokoll, 2007] B. BOSSELER und O. SOKOLL. Pilotstudie Inspektion teilgefüllter Kanäle. Endbericht des IKT - Institut für Unterirdische Infrastruktur im Auftrag des Ministeriums für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes NRW. Juli 2007.
- [Bosseler et al., 2003b] B. BOSSELER, O. SOKOLL, B. DIBURG und S. BECK. Abnahme von Liningmaßnahmen - Materialnachweise und Bewertung der Linerqualität. IKT - Institut für Unterirdische Infrastruktur; Forschungsvorhaben im Auftrag des Ministeriums für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes NRW, download unter URL: <http://www.ikt.de>. März 2003.
- [Brachetti, 1985] BRACHETTI. Anforderungen an Wärmeversorgungsleitungen. Schriften der Hochschule für Architektur Bauwesen Weimar 40. 1985. pages 46-47.
- [Breternitz GmbH, o.J.] Breternitz GmbH. Unterlagen der Firma Breternitz GmbH (Bauunternehmen), An der Tauge 3, 07389 Ranis/Thüringen. o.J.
- [Brix et al., 1934] J. BRIX, K. IMHOFF und R. WELDER. Die Stadtentwässerung in Deutschland. Gustav Fischer Verlag. Jena. 1934.

- [Brockhaus, 1901-1904] Brockhaus. Konversationslexikon. F.A. Brockhaus-Verlag. Leipzig, Berlin und Wien. 1901-1904.
- [Brussig, 1996a] P. BRUSSIG. Sanierung erdverlegter Trinkwasserleitungen - Teil 1. wwt - wasserwirtschaft wassertechnik. 46. Jhrg. (Heft 7). Seiten 38 - 40. 1996.
- [Brussig, 1996b] P. BRUSSIG. Sanierung erdverlegter Trinkwasserleitungen - Teil 2. wwt - wasserwirtschaft wassertechnik. 46. Jhrg. (Heft 8). Seiten 37 - 39. 1996.
- [Brussig, 1997a] P. BRUSSIG. Sanierung erdverlegter Trinkwasserleitungen - Teil 3. wwt - wasserwirtschaft wassertechnik. 47. Jhrg. (Heft 1). Seiten 38 - 40. 1997.
- [Brussig, 1997b] P. BRUSSIG. Sanierung erdverlegter Trinkwasserleitungen - Teil 4. wwt - wasserwirtschaft wassertechnik. 47. Jhrg. (Heft 2). Seiten 36 - 39. 1997.
- [Brussig, 1997c] P. BRUSSIG. Sanierung erdverlegter Trinkwasserleitungen - Teil 5. wwt - wasserwirtschaft wassertechnik. 47. Jhrg. (Heft 3). Seiten 32 - 35. 1997.
- [Brussig, 1997d] P. BRUSSIG. Sanierung erdverlegter Trinkwasserleitungen - Teil 6. wwt - wasserwirtschaft wassertechnik. 47. Jhrg. (Heft 4). Seiten 33 - 35. 1997.
- [Brussig, 1997e] P. BRUSSIG. Sanierung erdverlegter Trinkwasserleitungen - Teil 7. wwt - wasserwirtschaft wassertechnik. 47. Jhrg. (Heft 5). Seiten 37 - 39. 1997.
- [BASt, 2010] Bundesamt für Straßenwesen (BASt). Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten ZTV-ING, Teil 3 Massivbau, Abschnitt 5 Füllen von Rissen und Hohlräumen in Betonbauteilen. Stand April 2010.
- [BMVBW, 2005] Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen (BMVBW). Bautechnische Zustandsklassifizierung und Zustandsbewertung von Schächten. Informationen des BMVBW - www.abwasserhilfen-abwasser.de. November 2005.
- [Büro für Rohrnetzanalysen, o.J.] Büro für Rohrnetzanalysen. OPTNET: Software zur Bewertung von Druckrohrnetzen. 15366 Neuenhagen bei Berlin, Koblenzer Straße 12.
- [CEN, 2005] CEN Europäisches Komitee für Normung. CEN/TR 15128: Übersicht über Europäische Normen für die Sanierung von Entwässerungssystemen. Technischer Bericht. Juni 2005. Deutsche Fassung CEN/TR 15128:2005.
- [Cerbe, 1999] G. CERBE. Grundlagen der Gastechnik - Gasbeschaffung, Gasverteilung, Gasverwendung. Carl Hanser Verlag. München, Wien. 5. vollständig neubearbeitete und erweiterte Auflage. August 1999.
- [Dammann, 1985] P. DAMMANN. Sanierung korrodierter Abwasserrohre. Ausgeführte Beispiele aus Hamburg. Vortrag im Haus der Technik, Essen. Oktober 1985.
- [Deb et al., 1998] A. DEB, Y. HASIT, F. GRABLUTZ und R. HERZ. Quantifying future rehabilitation and replacement needs of water mains. AWWA Research Foundation. Denver. 1998.
- [Depke, 1986] F. M. DEPKE. Nicht kraftschlüssige Rißabdichtung gegen Feuchtigkeit. Bauen mit Kunststoffen (BMK). H 1. Seiten 9 - 12. 1986. Arbeitsbericht.
- [ZTV-RISS, 1993] Der Bundesminister für Verkehr. Technische Lieferbedingungen für Füllgut aus Epoxidharz und zugehöriges Injektionsverfahren (TL FG-EP); Technische Prüfvorschriften für Füllgut aus Epoxidharz und zugehöriges Injektionsverfahren (TP FG-EP). Aufgestellt durch den Arbeitskreis ZTV-RISS; Verkehrsblatt - Dokument B 5247; Verkehrsblatt-Verlag. Dortmund. 1993.
- [DVGW, 2012] Deutsche Vereinigung des Gas- und Wasserfaches e.V. (DVGW). Netz- und Schadensstatistik - Erfassung von Daten zum Aufbau von Instandhaltungsstrategien für Gasverteilungsnetze. Arbeitsblatt G402. Januar 2012.
- [DVGW, 2013] Deutsche Vereinigung des Gas- und Wasserfaches e.V. (DVGW). Bäume, unterirdische Leitungen und Kanäle. Arbeitsblatt GW125. Februar 2013.
- [ATV-DVWK, 2003] Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (ATV-DVWK). ATV-DVWK-Merkblatt ATV-DVWK-M 143-7: Sanierung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden; Teil 7: Reparatur von Abwasserleitungen und -kanälen durch Kurzliner und Innenmanschetten. April 2003. ISBN 3-924063-44-3.
- [ATV-DVWK, 2004a] Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (ATV-DVWK). ATV-DVWK-Merkblatt ATV-DVWK-M 143-1: Sanierung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden, Teil 1: Grundlagen. August 2004.
- [ATV-DVWK, 2004b] Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (ATV-DVWK). ATV-DVWK-Merkblatt ATV-DVWK-M 143-11: Sanierung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden; Teil 11: Renovierung von Abwasserleitungen und -kanälen mit vorgefertigten Rohren ohne Ringraum (Close-Fit-Lining). August 2004. ISBN 3-924063-71-0.



- [ATV-DVWK, 2004c] Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (ATV-DVWK). ATV-DVWK-Merkblatt ATV-DVWK-M 143-4: Sanierung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden, Teil 4: Montageverfahren für begehbare Abwasserleitungen und -kanäle und Bauwerke. August 2004. ISBN 3-937758-10-0.
- [ATV-DVWK, 2004d] Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (ATV-DVWK). ATV-DVWK-Merkblatt ATV-DVWK-M 143-8: Sanierung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden; Teil 8: Injektionsverfahren zur Abdichtung von Abwasserleitungen und -kanälen. August 2004. ISBN 3-924063-77-X.
- [ATV-DVWK, 2004e] Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (ATV-DVWK). ATV-DVWK-Merkblatt ATV-DVWK-M 143-9: Sanierung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden; Teil 9: Renovierung von Abwasserleitungen und -kanälen durch Wickelrohrverfahren. August 2004. ISBN 3-924063-83-4.
- [ATV-DVWK, 2010] Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (ATV-DVWK). ATV-DVWK-M 127-2: Teil 2: Statische Berechnung zur Sanierung von Abwässerkanälen und -leitungen mit Lining- und Montageverfahren. Juli 2010.
- [DWA, 2005a] Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (DWA). DWA-Merkblatt DWA-M 143-14: Sanierung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden; Teil 14: Sanierungsstrategien. November 2005.
- [DWA, 2005b] Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (DWA). DWA-Merkblatt DWA-M 143-15: Sanierung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden; Teil 15: Erneuerung von Abwasserleitungen und -kanälen durch Berstverfahren. November 2005.
- [DWA, 2005c] Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (DWA). DWA-Merkblatt DWA-M 143-3: Sanierung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden; Teil 3: Schlauchliningverfahren (vor Ort härtendes Schlauchlining) für Abwasserleitungen und -kanäle. November 2005.
- [DWA, 2006a] Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (DWA). ATV-M 143-10: Sanierung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden, Teil 10: Noppenschlauchverfahren für Abwasserleitungen und -kanäle. Dezember 2006.
- [DWA, 2006b] Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (DWA). ATV-M 143-16: Sanierung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden, Teil 16: Reparatur von Abwasserleitungen und -kanälen durch Roboterverfahren. Dezember 2006.
- [DWA, 2006c] Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (DWA). ATV-M 143-17: Sanierung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden, Teil 17: Beschichtung von Abwasserleitungen, -kanälen und Schächten mit zementgebundenen mineralischen Mörteln. Dezember 2006.
- [DWA, 2006d] Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (DWA). DWA Arbeitsblatt DWA-A 100: Leitlinien der integralen Entwässerungsplanung (ISiE). DWA-Regelwerk. Dezember 2006.
- [DWA, 2007] Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (DWA). DWA-M 149-3: Zustandserfassung und -beurteilung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden, Teil 3: Zustandsklassifizierung und -bewertung. November 2007.
- [DWA, 2008a] Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (DWA). DWA-A 125 Rohrvortrieb und verwandte Verfahren. Dezember 2008.
- [DWA, 2008b] Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (DWA). DWA-M 149-4: Zustandserfassung und -beurteilung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden, Teil 4: Detektion von Lagerungsdefekten und Hohlräumen in der Umgebung erdverlegter Leitungen. Juli 2008.
- [DWA, 2009a] Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (DWA). DWA-Arbeitsblatt DWA-A 139: Einbau und Prüfung von Abwasserleitungen und -kanälen. ISBN 978-3-941089-92-1. Dezember 2009.
- [DWA, 2009b] Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (DWA). DWA-Arbeitsblatt DWA-A 139: Einbau und Prüfung von Abwasserleitungen und -kanälen. Dezember 2009.
- [DWA, 2010] Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (DWA). DWA-M 149-5: Zustandserfassung und -beurteilung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden, Teil 5: Optische Inspektion. Dezember 2010.

- [DWA, 2012a] Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (DWA). DWA-Arbeitsblatt DWA-A 143-3 (Entwurf): Sanierung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden - Teil 3: Vor Ort härtende Schlauchliner. DWA-Regelwerk. Entwurf November 2012.
- [DWA, 2012b] Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (DWA). DWA-M 144-3: Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen (ZTV) für die Sanierung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden - Teil 3: Renovierung mit Schlauchliningverfahren (vor Ort härtendes Schlauchlining) für Abwasserkanäle. November 2012.
- [DWA, 2013] Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (DWA). DWA-M 149-2: Zustandserfassung und -beurteilung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden, Teil 2: Kodiersystem für die optische Inspektion. Dezember 2013.
- [DAfStb, 2001] Deutscher Ausschuss für Stahlbeton (DAfStb). Richtlinie für Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen (Instandsetzungs-Richtlinie), Teil 1: Allgemeine Regelungen und Planungsgrundsätze, Teil 2: Bauprodukte und Anwendung, Teil 3: Anforderungen an die Betriebe und Überwachung der Ausführung, Teil 4: Prüfverfahren. Beuth Verlag GmbH. Oktober 2001.
- [DVS, 2005] Deutscher Verband für Schweißen und verwandte Verfahren (DVS) e.V. DVS-Merkblatt 2207, Teil 1: Schweißen von thermoplastischen Kunststoffen - Heizelementschweißen von Rohren, Rohrleitungsteilen und Tafeln aus PE-HD. September 2005.
- [DIBt, 2002] Deutsches Institut für Bautechnik (DIBt). Zulassungsgrundsätze für die Auswahl und Anwendung von Innenauskleidungen aus Kunststoff für erdverlegte Abwasserleitungen und Schächte. März 2002. Entwurf.
- [DIBt, 2014a] Deutsches Institut für Bautechnik (DiBt). Bauregelliste A, Bauregelliste B und Liste C. März 2014.
- [DIBt, 2014b] Deutsches Institut für Bautechnik (DiBt). Internetseite [www.dibt.de](http://www.dibt.de). Stand März 2014.
- [DIN, 2010a] Deutsches Institut für Normung e.V. (DIN). DIN 1054: Baugrund - Sicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau. Beuth Verlag GmbH. Berlin. Dezember 2010.
- [DIN, 1941] DIN Deutsches Institut für Normung e.V. DIN 1998: Richtlinie für die Einordnung und Behandlung der Gas-, Wasser-, Kabel- und sonstigen Leitungen bei der Planung öffentlicher Straßen. Beuth Verlag GmbH. Berlin. Ausgabe 1941.
- [DIN, 1978] DIN Deutsches Institut für Normung e.V. DIN 1998: Unterbringung von Leitungen und Anlagen in öffentlichen Flächen; Richtlinien für die Planung. Beuth Verlag GmbH. Berlin. Mai 1978.
- [DIN, 1979] DIN Deutsches Institut für Normung e.V. DIN 4033: Entwässerungskanäle und -leitungen; Richtlinien für die Ausführung. November 1979.
- [DIN, 1982] DIN Deutsches Institut für Normung e.V. DIN 30674-1: Umhüllung von Rohren aus duktilem Gusseisen; Polyethylen-Umhüllung. Beuth Verlag GmbH, Berlin. September 1982.
- [DIN, 1983] DIN Deutsches Institut für Normung e.V. DIN 30674-4: Umhüllung von Rohren aus duktilem Gusseisen; Beschichtung mit Bitumen. Beuth Verlag GmbH, Berlin. Mai 1983.
- [DIN, 1985a] DIN Deutsches Institut für Normung e.V. DIN 30674-5: Umhüllung von Rohren aus duktilem Gußeisen; Polyethylen-Folienumhüllung. Beuth Verlag GmbH. Berlin. März 1985.
- [DIN, 1985b] DIN Deutsches Institut für Normung e.V. DIN 31051-1: Instandhaltung; Begriffe und Maßnahmen. Beuth Verlag GmbH, Berlin. Januar 1985.
- [DIN, 1992] DIN Deutsches Institut für Normung e.V. DIN 30674-2: Umhüllung von Rohren aus duktilem Gusseisen; Zementmörtel-Umhüllung. Beuth Verlag GmbH, Berlin. Oktober 1992.
- [DIN, 1996] DIN Deutsches Institut für Normung e.V. DIN EN 752-1: Entwässerungssysteme außerhalb von Gebäuden; Teil 1: Allgemeines und Definitionen. Januar 1996. Deutsche Fassung EN 752-1:1996.
- [DIN, 1997a] DIN Deutsches Institut für Normung e.V. DIN EN 1295-1: Statische Berechnung von erdverlegten Rohrleitungen unter verschiedenen Belastungsbedingungen - Teil 1: Allgemeine Anforderungen. Beuth Verlag GmbH, Berlin. September 1997.
- [DIN, 1997b] DIN Deutsches Institut für Normung e.V. DIN EN 1610: Verlegung und Prüfung von Abwasserleitungen und -kanälen. Beuth Verlag GmbH. Berlin. Oktober 1997. Deutsche Fassung EN 1610:1997.
- [DIN, 2000] DIN Deutsches Institut für Normung e.V. DIN EN 805: Wasserversorgung - Anforderungen an Wasserversorgungssysteme und deren Bauteile außerhalb von Gebäuden. Beuth Verlag GmbH, Berlin. März 2000. Deutsche Fassung EN 805:2000.
- [DIN, 2001a] DIN Deutsches Institut für Normung e.V. DIN 30674-3: Umhüllung von Rohren aus duktilem Gusseisen; Zink-Überzug mit Deckbeschichtung. Beuth Verlag GmbH, Berlin. März 2001.

- [DIN, 2001b] DIN Deutsches Institut für Normung e.V. DIN EN 12056 Teil 1 bis 5: Schwerkraftentwässerungsanlagen innerhalb von Gebäuden. Beuth Verlag GmbH. Januar 2001. Deutsche Fassung EN 12056.
- [DIN, 2001c] DIN Deutsches Institut für Normung e.V. DIN EN 13380: Allgemeine Anforderungen an Bauteile für Renovierung und Reparatur von Abwasserleitungen und -kanälen außerhalb von Gebäuden. Oktober 2001. Deutsche Fassung EN 13380:2001.
- [DIN, 2003a] DIN Deutsches Institut für Normung e.V. DIN 31051: Grundlagen der Instandhaltung. Beuth Verlag GmbH, Berlin. Juni 2003.
- [DIN, 2003b] DIN Deutsches Institut für Normung e.V. DIN EN 1916: Rohre und Formstücke aus Beton, Stahlfaserbeton und Stahlbeton. Beuth Verlag GmbH. April 2003.
- [DIN, 2008a] DIN Deutsches Institut für Normung e.V. DIN 1986-100: Entwässerungsanlagen für Gebäude und Grundstücke; Teil 100: Zusätzliche Bestimmungen zu DIN EN 752 und DIN EN 12056. Beuth Verlag GmbH, Berlin. Mai 2008.
- [DIN, 2008b] DIN Deutsches Institut für Normung e.V. DIN EN 752: Entwässerungssysteme außerhalb von Gebäuden, Deutsche Fassung EN 752:2008. April 2008.
- [DIN, 2009] DIN Deutsches Institut für Normung e.V. DIN 8061: Rohre aus weichmacherfreiem Polyvinylchlorid (PVC-U) - Allgemeine Güteanforderungen, Prüfung. Beuth Verlag GmbH, Berlin. Oktober 2009.
- [DIN, 2010b] DIN Deutsches Institut für Normung e.V. DIN 18551: Spritzbeton - Nationale Anwendungsregeln zur Reihe DIN EN 14487 und Regeln für die Bemessung von Spritzbetonkonstruktionen. Beuth Verlag GmbH. Februar 2010.
- [DIN, 2010c] DIN Deutsches Institut für Normung e.V. DIN EN ISO 11295: Klassifizierung von Kunststoff-Rohrleitungssystemen für die Renovierung und Informationen zur Planung. August 2010. Deutsche Fassung EN ISO 11295:2010.
- [DIN, 2011a] DIN Deutsches Institut für Normung e.V. DIN 18196: Erd- und Grundbau - Bodenklassifikation für bautechnische Zwecke. Beuth Verlag GmbH. Mai 2011.
- [DIN, 2011b] DIN Deutsches Institut für Normung e.V. DIN 4085: Baugrund, Berechnung des Erddrucks. Beuth Verlag GmbH. Mai 2011.
- [DIN, 2011c] DIN Deutsches Institut für Normung e.V. DIN 8074: Rohre aus Polyethylen (PE) - PE 80, PE 100 - Maße. Beuth Verlag GmbH, Berlin. Dezember 2011.
- [DIN, 2011d] DIN Deutsches Institut für Normung e.V. DIN 8075: Rohre aus Polyethylen (PE) - PE 80, PE 100 - Allgemeine Güteanforderungen, Prüfungen. Beuth Verlag GmbH, Berlin. Dezember 2011.
- [DIN, 2011e] DIN Deutsches Institut für Normung e.V. DIN EN 12666-1: Kunststoff-Rohrleitungssysteme für erdverlegte Abwasserkanäle und -leitungen - Polyethylen (PE) - Teil 1: Anforderungen an Rohre, Formstücke und das Rohrleitungssystem. Beuth Verlag GmbH. März 2011. Deutsche Fassung EN 12666-1:2005+A1:2011.
- [DIN, 2011f] DIN Deutsches Institut für Normung e.V. DIN EN 13508-2: Untersuchung und Beurteilung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden - Teil 2: Kodiersystem für die optische Inspektion. Beuth Verlag GmbH. August 2011. Deutsche Fassung EN 13508-2:2003+A1:2011.
- [DIN, 2011g] DIN Deutsches Institut für Normung e.V. DIN EN 476: Allgemeine Anforderungen an Bauteile für Abwasserleitungen und -kanäle. April 2011. Deutsche Fassung EN 476:2011.
- [DIN, 2011h] DIN Deutsches Institut für Normung e.V. DIN EN ISO 11296-4: Kunststoff-Rohrleitungssysteme für die Renovierung von erdverlegten drucklosen Entwässerungsnetzen (Freispiegelleitungen) - Teil 4: Vor Ort härtendes Schlauch-Lining. Beuth Verlag GmbH, Berlin. Juli 2011.
- [DIN, 2012a] DIN Deutsches Institut für Normung e.V. DIN 18134: Baugrund; Versuche und Versuchsgeschichte - Plattendruckversuch. Beuth Verlag GmbH. Berlin. April 2012.
- [DIN, 2012b] DIN Deutsches Institut für Normung e.V. DIN 18135: Baugrund, Untersuchung von Bodenproben - Eindimensionaler Kompressionsversuch. Beuth Verlag GmbH. April 2012.
- [DIN, 2012c] DIN Deutsches Institut für Normung e.V. DIN 31051: Grundlagen der Instandhaltung. Beuth Verlag GmbH, Berlin. September 2012.
- [DIN, 2012d] DIN Deutsches Institut für Normung e.V. DIN 31051: Grundlagen der Instandhaltung. Beuth Verlag GmbH. September 2012.
- [DIN, 2012e] DIN Deutsches Institut für Normung e.V. DIN 4093: Bemessung von verfestigten Bodenkörpern - Hergestellt mit Düsenstrahl-, Deep-Mixing- oder Injektions-Verfahren. August 2012.
- [DIN, 2012f] DIN Deutsches Institut für Normung e.V. DIN 4124: Baugruben und Gräben - Böschungen, Verbau, Arbeitsraumbreiten. Beuth Verlag GmbH, Berlin. Januar 2012.



- [DIN, 2013a] DIN Deutsches Institut für Normung e.V. DIN EN 13508-1: Untersuchung und Beurteilung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden - Teil 1: Allgemeine Anforderungen. Beuth Verlag GmbH. Januar 2013. Deutsche Fassung EN 13508-1:2012.
- [DIN, 2013b] DIN Deutsches Institut für Normung e.V. DIN EN 14364: Kunststoff-Rohrleitungssysteme für Abwasserleitungen und -kanäle mit oder ohne Druck - Glasfaserverstärkte duroplastische Kunststoffe (GFK) auf der Basis von ungesättigtem Polyesterharz (UP) - Festlegungen für Rohre, Formstücke und Verbindungen. Beuth Verlag GmbH, Berlin. Mai 2013.
- [Beck-Texte, 2013] B.-T. im dtv. VOB - Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen. HOAI - Honorarordnung für Architekten und Ingenieure. Deutscher Taschenbuchverlag. 30. Auflage. 2013. ISBN: 978-3-406-65516-6.
- [DVGW, 1999a] DVGW Deutsche Vereinigung des Gas- und Wasserfaches e.V. Einsatz von PE 80, PE 100 und PE-Xa in der Gas- und Wasserverteilung. In: DVGW Gas-Wasser-Information. Nr. 14. WVGW Wirtschafts- und Verlagsgesellschaft Gas und Wasser mbH. Bonn. Dezember 1999.
- [DVGW, 1999b] DVGW Deutsche Vereinigung des Gas- und Wasserfaches e.V. Entscheidungshilfen für die Rehabilitation von Gasverteilungsnetzen. Arbeitsblatt G 401. September 1999.
- [DVGW, 2000a] DVGW Deutsche Vereinigung des Gas- und Wasserfaches e.V. Beurteilung von Leckstellen an erdverlegten und freiliegenden Gasleitungen in Gasrohrnetzen. Hinweis G 465-3. Oktober 2000.
- [DVGW, 2000b] DVGW Deutsche Vereinigung des Gas- und Wasserfaches e.V. DVGW Arbeitsblatt GW 320-1: Rehabilitation von Gas- und Wasserrohrleitungen durch PE-Reliningverfahren mit Ringraum; Anforderungen, Gütesicherung und Prüfung. WVGW Wirtschafts- und Verlagsgesellschaft Gas und Wasser mbH, Bonn. Juni 2000.
- [DVGW, 2000c] DVGW Deutsche Vereinigung des Gas- und Wasserfaches e.V. DVGW Arbeitsblatt W 291: Reinigung und Desinfektion von Wasserverteilungsanlagen. WVGW Wirtschafts- und Verlagsgesellschaft Gas und Wasser mbH, Bonn. März 2000.
- [DVGW, 2000d] DVGW Deutsche Vereinigung des Gas- und Wasserfaches e.V. Guß- und Stahlrohrleitungsteile mit Zementmörtelauskleidung. Arbeitsblatt W 346. August 2000.
- [DVGW, 2002] DVGW Deutsche Vereinigung des Gas- und Wasserfaches e.V. Gasleitungen mit einem Betriebsdruck bis 5 bar - Instandsetzung. Arbeitsblatt G 465-2. April 2002.
- [DVGW, 2004] DVGW Deutsche Vereinigung des Gas- und Wasserfaches e.V. DVGW Merkblatt GW 323: Grabenlose Erneuerung von Gas- und Wasserversorgungsleitungen durch Berstlining; Anforderungen, Gütesicherung und Prüfung. Juli 2004. Technische Mitteilung.
- [DVGW, 2005a] DVGW Deutsche Vereinigung des Gas- und Wasserfaches e.V. DVGW-Arbeitsblatt W 343: Sanierung von erdverlegten Guss- und Stahlrohrleitungen durch Zementmörtelauskleidung. April 2005.
- [DVGW, 2005b] DVGW Deutsche Vereinigung des Gas- und Wasserfaches e.V. DVGW Hinweis W 401: Entscheidungshilfen für Rehabilitation von Wasserrohrnetzen. WVGW Wirtschafts- und Verlagsgesellschaft Gas und Wasser mbH, Bonn. Oktober 2005.
- [DVGW, 2006a] DVGW Deutsche Vereinigung des Gas- und Wasserfaches e.V. DVGW Arbeitsblatt GW 325: Grabenlose Erneuerung von Gas- und Wasser-Anschlussleitungen; Anforderungen, Gütesicherung und Prüfung. Technische Mitteilung. Januar 2006.
- [DVGW, 2006b] DVGW Deutsche Vereinigung des Gas- und Wasserfaches e.V. DVGW-Arbeitsblatt W 400-3: Technische Regeln Wasserverteilungsanlagen (TRWV), Teil 3: Betrieb und Instandhaltung. WVGW Wirtschafts- und Verlagsgesellschaft Gas und Wasser mbH, Bonn. September 2006.
- [DVGW, 2010a] DVGW Deutsche Vereinigung des Gas- und Wasserfaches e.V. DVGW-Arbeitsblatt W 402: Netz- und Schadenstatistik - Erfassung und Auswertung von Daten zur Instandhaltung von Wasserrohrnetzen. WVGW Wirtschafts- und Verlagsgesellschaft Gas und Wasser mbH, Bonn. September 2010.
- [DVGW, 2010b] DVGW Deutsche Vereinigung des Gas- und Wasserfaches e.V. DVGW-Merkblatt W 403: Entscheidungshilfen für die Rehabilitation von Wasserverteilungsanlagen. WVGW Wirtschafts- und Verlagsgesellschaft Gas und Wasser mbH, Bonn. April 2010.
- [DVGW, 2011a] DVGW Deutsche Vereinigung des Gas- und Wasserfaches e.V. DVGW-Arbeitsblatt W 392-2: Inspektion, Wartung und Betriebsüberwachung von Wasserverteilungsanlagen - Teil 2: Fernwasserversorgungssysteme. WVGW Wirtschafts- und Verlagsgesellschaft Gas und Wasser mbH, Bonn. März 2011.
- [DVGW, 2011b] DVGW Deutsche Vereinigung des Gas- und Wasserfaches e.V. DVGW Hinweis W 396: Abbruch-, Sanierungs- und Instandhaltungsarbeiten an Wasserrohrleitungen mit asbeshaltigen Bauteilen oder Beschichtungen. Februar 2011.

- [DVGW, 1979] DVGW Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e.V. Maßnahmen zum Schutz von Versorgungsanlagen bei Bauarbeiten. Hinweis GW 315. Mai 1979.
- [DVGW, 1983] DVGW Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e.V. Überwachen von Trinkwasserrohrnetzen. Arbeitsblatt W 390. Februar 1983.
- [DVGW, 1986] DVGW Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e.V. DVGW Merkblatt W 391: Wasserverluste in Wasserverteilungsanlagen; Feststellung und Beurteilung. WVGW Wirtschafts- und Verlagsgesellschaft Gas und Wasser mbH, Bonn. Oktober 1986.
- [DVGW, 1989] DVGW Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e.V. Baumpflanzungen im Bereich von unterirdischen Versorgungsleitungen. Hinweis GW 125. März 1989.
- [DVGW, 1991a] DVGW Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e.V. Ersatzversorgung; Maßnahmen zur Sicherstellung der Wasserversorgung bei Arbeiten am Rohrnetz. Hinweis W 394. Juni 1991.
- [DVGW, 1991b] DVGW Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e.V. Verfahren zur Leckortung an Trinkwasserleitungen. Hinweis W 393. Juni 1991.
- [DVGW, 1993] DVGW Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e.V. Bewerten von Baumaßnahmen im Bereich von Wasserversorgungsanlagen; Einflüsse und Schutzmaßnahmen. Merkblatt W 380. Mai 1993.
- [DVGW, 1998a] DVGW Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e.V. DVGW Hinweis GW 126: Verfahren zur Erstellung von Basiskarten. WVGW Wirtschafts- und Verlagsgesellschaft Gas und Wasser mbH, Bonn. Juli 1998.
- [DVGW, 1998b] DVGW Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e.V. DVGW Hinweis GW 127: Fortführung der digitalen Basiskarte. WVGW Wirtschafts- und Verlagsgesellschaft Gas und Wasser mbH, Bonn. August 1998.
- [DVGW, 1998c] DVGW Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e.V. Schadensstatistik für Wasserrohrnetze. Merkblatt W 395. Juli 1998.
- [DVGW, 2010c] DVGW Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e.V. DVGW Hinweis GW 120: Planwerke für die Rohrnetze der öffentlichen Gas- und Wasserversorgung. WVGW Wirtschafts- und Verlagsgesellschaft Gas und Wasser mbH, Bonn. November 2010.
- [Esselborn, 1922] ESSELBORN. Lehrbuch des Tiefbaus. Band 2. Wilhelm Engelmann Verlag. Leipzig. 1922.
- [Fa. Ergelit, 2004] Fa. Ergelit. Technisches Merkblatt Ergelit-Trockenmörtel Kombina KS 2. Firmeninformation der Fa. Ergelit, Alsfeld-Schwabenrod. 2004.
- [Fa. Keller, o.J.] Fa. Keller Grundbau GmbH. Firmeninformation Nr. 67-3 D.
- [Fa. Loos, o.J.] Fa. Loos PUR Technik e.K. Firmeninformation. Neuenrade.
- [Fa. Rainer Hermes, o.J.] Fa. Rainer Hermes GmbH & Co KG. Firmeninformation. Schwerte.
- [Fa. Rainer Hermes, 2004] Fa. Rainer Hermes GmbH & Co KG. Kanalschachtsanierung mit zementgebundenen, durch organische und anorganische Zusätze vergütete Werk trockenmörteln. unter: www.santec-gmbh.de. September 2004.
- [Fa. Relius, 2001] Fa. Relius Coatings GmbH & Co. Vorläufige Verarbeitungsrichtlinie Oldodur WS 56 Beschichtung, Flüssigkunststoff- Beschichtungssystem für Kanal- Schachtsanierung. Oldenburg. Juli 2001.
- [FGR, o.J.] Fachgemeinschaft Guss-Rohrsysteme (FGR) Berlin. Bildmaterial. FGR 29, FGR 30, FGR 31.
- [FGR, 1983 und 1996] Fachgemeinschaft Gußeiserne Rohre (FGR) (Hrsg.). Handbuch Guss-Rohrtechnik - duktile Gussrohre und Formstücke. Köln. 1983 und 1996.
- [FWV, o.J.] Fernwasserterversorgung Elbaue-Ostharz GmbH. Firmenunterlagen.
- [Fleckner, 1996] H. FLECKNER. Abstandsregelung - Mindestabstände - Verlegetiefen - und ihre wirtschaftlichen Folgen. In: 1. Bregenzer Rohrleitungstage mit Fachausstellung 1996, Vortragsmaterial. 1996. 10 S.
- [FITR, 2005] Forschungsinstitut für Tief- und Rohrleitungsbau Weimar e.V. (FITR). Versuchsprotokoll: Statische Lastplattendruckversuche. Versuchsfeld. Mai 2005.
- [FITR, o.J.] Forschungsinstitut für Tief- und Rohrleitungsbau Weimar e.V. (FITR). Versuchsprotokolle des FITR. o.J.
- [Fröhlich, 1989] B. FRÖHLICH. Stand der Durchsetzung und Weiterentwicklung des Erzeugnisses FRAMI-Therm. bauzeitung. 43 (4). Seiten 182-187. 1989.
- [Frontinus, 2013] S. L. FRONTINUS. Die Wasserversorgung im antiken Rom. Frontinus-Gesellschaft e.V.. 2013. auch als "Die Wasserversorgung der Stadt Rom - De aquaeductu urbis Romae" veröffentlicht.
- [Frühling, 1904] A. FRÜHLING. Die Wasserversorgung der Städte. In: Der Wasserbau. Teil 3 von Handbuch der Ingenieurwissenschaften in fünf Teilen. chapter Band 3. Wilhelm Engelmann Verlag. Leipzig. 1904.

- [Frühling, 1910] A. FRÜHLING. Die Entwässerung der Städte. In: Der Wasserbau. Teil 3 von Handbuch der Ingenieurwissenschaften in fünf Teilen. chapter Band 4. Wilhelm Engelmann Verlag. Leipzig. 1910.
- [Fuchs et al., 1991] H. FUCHS, W. FROMMHOLD, R. POGGEMANN und P. ZENKER. "Lokal" hilft bei der Leckortung in Fernwärmenetzen. *Fernwärme international*. 20 (5/6). Seiten 297–305. 1991.
- [Führmann, 1989] S. FÜHRMANN. Eine neue flexible Hausanschlußleitung für die Fernwärme - Planung, Bauausführung, Kosten. *Fernwärme international*. 18 (4). Seiten 348–352. 1989.
- [Garbrecht et al., 1988] G. GARBRECHT, K. GREWE, H. MANDERSCHIED, H.-O. LAMPRECHT und O. WINKELMANN. Die Wasserversorgung antiker Städte. 3 von 1. Philipp von Zabern, Frontinus-Gesellschaft e.V. Bergisch Gladbach. Mainz am Rhein. Januar 1988.
- [Geier, 1978] C.-P. GEIER. Die erste europäische Fernwärmeversorgungsanlage. *Stadt- und Gebäudetechnik*. 1978. No. 10, pages 304-307.
- [Genzmer, 1897] E. GENZMER. Der städtische Tiefbau - Die städtischen Straßen. Verlag von Arnold Bergstrasser. Stuttgart. 1897.
- [Gerke-Reineke, 1982] L. GERKE-REINEKE. Überblick über gebräuchliche Mantelrohrverfahren. *3R International*. 21. Seiten 438–441. 1982.
- [Gernke und Rink, 2009] U. GERNKE und W. RINK. Interimsleitung DN 600 sichert die Wasserversorgung in Südsachse. *Fachgemeinschaft Guss-Rohrsysteme (FGR)*. 2009 (43). Seiten 60–63. 2009.
- [Glanert und Schulze, 2002] R. GLANERT und S. SCHULZE. U-Liner - Der Klassiker für die Sanierung von Druckrohren. *3R international - Rohre, Rohrleitungsbau, Rohrleitungstransport*. 41. Jhrg. (Heft 1). 2002.
- [Gluth, 1996] K. GLUTH. Geschichte und technische Funktion einer Pumpstation an der Soleleitung von Reichenhall nach Rosenheim 1810-1958. *Gemeinerverwaltung Grassau Brunnhaus Klaushäusl*. 1996.
- [Görlitz und Kock, 2001] R. GÖRLITZ und K.-A. KOCK. Flächendeckende Gasrohrsanierung Gewebeschauchsanierung - Anwendung des DVGW-AB G 478 für die Überwachung und Qualitätskontrolle im Versorgungsgebiet der Stadtwerke Kiel AG. *bbr Fachmagazin für Wasser und Leitungstiefbau*. 52. Jhrg. (Heft 9). Seite 30. 2001.
- [Grahn, 1883 sowie 1898/1902] E. GRAHN. Die Wasserversorgung der Städte des Deutschen Reiches mit mehr als 5000 Einwohnern. Verlag Oldenbourg. München und Leipzig. 1883 sowie 1898/1902. Sowie Die Wasserversorgung im Deutschen Reich 1883 und 1902 und *Journal für Gasbeleuchtung* 1876, Seiten 518 - 521.
- [HaftPflG, 2002] Haftpflichtgesetz (HaftPflG). in der Fassung der Bekanntmachung vom 4. Januar 1978 (BGBl. I S. 145). zuletzt geändert durch Artikel 5 des Gesetzes vom 19. Juli 2002 (BGBl. I S. 2674). 2002.
- [Hakonsson, 1975] K. HAKONSSON. *Handbuch der Fernwärmepraxis*. Vulkan-Verlag. Essen. 1975.
- [Haupt, 2008a] M. HAUPT. *Moderne Verfahren der Rohrleitungssanierung im Netz der Fernwasserversorgung Elbaue-Ostharz GmbH*. Fachgemeinschaft Guss-Rohrsysteme (FGR). 2008 (42). Seiten 83–89. 2008.
- [Haupt, 2008b] M. HAUPT. Reliningverfahren mit duktilen Gussrohren. *WWT*. 22 (1). Seiten 34–38. 2008.
- [Heidger und Krücken, 2005] C. HEIDGER und R. KRÜCKEN. *Baumstandorte und unterirdische Ver- und Entsorgungsanlagen. energie wasser praxis*. 4. Seiten 22–27. 2005.
- [Heimberg und Rieche, 1998] U. HEIMBERG und A. RIECHE. *Die römische Stadt: Planung, Architektur, Ausgrabung*. Rheinland-Verlag and Habelt. Köln and Bonn. 1998. ISBN: 9783792717257; Neubearbeitung durch Ursula Grote *Landschaftsverband Rheinland, Archäologischer Park Xanten, Regionalmuseum*; es gab bereits frühere Exemplare (ISBN 3792717255).
- [Loos, 2003] Herr Loos. Gespräch mit Herrn Loos (Loos PUR Technik e.K., Neuenrhade) am 03. Oktober 2003. 2003.
- [Herz, 1995] R. HERZ. Alterung und Erneuerung von Infrastrukturbeständen - ein Kohorten-Überlebensmodell. *Jahrbuch für Regionalwissenschaft*. Jg.14/15. Seiten 5–29. 1995.
- [Herz, 1996] R. HERZ. Erneuerungsprognosen für alternde Wasserrohrnetze. *bbr Fachmagazin für Wasser und Leitungstiefbau*. 47. Jhrg. (Heft 12). 1996.
- [Hillemeier, 1987] B. HILLEMEIER. Ein korrosionssicheres Instandsetzungssystem für Abwassersammler aus Beton. In: *Dokumentation II. Internationaler Kongress Leitungsbau*. Band II. Seiten II/249 – II/257. Hamburg. 1987.
- [Hirner, 1997] W. HIRNER. Zustandsorientierte Instandhaltung durch Kennzahlenanalyse in der Wasserverteilung. *gwf - Wasser/Abwasser (Wasser-Special I/97)*. 138. Jhrg. (Heft 13). Seiten 15 – 22. 1997.



- [Hirner et al., 1984] W. HIRNER, W. SEMELKA und K. WITT. Wassertrübungen und Rohrnetzsanierung. 3R international - Rohre, Rohrleitungsbau, Rohrleitungstransport. 23. Jhrg. (Heft 1/2). Seiten 36 – 40. 1984.
- [Hobrecht, 1884] J. HOBRECHT. Die Canalisation von Berlin. Ernst&Korn Verlag. 1884.
- [Hoechst AG, 1975] Hoechst AG. Kanalrohr-Handbuch - Hostalen GM 5010. Frankfurt. 1975.
- [Hofer, 1978] P. HOFER. Rohrnetzstatistik als Planungsgrundlage. gwf - Gas/Erdgas. 119. Jhrg. (Heft 1). Seiten 7 – 12. 1978.
- [Hoffmann und Göhler, 2003] H.-W. HOFFMANN und T. GÖHLER. Erfahrung beim Einsatz von selbstverdichtenden Verfüllmaterialien. In: Vortrag während der 6. Bregenzer Rohrleitungstage am 30. September/01. Oktober 2003. 2003. Tagungsmaterial, Ordner.
- [Hüggling, 2000a] A. HÜGGING. Betriebserfahrungen mit der Zementmörtelauskleidung. 3R international - Rohre, Rohrleitungsbau, Rohrleitungstransport. 39. Jhrg. (Heft 6). Seiten 344 – 348. 2000.
- [Hüggling, 2000b] A. HÜGGING. Ertüchtigung von Gasnetzen aus Grauguss mit Berstlining. 3R international - Rohre, Rohrleitungsbau, Rohrleitungstransport. 39. Jhrg. (Heft 9/10). Seiten 602 – 607. 2000.
- [Hüning und Homann, 1997] R. HÜNING und K. HOMANN. Handbuch der Gas-Rohrleitungstechnik. Oldenbourg Verlag. München, Wien. 2. Auflage. 1997.
- [IFK, 2005] IFK - Ingenieurbüro für Kanalstandhaltung. Kanalzustandsbewertung. Informationen des IFK - www.ifk-ingbuero.de. September 2005.
- [IKT, 2007] IKT - Institut für Unterirdische Infrastruktur. Handbuch Schacht 2007. erschienen Januar 2007.
- [Ing.-Büro Fischer-Uhrig, o.J.] Ingenieurbüro Fischer-Uhrig. STANET: Software zur Rohrnetzberechnung. Württembergallee 27, 14052 Berlin.
- [Irle, 1984] H. IRLE. Zusammenhänge von Wasserverlusten, Bodenaggressivität und Schadenshäufigkeit in Rohrnetzen erdverlegter Rohrleitungen aus Stahl. gwf - Wasser/Abwasser. 125. Jhrg. (Heft 4). Seiten 163 – 169. 1984.
- [Jansen, 1993] M. JANSEN. Mohenjo-Daro: Stadt der Brunnen und Kanäle, Wasserluxus vor 4500 Jahren. Wirtschafts- und Gesellschaftsverlag Gas und Wasser mbH (wvgw). 1993. ISBN 10: 3922671020 ISBN 13: 9783922671022.
- [Kaempffe, 1956] G. KAEMPFFE. Über die Entstehung der Berliner Stadtentwässerung. gwf - Wasser/Abwasser. Heft 10 (Heft 10). Seiten 426–431. 1956.
- [Kaltenhäuser, 2005] G. KALTENHÄUSER. IKT-Warentest - Hausanschluss-Liner, Endbericht. IKT - Institut für Unterirdische Infrastruktur, Gelsenkirchen. November 2005. download unter URL: <http://www.ikt.de>.
- [Kaltenhäuser, 2006] G. KALTENHÄUSER. Sanierung von Anschlussstutzen. In: W. Heinz (Hrsg.): Instandsetzung von Rohrleitungen; Band 2: Sanierung von Abwasserleitungen und -kanälen. Seiten 246 – 249. Vulkan-Verlag GmbH. 2006.
- [Kiesselbach, 1990] G. KIESELBACH. Zur Biegebeanspruchung erdverlegter Rohrleitungen aufgrund von Unebenheiten der Rohrgrabensohle. 3R international. 29 (Heft 10). 1990.
- [Kiesselbach, 1991] G. KIESELBACH. Zum Beanspruchungs- und Verformungsverhalten von erdverlegten Kunststoffrohren. gwa - Gas Wasser Abwasser. 71 (Heft 8). 1991.
- [Kiesselbach, 1992] G. KIESELBACH. Statistisches Sicherheitskonzept für erdverlegte Rohrleitungen. gwa - Gas Wasser Abwasser. 72 (Heft 2). 1992.
- [Kiesselbach, 1997] G. KIESELBACH. Rohrkenfelder für erdverlegte PE-Gasrohre. 3R international. 36 (Heft 2/3). 1997.
- [Kiesselbach, 1998] G. KIESELBACH. Rohrgrabenverfüllung - neue technische und wirtschaftliche Aspekte. In: Rohrbau 1998, Tagungsmaterial. 1998.
- [Kiesselbach, 2000] G. KIESELBACH. Beanspruchung von Rohrleitungen während des Einbauzustandes. In: ROHRBAU 2000, Weimar, Tagungsband. Seiten 207–219. 2000.
- [Kimse, 2004] J. KIRMSE. Erfahrungen bei der Anwendung von WBM Weimarer Boden-Mörtel. In: Vortrag auf dem 12. ROHRBAU-Kongress "Instandhaltung von Leitungsnetzen" am 1./2. Dezember 2004 in Weimar. 2004. Tagungsband, S. 108-116.
- [Klemm et al., 1994] H. KLEMM, K. SCHIECK, W. MÜLLER und P. REBOHLE. 100 Jahre Trinkwasserversorgung aus sächsischen Talsperren. Erzgebirge Wasser/Abwasser AG. Chemnitz. 1994.
- [Kluger, 2012] M. KLUGER. Historische Wasserwirtschaft und Wasserkunst in Augsburg. Kanallandschaft, Wassertürme, Brunnenkunst und Wasserkraft. context Verlag Augsburg. Augsburg. 2012.
- [Köhler, 1997] R. KÖHLER. Tiefbauarbeiten für Rohrleitungen. Verlagsgesellschaft Rudolf Müller. Köln. 6. Auflage. 1997.
- [Kornatz, 2008] A. KORNAZ. Risikobasierte Budgetierung von Instandhaltungsmaßnahmen für Gas- und Wassernetze. energie | wasser praxis. 2008 (11). Seiten 36–40. 2008.

- [Kottmann, 1978] A. KOTTMANN. Über die Ursachen von Rohrbrüchen in Versorgungsleitungen. Dissertation. Stuttgart. 1978.
- [Kottmann, 1979] A. KOTTMANN. Ein Weg zur Voraussage von Rohrbrüchen. *gwf - Gas/Erdgas*. 120 Jrg. (Heft 5). Seiten 231 – 235. 1979.
- [Kottmann, 1980a] A. KOTTMANN. Ergebnisse aus Rohrschadensuntersuchungen. *gwf - Wasser/Abwasser*. 121. Jrg. (Heft 10). Seiten 483 – 490. 1980.
- [Kottmann, 1980b] A. KOTTMANN. Rohrbrüche: Jahreszeitliche Schwankungen der Bruchzahlen und Bruchursachen. *gwf - Wasser/Abwasser*. 121. Jrg. (Heft 2). Seite 84. 1980.
- [Kottmann, 1989] A. KOTTMANN. Graphitierung - die unmerkliche Korrosion. In: Symposium Entwicklung der Rohre und Rohrwerkstoffe. Heft 14 in Schriftenreihe der Frontinus-Gesellschaft. Seiten 227 – 232. 1989.
- [Kottmann, 1994] A. KOTTMANN. Grundsätze für die Erneuerung oder Instandsetzung von Gasrohrleitungen. *gwf - Wasser/Abwasser*. 135. Jrg. (Heft 6). 1994.
- [Krause, 2014] H. KRAUSE. Das Gasnetz als komplementärer Bestandteil eines Gesamtenergiesystems. Vortrag auf dem 28. Rohrleitungsforum in Oldenburg am 6. und 7.2.14. Februar 2014.
- [Kropp et al., 2013] I. KROPP, I. BLANK, H. DINNESSEN und G. KÄSER. Mit einer integrierten Netzstrategie zum Zielnetz. 3R. 2013 (04-05). 2013.
- [Kropp und Leuschke, 2005] I. KROPP und J. LEUSCHKE. Nachhaltige Erneuerung der Netze - Langfristige Strategien. *wwt*. 7-8. Seiten 18–22. 2005.
- [LAGA, 1997] Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA). Anforderungen an die stoffliche Verwertung von mineralischen Reststoffen/Abfällen (LAGA-Richtlinie). 1997. Technische Regel der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall.
- [Langlouis, 2001] W. LANGLOUIS. Crossed-linked polyethylene: History, structure and cross-linking types, jointing methods. *3R International*. 40 (9). Seiten 570–574. 2001.
- [Lenz und John, 1996] J. LENZ und H.-J. JOHN. Ertüchtigung, Sanierung, Erneuerung von Druckrohrleitungen. Vulkan Verlag. Essen. 1996.
- [Leonhardt, 1979] G. LEONHARDT. Bodenmechanische Fragen der statischen Berechnung und Einbettung von erdverlegten Rohrleitungen. *Korrespondenz Abwasser*. 26. Jrg.. Seiten 489–493. 1979.
- [Leonhardt, 1984] G. LEONHARDT. Einige Bemerkungen zum statischen und bodenmechanischen Konzept des ATV-Arbeitsblattes A 127. *Korrespondenz Abwasser*. 31. Jrg.. Seiten 528–531. 1984.
- [Löffler, 1965] H. LÖFFLER. Neue Gesichtspunkte zur frostsicheren Verlegung von Wasserleitungen. *wwt - wasserwirtschaft wassertechnik*. 15. Jrg. (Heft 10/11). Seiten 333 – 380. 1965.
- [Lübbecke, 2000] S. LÜBBECKE. Einfachere Möglichkeiten - Weimarer Bau-Mörtel als Verfüllmaterial beim modifizierten Pilot-Vortriebsverfahren. *ROHRBAU-Journal*. 2. Seiten 30–31. 2000.
- [Mai, 1967a] B. MAI. Die innerstädtische Wasserverteilung in den mittelalterlichen Städten. *Wissenschaftliche Zeitschrift der TU Dresden*. 16 (Heft 5). Seiten 1427–1430. 1967.
- [Mai, 1967b] B. MAI. Eine Betrachtung über die Entwicklung der deutschen Stadt im Zusammenhang mit der Wasserversorgung. *Wissenschaftliche Zeitschrift der TU Dresden*. 16 (Heft 4). Seiten 1049–53. 1967.
- [Mai, 1967c] B. MAI. Entwicklungstendenzen der Wasserversorgung in Mitteleuropa vom Mittelalter bis zur Mitte des 19. Jahrhunderts. *Wissenschaftliche Zeitschrift der TU Dresden*. 16 (Heft 3). Seiten 921–928. 1967.
- [Maler und Ahrens, 2007] P. MALER und J. AHRENS. Schadensprognosen für das Wasserversorgungsnetz mit OptNet. *gwf - Wasser/Abwasser*. 148 (9). 2007.
- [Manske, 2002] W. MANSKE. Salzgitter: Abkehr vom Feuerwehrprinzip. *wwt - wasserwirtschaft wassertechnik*. 52. Jrg. (Heft 1). Seiten 14 – 16. 2002.
- [MFPA, 1997] Materialforschungs- und Prüfanstalt an der Bauhaus-Universität Weimar (MFPA). Versuchsprotokoll: Statische Lastplattendruckversuche. Lützendorfer Straße. Mai 1997.
- [Matschoss, 1935] C. MATSCHOSS. Technikgeschichte. Band 25. VDI Verlag. 1935.
- [Merkel, 1899] C. MERKEL. Die Ingenieurtechnik im Altertum. Springer. 1899.
- [Meyer, 1982] F. MEYER. Bäume in der Stadt. Ulmer Verlag Stuttgart. 1982.
- [Meyer, 2012] T. MEYER. Großrohrsanierung von Trinkwasserleitungen. Vulkanverlag Essen. 2012.
- [Michalik, 1985] P. MICHALIK. Beitrag zur Ermittlung des ökonomisch günstigen Rekonstruktionszeitpunktes von Wasserversorgungsleitungen unter Nutzung des Datenbankteil Wasserversorgungsnetze. Dissertation. TU Dresden. 1985.

- [Michalik und Schweiger, 1986] P. MICHALIK und K.-H. SCHWEIGER. Ökonomische Beurteilung ausgewählter Maßnahmen der Rekonstruktion von Wasserversorgungsleitungen. Wissenschaftliche Zeitschrift der TU Dresden. 35. Jhrg. (Heft 3). 1986.
- [MKULNV NRW, 2013] Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen. SüwVOAbw - Selbstüberwachungsverordnung Abwasser, Verordnung zur Selbstüberwachung von Abwasseranlagen. vom 17. Oktober 2013 (GV. NRW. Nr. 33 vom 08.11.2013 S. 602) Gl.-Nr.: 77. 2013.
- [MUNLV NRW, o.J.] Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (MUNLV) des Landes Nordrhein-Westfalen. Kanalzustandsbewertung, Zustandsreferenzkatalog.
- [Müller, 1982] H. MÜLLER. Erfahrungen mit der Kanalsanierung am Beispiel Saarbrücken. In: Berichte der Abwassertechnischen Vereinigung e.V. Nr. 33. Seiten 281 – 294. ATV. St. Augustin. 1982.
- [Müller und Grescuchna, 1980] W. MÜLLER und R. GRESCUCHNA. Verbesserung des Zustandes kommunaler und industrieller Abwassernetze durch aktiven und passiven Korrosionsschutz. wwt - wasserwirtschaft wassertechnik. 30. Jhrg. (Heft 10). Seiten 345 – 348. 1980.
- [Munser und Steinbach, 1994] H. MUNSER und E. STEINBACH. Analyse der Möglichkeiten zur Sanierung der Fernwärmeversorgung in den neuen Bundesländern : Verbundprojekt ; Pilotprojekt ESA Sanierung wesentlicher Komponenten des Dresdner Fernwärmeversorgungssystems. Technical report. Amt für Energie. Dresden. 1994.
- [Mutschmann und Stimmelmayer, 1991] J. MUTSCHMANN und F. STIMMELMAYER. Taschenbuch der Wasserversorgung. Franckh-Kosmos Verlag. Stuttgart. 10. vollständig überarbeitete und aktualisierte Auflage. 1991.
- [Mutschmann und Stimmelmayer, 1995] J. MUTSCHMANN und F. STIMMELMAYER. Taschenbuch der Wasserversorgung. Franckh-Kosmos Verlag. Stuttgart. 11. überarbeitete und aktualisierte Auflage. 1995. Beteiligt: J. Bauer.
- [N.N., 1981] N. N. Anwendung von Reaktionsharzen im Betonbau, Teil 3.1: Füllen von Rissen in Beton, Stahlbeton und Spannbeton mit Reaktionsharzen. Beton- und Stahlbetonbau. 76. Jhrg. (Heft 11). Seiten 282 – 283. August 1981. Arbeitsbericht.
- [N.N., 2002] N. N. "Rolldown" in der Einkaufsstraße. wwt - wasserwirtschaft wassertechnik. 52. Jhrg. (Heft 6). Seite 51. 2002.
- [N.N., 2003] N. N. Endbericht zum Forschungsvorhaben "Quantitative Inspektion von Abwasserkanälen und -leitungen mittels geophysikalischer Verfahren". im Auftrag des Umweltministeriums des Landes NRW (MUNLV). Abschluss September 2003.
- [Naber, 1996] G. NABER. Fernwasserversorgung. R. Oldenbourg Verlag München. 1996.
- [Nappo, 1998] S. C. NAPPO. Pompeji. Die versunkene Stadt. italienische Ausgabe. Verlag Karl Müller GmbH. Köln. 1998. deutsche Ausgabe übersetzt von Claudia Theis-Passaro 1999.
- [N.N., 1995] N.N. Quantitative Analyse von Wärmeverlusten an Fernwärmeleitungen mit Infrarot-Thermographie. Fernwärme international. 24 (1/2). Seiten 63–64. 1995.
- [Österreichisches Patentamt, 1984] Österreichisches Patentamt. Österreichisches Patent AT Nr. 374163: Gießfähige Mischungen, vorzugsweise zum Verfüllen von Künnetten, Gräben und dgl. vom 15.08.1984. 1984.
- [Pfeiffer, 1937] A. PFEIFFER. Die Technik der Stadt. Franck'sche Verlagshandlung. Stuttgart. 1937.
- [Phetteplace, 1992] G. PHETTEPLACE. Measurement of Heat Losses from an Operating District Heating System (Messung von Wärmeverlusten an einem in Betrieb befindlichen Fernwärmesystem). Fernwärme international. 21 (3). Seiten 100–101. 1992.
- [Planel, 2014] B. PLANEL. Duktus-Rohre unter den Champs-Élysées. Inform. 2. Seite 4. 2014.
- [Poggemann und Fuchs, 1994] R. POGGEMANN und H. FUCHS. Praktische Erfahrungen bei der Leckortung an Fernwärmeleitungen durch akustische Korrelationsanalyse. Fernwärme international. 23 (4/5). Seiten 232–240. 1994.
- [Rameil und Naujoks, 2006] M. RAMEIL und G. NAUJOKS. Rohrleitungserneuerung mit Berstverfahren. Vulkanverlag Essen. 2006. ISBN 3-8027-2760.
- [Randzio, 1951] E. RANDZIO. Unterirdischer Städtebau. Walter Dorn Verlag. Bremen-Horn. 1951.
- [Rau, 2014] L. RAU. Neue Duktulgussrohrleitungen im Sammelkanal Frankfurt/Oder. Inform. 2. Seite 10. 2014.
- [Redmann, 2007] A. REDMANN. Kanal- und Baugrunderkundung im nicht begehbaren Bereich - Voruntersuchungen. IKT - Institut für Unterirdische Infrastruktur; im Auftrag des Umweltministeriums NRW (MUNLV). August 2007.
- [Richter, 1995] H. W. RICHTER. Verfahren zur Instandhaltung von Rohrnetzen. In: B. Osterholdt (Hrsg.): Instandhaltung von Ortsgasnetzen. Vulkan Verlag. 1995.



- [Rink, 2004] W. RINK. Langrohrrelining mit duktilen Gussrohren DN 800. Fachgemeinschaft Guss-Rohrsysteme (FGR). 2004 (38). 2004.
- [Romanowski und Scholz, 2014] L. ROMANOWSKI und E. SCHOLZ. Was sind "zeitweise fließfähige, selbstverdichtende Verfüllbaustoffe"? Technical report. rbv Infopoint Technik. 01 2014.
- [Roscher, o.J.a] H. ROSCHER. Erfassung, Zustandsuntersuchung und Klassifizierung von Schäden in Wasserversorgungsnetzen Wertung der tiefbaulichen Substanz. Unveröffentlichtes Manuskript.
- [Roscher, o.J.b] H. ROSCHER. Von der "Feuerwehrstrategie" zur flächendeckenden Rehabilitation von Wasserversorgungsnetzen. Thüringer Wasser-Journal, Heft 3, Seiten 34 - 46.
- [Roscher, 1969] H. ROSCHER. Zuarbeit zum Forschungsthema "Städtebauliche Grundlagen zur Anwendung von Sammelkanälen". Deutsche Bauakademie zu Berlin 1968, veröffentlicht in "Sammelkanäle im Städtebau" Schriftenreihe der Bauforschung, Reihe Städtebau und Architektur, Sonderheft 1, 1969. 1969.
- [Roscher, 1981] H. ROSCHER. Stadttechnik - Lehrbriefe für das Hochschulfernstudium. 1. Zentralstelle für das Hochschulfernstudium. 1981. original und erste überarbeitete Auflage 1984.
- [Roscher, 1984 ff.] H. ROSCHER. Lehrbriefe 1-3 "Stadttechnik". 1. und weitere Auflage. 1984 ff.
- [Roscher, 1989] H. ROSCHER. Handbuch Stadttechnik. Manuskript unveröffentlicht. 1989. Verlag für Bauwesen Berlin.
- [Roscher, 1991] H. ROSCHER. Grundlagen der stadttechnischen Erschließung für Rekonstruktions- und Modernisierungsgebiete, Stadttechnik, 3. Lehrbrief. 2. Auflage. Zentralstelle für das Hochschulfernstudium. Dresden. 1991.
- [Roscher, 1999] H. ROSCHER. Die Wasserversorgung Thüringens vom Mittelalter bis zur Gegenwart - 130 Jahre einheitliche Wasserversorgung in Thüringen - Ein Beitrag zur Technikgeschichte. Universitätsverlag Bauhaus-Universität. Weimar. 1999.
- [Roscher, 2002 ff.] H. ROSCHER. WW91 Rehabilitation von Rohrleitungen, Sanierung und Erneuerung von Rohrleitungen der Technischen Versorgung. Bauhaus-Universität Weimar, Weiterbildendes Studium Wasser + Umwelt. Weimar. 2002 ff.
- [Roscher, 2005a] H. ROSCHER. Das 21. Jahrhundert - Jahrhundert der Rehabilitation unserer Wasserrohrnetze. gwf Wasser Abwasser. 146 (12). Seiten 913-923. 2005.
- [Roscher, 2005b] H. ROSCHER. Rehabilitation von Rohrnetzen - eine Investition in die Zukunft. gwf Wasser Abwasser. 146 (12). Seite 891. 2005.
- [Roscher, 2006] H. ROSCHER. Talsperren und Fernwasserversorgungssysteme in Thüringen. Thüringer Fernwasserversorgung. Erfurt. Mai 2006.
- [Roscher, 2009] H. ROSCHER. Rehabilitation von Wasserversorgungsnetzen. Vulkan-Verlag GmbH. Berlin. 2009.
- [Roscher, 2010] H. ROSCHER. Umweltschonende nachhaltige Rehabilitation. In: M. RAMEIL (Hrsg.): Rohrleitungserneuerung mit Berstverfahren: Praxisleitfaden für Planer, Auftraggeber und ausführende Bauunternehmer. 2.. Seiten 179-184. Vulkan. Dezember 2010. Kapitel 9.1, ISBN: 3802727657.
- [Roscher, 2011] H. ROSCHER. Umweltfreundliche und nachhaltige Rehabilitation von Druckrohrleitungen. 6. Deutsches Symposium für die grabenlose Leitungserneuerung in Siegen, Tagungsband Seite 47-54. 2011.
- [Roscher, 2012] H. ROSCHER. Wasser für Roms Städte. Energie Wasser Praxis. 10. Seiten 83-84. 2012.
- [Roscher et al., o.J.] H. ROSCHER et al. Manuskript Handbuch "Stadttechnik". Unveröffentlicht.
- [Roscher et al., 2000] H. ROSCHER et al. Sanierung städtischer Wasserrohrnetze - Strategien - Verfahren - Fallbeispiele der Rehabilitation. Verlag für Bauwesen. Berlin. 2000. Mit CD-ROM.
- [Roscher et al., 2012] H. ROSCHER, E. KOCH und S. BARKOWSKY. Keyhole - das Schlüsselloch zur Rohrleitung. Grabenlose Rehabilitation von Rohrleitungen wird attraktiver. 3R Fachzeitschrift für sichere und effiziente Rohrleitungssysteme. 2012 (1/2). Seiten 72-80. 2012. ISSN: 2191-9798.
- [Roscher et al., 2011] H. ROSCHER, W. MANSKE, B. RICHTER, N. SCHLENTHER, S. SCHWARZER, M. STURM und H. ZECH. Vorteile grabenloser Bauverfahren für die Erhaltung und Erneuerung von Wasser-, Gas- und Abwasserleitungen. RSV Information. 2001 (11). Oktober 2011.
- [Roscher et al., 1997] H. ROSCHER, L. SAITENMACHER und D. PERDELWITZ. Frostschäden an Hausanschluß- und Versorgungsleitungen im Winter 1995/96 - 1. Teil Historischer Rückblick. gwf - Wasser/Abwasser. 138. Jhrg. (Heft 1). Seiten 1 - 9. 1997.
- [Saitenmacher et al., 1997] L. SAITENMACHER, D. PERDELWITZ und H. ROSCHER. Frostschäden an Hausanschluß- und Versorgungsleitungen im Winter 1995/96 - 2. Teil Statistische Erfassung von Schäden - Bewertung und Schlußfolgerungen. gwf - Wasser/Abwasser. 138. Jhrg. (Heft 1). Seiten 10 - 16. 1997.

- [Sasse, 1994] H. SASSE. Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen unter Verwendung von Kunststoffen - Sachstandsbericht. Technical Report Heft 443. Deutscher Ausschuß für Stahlbeton. 1994.
- [Schiller, o.J.] H. SCHILLER. Die Städteheizung.
- [Schmidt, 1986] A. SCHMIDT. Berechnung von zweischaligen Tunnelauskleidungen unter Berücksichtigung des Verbundes zwischen Spritz- und Pumpbeton. Bauingenieur. 61. Seiten 63 – 72. 1986.
- [Schmidt, 1999] D. SCHMIDT. Zulässige Schadensrate in Wasserrohrnetzen aus Sicht der Wirtschaftlichkeit und Versorgungssicherheit am Beispiel des Versorgungsgebietes Erfurt. gwf - Wasser/Abwasser. 140. Jhrg. (Heft 1). 1999.
- [Schmidt und Priebe, 1984] M. SCHMIDT und L. PRIEBE. 50 Jahre Bau- und Betriebserfahrungen mit den Fernwasserleitungen der Harzwasserwerke. Beiträge zur 5. Fachtagung Talsperrenbau Weimar 1984. 1984. Hochschule für Architektur und Bauwesen Weimar.
- [Schneider und Rau, 2010] M. SCHNEIDER und L. RAU. Gussrohr-Technik. Informationen der Fachgemeinschaft Guss-Rohrsysteme. 40. Seiten 10–12. 2010.
- [Schröter und Ahrens, 2002] R.-D. SCHRÖTER und J. AHRENS. Strategien der Netzerneuerung. wwt - wasserwirtschaft wassertechnik. 52. Jhrg. (Heft 5). Seiten 10 – 16. 2002.
- [Schweiger et al., 1985] K.-H. SCHWEIGER, P. MICHALIK und J. AHRENS. Zur Nutzung des Datenbankteils Wasserversorgungsnetze. wwt - wasserwirtschaft wassertechnik. 35. Jhrg. (Heft 3). Seiten 57 – 59. 1985.
- [Skarda, 1993] C. SKARDA. Außenkorrosion und Wasserrohrnetz - Erhaltung. gwa - Gas Wasser Abwasser. 73. Jhrg. (Heft 1). Seiten 1 – 14. 1993.
- [Skarda, 1998] C. SKARDA. Überlegungen zum Rohrnetzmanagement. gwa - Gas Wasser Abwasser. 78. Jhrg. (Heft 10). Seiten 867 – 875. 1998.
- [Sorge, 2006] H.-C. Sorge. Technische Zustandsbewertung metallischer Wasserversorgungsleitungen als Beitrag zur Rehabilitationsplanung. Dissertation. Fakultät Bauingenieurwesen der Bauhaus-Universität Weimar. Weimar. Oktober 2006.
- [Spahn, 2005] K. SPAHN. Beitrag zur Erfassung der Beanspruchung von in selbstverdichtenden Verfüllmaterialien eingebetteten biegeweichen und biegesteifen Rohrmaterialien im Kanalbau. Diplomarbeit. Bauhaus-Universität Weimar, Institut für Wasserwesen. 2005.
- [Städtische Anlagen Berlin, 1895] Städtische Anlagen Berlin. Administrative und sicherheitstechnische Regulative für elektrische Starkstrom-Vertheilungsanlagen von Berlin. Zeitschrift für Transportwesen und Straßenbau. 10. Juni 1895.
- [Stein, 1989] D. STEIN. Erneuerung innerstädtischer Ver- und Entsorgungsleitungen - Möglichkeiten und Probleme. Vortrag. Osaka. 1989. unveröffentlicht.
- [Stein, 1998] D. STEIN. Instandhaltung von Kanalisationen. Verlag Ernst & Sohn. Berlin. 3. erweiterte Auflage. 1998.
- [Stein und Kaufmann, 1993] D. STEIN und O. KAUFMANN. Schadensanalyse an Abwasserkanälen aus Beton- und Steinzeugrohren der Bundesrepublik Deutschland - West. Korrespondenz Abwasser. 40. Jhrg. (Heft 2). 1993.
- [Stein und Körkemeyer, 1991] D. STEIN und K. KÖRKEMEYER. Neue Technologien zur Sanierung von Kanalisationen. Abwassertechnik. 52. Jhrg. (Heft 5). Seiten 9 – 12. 1991.
- [Stein et al., 1988] D. STEIN, K. MÖLLERS und R. BIELECKI. Leitungstunnelbau - Neuverlegung und Erneuerung nichtbegehbbarer Ver- und Entsorgungsleitungen in geschlossener Bauweise. Verlag Ernst & Sohn. Berlin. 1988.
- [Stein et al., 1983] D. STEIN, W. NIEDEREHE und W. ZÄSCHKE. Taschenbuch für den Tunnelbau 1984. chapter Verfahren zum nachträglichen Einbringen von Produktrohren in unterirdische nichtbegehbare Hohlräume. Seiten 249 – 296. Verlag Glückauf. Essen. 1983.
- [Stevens et al., 2003] T. STEVENS, P. DIETZEL und A. LORIG. Einsatz von Absperrblasen bei Arbeiten an Gasleitungen. energie wasser praxis. 11. Seiten 10–14. 2003.
- [StGB, 2013] StGB. Strafgesetzbuch. Fassung vom 13. November 1998 (BGBl. I S. 3322), zuletzt geändert durch Art. 5 G vom 10. Oktober 2013 (BGBl. I S. 3799). Oktober 2013.
- [Strell, 1914] M. STRELL. Die Abwasserfrage in ihrer geschichtlichen Entwicklung von den ältesten Zeiten bis zur Gegenwart. Linecker Verlag. Leipzig. 1914.
- [Stützel et al., 2004] T. STÜTZEL, B. BOSSELER, C. BENNERSCHIEDT und H. SCHMIEDENER. Wurzeleinwuchs in Abwasserleitungen und -kanäle - Ursachen, Prüfung und Vermeidung. IKT - Institut für Unterirdische Infrastruktur, in Kooperation mit dem Lehrstuhl für Spezielle Botanik der Ruhr-Universität Bochum unter Beteiligung verschiedener NRW-Netzbetreiber im Auftrag des Umweltministeriums NRW (MUNLV). August 2004.

- [Stützel et al., 2007] T. STÜTZEL, B. BOSSELER, C. BENNERSCHIEDT und H. SCHMIEDENER. Wurzeleinwuchs in Abwasserleitungen- und -kanäle - Ursachen, Prüfung und Vermeidung - Ergänzungsvorhaben. IKT - Institut für Unterirdische Infrastruktur; in Kooperation mit dem Lehrstuhl für Spezielle Botanik der Ruhr-Universität Bochum im Auftrag des Umweltministeriums NRW (MUNLV). Juni 2007.
- [tandler.com, 2005] tandler.com GmbH. KASA-Handbuch, Programm zur Zustandsklassifizierung der Haltungen eines Kanalnetzes - Zusammenfassung. Informationen der tandler.com GmbH - unter: www.tandler.com. September 2005.
- [Waniek und Homann, 2004] R. WANIEK und D. HOMANN. IKT-LinerReport 2003/2004: Prüfergebnisse von der Baustelle. IKT-eNewsletter September 2004 und bi UmweltBau 09/04. 2004.
- [Waniek und Homann, 2006] R. WANIEK und D. HOMANN. IKT-LinerReport 2004/2005: Die Spanne weitet sich. IKT-eNewsletter Februar 2006 und bi UmweltBau 01/06. 2006.
- [Waniek und Homann, 2007] R. WANIEK und D. HOMANN. IKT-LinerReport 2006: Glas klar im Vorteil? IKT-eNewsletter April 2007 und bi UmweltBau 02/07. 2007.
- [Waniek und Homann, 2008] R. WANIEK und D. HOMANN. IKT-LinerReport 2007: Schlauchliner-Qualität besser als im Vorjahr. IKT-eNewsletter Januar 2008 und bi UmweltBau 1/08. 2008.
- [Waniek und Homann, 2009] R. WANIEK und D. HOMANN. IKT-LinerReport 2008: Schlauchliner-Qualität besser als im Vorjahr. bi UmweltBau 1/09. 2009.
- [Waniek und Homann, 2010] R. WANIEK und D. HOMANN. IKT-LinerReport 2009: Dicht dank Innenfolie: Quantensprung bei Wasserdichtheit. bi UmweltBau 5/10. 2010.
- [Waniek und Homann, 2011] R. WANIEK und D. HOMANN. IKT-LinerReport 2010: Schlauchliner bei Wasserdichtheit immer besser. bi UmweltBau 1/11. 2011.
- [Waniek und Homann, 2012] R. WANIEK und D. HOMANN. IKT-LinerReport 2011: Schlauchliner-Qualität auf Jubiläums-Hoch. bi UmweltBau 1/12. 2012.
- [Waniek und Homann, 2013] R. WANIEK und D. HOMANN. IKT-LinerReport 2012: Auf Wanddicken achten. bi UmweltBau 1/13. 2013.
- [Waniek und Homann, 2014] R. WANIEK und D. HOMANN. IKT-LinerReport 2013: 10 Jahre IKT-LinerReport. bi UmweltBau 1/14. 2014.
- [WHG, 2013] Wasserhaushaltsgesetz (WHG). Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushalts. Wasserhaushaltsgesetz vom 31. Juli 2009 (BGBl. I S. 2585), zuletzt geändert durch Art. 2 G vom 8. April 2013 (BGBl. I S. 734, 741 ff.). 2013.
- [FGSV, 2012] M. WEBELING und A. B. F. für Straßen- und Verkehrswesen. Hinweise für die Herstellung und Verwendung von zeitweise fließfähigen, selbstverdichtenden Verfüllbaustoffen im Erdbau. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV), Arbeitsgruppe Erd- und Grundbau. fgsv 563 Auflage. 2012. ISBN 3864460336, 9783864460333.
- [Weigt, 2000] R. WEIGT. 10 Jahre Betriebserfahrung mit dem Gewebeschlauchsaniervorhaben "Process Phoenix". 3R international - Rohre, Rohrleitungsbau, Rohrleitungstransport. 41. Jhrg. (Heft 3). März 2000.
- [Weimer, 1979] D. WEIMER. Leitungsdateien als Grundlage der Planung. gwf - Wasser/Abwasser. 120. Jhrg. (Heft 4). Seiten 186 – 192. 1979.
- [Werner und Henning, 1997] D. WERNER und O. HENNING. Schmalere Leitungsgräben durch verdichtungslose Rohrbettung und -verfüllung - ein neuer wirtschaftlicher Lösungsansatz. ROHRBAU-Mitteilungen. 1/97. Seiten 33–41. 1997. Hrg.: Forschungsinstitut für Tief- und Rohrleitungsbau Weimar e.V.
- [Willmann, 1903] L. WILLMANN. Der Straßenbau einschließlich der Straßenbahnen (bearbeitet von F. Laissele). In: Handbuch der Ingenieurwissenschaften. Wilhelm Engelmann Verlag. Leipzig. 3. Auflage. 1903.
- [Winkens, 1998] H. WINKENS. Heizkraftwirtschaft und Fernwärmeversorgung. Technical report. Verlags- und Wirtschaftsgesellschaft der Elektrizitätswerke m.b.H. - VWEW. 1998.
- [Winkler et al., 1989] M. WINKLER, P. DREWNIOK und H. HÖHNE. Umfang und Möglichkeiten der Rekonstruktion von Wärmenetzen. Städte- und Gebäudetechnik. 43 (Heft 5). Seiten 135–138. 1989.
- [Wiss und Krebs, 2001] J. WISS und M. KREBS. Früherkennung von Wasserverlust in Rohrleitungssystemen. 3R international - Rohre, Rohrleitungsbau, Rohrleitungstransport. 40. Jhrg. (Heft 1/2). Seiten 48 – 50. 2001.
- [Witt, 2000] K. WITT. Bodenmechanische Eigenschaften stabilisierter Verfüllmaterialien. In: Vortrag auf dem 9. ROHRBAU-Kongress "Innovativer Rohrleitungsbau" am 6./ 7. Dezember 2000 in Weimar. 2000. Tagungsband, S. 230-231.
- [Woborschil, 2008] H. WOBORSCHIL. Sicheres Arbeiten an Gasleitungen. energie wasser praxis. 3. Seiten 14–18. 2008.



- [Wossog, 1989] G. WOSSOG. Handbuch Rohrleitungsbau, Band I: Planung Herstellung Errichtung. VEB Verlag Technik. Berlin. 1989.
- [Wurster, 1979] E. WURSTER. 60 Jahre Landeswasserversorgung. GWF Wasser Abwasser. 120 (12). Seiten 557–563. 1979.
- [Zeitz, 1989] K. ZEITZ. Schadensstatistik und Schadensanalyse für Trinkwasserrohrnetze. Wissenschaftliche Zeitschrift der Hochschule für Architektur und Bauwesen Weimar. 35. Jhrg. (Heft 1/2). Seiten 41 – 46. 1989.
- [Zeller, 1995] A. ZELLER. Entwicklungen beim Verfüllen von kleinen Baugruben und Rohrgräben. 3R International. 34 (Heft 1/2). Seiten 22–28. 1995.
- [Zeller, 1997] A. ZELLER. Baustellengerechte Verdichtungsnachweise für Leitungsgräben, Ergebnisse und Umsetzung des DVGW-Forschungsvorhabens. In: Wasser Berlin 97, 2. Internationales Rohrleitungsbausymposium, Referate. Seiten 86–109. 1997.



## Glossar

### Abflusswert

Wassermenge, die in der Sekunde einen Abflussquerschnitt eines definierten Rohrleitungssystems durchfließt. Sie ist abhängig vom Gefälle, von der Querschnittsgröße der Leitung und der Rauigkeit ihrer Innenwand.

### Abnutzung

Im Sinne der Instandhaltung Abbau des Abnutzungsvorganges infolge physikalischer und/oder chemischer Einwirkungen.

### Abnutzungsvorrat

Im Sinne der Instandhaltung Vorrat der möglichen Funktionserfüllungen unter festgelegten Bedingungen, der einer Betrachtungseinheit aufgrund der Herstellung oder aufgrund der Wiederherstellung durch Instandsetzung innewohnt.

### Abrieb

Abnutzung der Werkstoffoberfläche durch schädigende oder zerstörerische Einflüsse.

### Absperrbake

Verkehrseinrichtung zum Absperrn bzw. Sichtbarmachen von Straßenbaustellen.

### Absperrzaun

Reißfeste Gitter aus PE in Signalfarbe orange für die Absicherung von Baustellen, Großveranstaltungen, Bahnlinien und Mülldeponien. Geeignet für Kurz- oder Langzeitbaustellen. Sicherungen aus PE, Farbe orange, div. Höhen, in Rollen à 50 m. Sonstige Einsatzzwecke: Absicherung bei Sport- oder Freizeitveranstaltungen.

### Abwasser

das durch häuslichen, gewerblichen, landwirtschaftlichen oder sonstigen Gebrauch in seinen Eigenschaften veränderte und das bei Trockenwetter damit zusammen abfließende Wasser (Schmutzwasser) sowie das von Niederschlägen aus dem Bereich von bebauten oder befestigten Flächen abfließende und gesammelte Wasser (Niederschlagswasser).

Abwasser kann vielfältige Verunreinigungen enthalten. Sie können in folgende wesentliche Belastungs- und Schadstoffgruppen unterteilt werden:

- leicht abbaubare organische Stoffe,
- schwer abbaubare organische Stoffe,
- Pflanzennährstoffe,
- Schwermetallverbindung,
- Salze und
- Abwärme.

Um die Gewässer zu schützen, müssen die Schadstoffe durch Behandlung des Abwassers und andere Maßnahmen möglichst weitgehend reduziert werden.

### Abwasserabgabengesetz

Auf der Grundlage des Abwasserabgabengesetzes müssen Einleiter schädlichen Abwassers (Gemeinden, Industrie) eine Abgabe zahlen. Die Höhe der Abwasserabgabe richtet sich nach der Schädlichkeit des eingeleiteten Abwassers. Für die Bestimmung der Schädlichkeit werden die Abwassermenge, die oxidierbaren Stoffe (in chemischem Sauerstoffbedarf -> Chemischer Sauerstoffbedarf), Metalle und Nichtmetalle, die organischen Halogenverbindungen (AOX)

sowie die Giftigkeit des Abwassers gegenüber Fischeiern der Bewertung zugrunde gelegt (Paragrafen in Verbindung mit Anlage A). Die Schädlichkeit wird durch den Messwert „Schadeinheit“ ausgedrückt. Je geringer die Schädlichkeit eines Abwassers ist, um so geringer ist auch die Abwasserabgabe. Die Abwasserabgabe soll daher dazu anreizen, die Schädlichkeit der Abwässer durch Vermeidungsmaßnahmen, nämlich Abwasserbehandlung, Einführung abwasserarmer oder abwasserloser Produktionsverfahren und Einführung umweltfreundlicher Produkte („Umweltzeichen“) zu vermindern.

### Abwasserableitung

bezeichnet den Transport des Abwassers durch Kanäle im Trennsystem oder Mischsystem

### Abwasseranfall

Als Faustregel kann gelten, dass das im kommunalen Bereich anfallende Abwasser insgesamt zu etwa je einem Drittel aus Fremdwasser, häuslichem Abwasser und kleingewerblich/industriellem Abwasser besteht. In Industriegebieten und Betrieben der öffentlichen Stromversorgung, die ihre Abwässer und Kühlwässer über werkseigene Kanalisationen unmittelbar in die Gewässer einleiten (Direkteinleiter), fallen weitere Kühl- und Abwassermengen an.

### Abwasserbehandlung

Die mechanische Abwasserbehandlung dient der Abtrennung von Feststoffen; grobe Stoffe werden durch Rechen, Sand im Sandfänger, aufschwimmende Stoffe wie Fette und Öle durch sogenannte Leichtstoffabscheider, sink- und absetzbare Stoffe (oft nach einer Neutralisation) im Vorklärbecken zurückgehalten. Bei der biologischen Abwasserbehandlung wird die Fähigkeit von Kleinlebewesen (vor allem von aeroben Bakterien) ausgenutzt, organische Substanzen zu metabolisieren (veratmen), das heißt sie in niedermolekulare Verbindungen, letztlich in Kohlendioxid, Wasser, Nitrat und Sulfat überzuführen. Dieser Prozess ist der natürlichen Selbstreinigung der Oberflächengewässer nachgeahmt, wobei das Verfahren durch die Konzentrationserhöhung an Bakterien usw. und durch die Sauerstoffzuführung in Form von Luft in den biologischen Kläranlagen wesentlich beschleunigt wird. Die biologische Abwasserbehandlung wurde notwendig, um die Vorfluter nicht durch übermäßigen Sauerstoffverbrauch zu belasten. Bei der chemischen Abwasserbehandlung wird durch Zugabe von Kalk oder Natronlauge das Abwasser neutralisiert, wobei Kolloide und Salze ausfallen können; auch Eisen- und Aluminiumsalze können zugesetzt werden. Den physikalisch-chemischen Abwasserbehandlungs-Methoden werden Flotation, Ionenaustauscher, Umkehrosmose und andere Verfahren zugerechnet.

### Abwasserbeseitigungskonzept

Grundlage aller Planungen von Abwasserentsorgungseinrichtungen im ländlich strukturierten Gebiet sollte ein überörtlich aufgestelltes Abwasserbeseitigungskonzept sein. Dieses entspricht dem im Gesetz vorgeschriebenem Abwasserbeseitigungsplan. Inhalt und Verbindlichkeit regelt das Länderrecht.

Ein Abwasserbeseitigungskonzept sollte enthalten:

- Festlegung des Geltungsbereiches,



- vorhandene Abwasseranlagen (Kanäle, Kleinkläranlagen, ortseigene Kläranlagen) und ihre technisch-wirtschaftliche Bewertung,
- aus Sicht des Gewässerschutzes notwendige Maßnahmen unter Berücksichtigung der rechtlichen Vorgaben,
- Alternativen und Varianten,
- kurz- und mittelfristige Übergangslösungen nach Prioritäten und mit Kostenangaben zur schrittweisen Annäherung an das Planungsziel.

### Abwassereinleitung

- 1 Die Einleitung von Abwasser in oberirdische Gewässer stellt einen Benutzungstatbestand dar und ist gemäß Gesetz erlaubnispflichtig. Im Gesetz werden die Mindestanforderungen festgelegt unter denen eine Erlaubnis für das Einleiten von Abwasser (nur) erteilt werden darf. Für Abwässer mit gefährlichen Stoffen ist der Stand der Technik einzuhalten. Nur wenn dieser eingehalten wird, darf eine Erlaubnis für das Einleiten erteilt werden. Hierzu erlässt die Bundesregierung mit Zustimmung des Bundesrates allgemeine Verwaltungsvorschriften über Mindestanforderungen an das Einleiten von Abwasser, die den allgemein anerkannten Regeln der Technik bzw. bei gefährlichen Abwässern dem Stand der Technik entsprechen müssen.
- 2 Die allgemeinen Verwaltungsvorschriften wurden ursprünglich grundsätzlich jeweils für einen bestimmten Herkunftsbereich erlassen. Eine Ausnahme bildeten die AbwV für Gemeinden und die AbwV für Mischabwässer, die beide Abwasser aus unterschiedlichen Teilströmen (kommunaler Bereich – gewerblicher Bereich) erfassten.

### Abweichung

Die Nichtübereinstimmung von Zuständen, Werten und Größen. Der Unterschied kann gegebenenfalls quantifiziert werden.

### Additive

Stoffe, die Produkten in geringen Mengen zugesetzt werden, um deren Eigenschaften zu verändern; z. B. Wasserenthärter zur Trinkwasseraufbereitung; Inhibitoren in Korrosionsschutzmitteln (Korrosionsinhibitor); Weichmacher, Stabilisatoren, Antioxidantien, Flammschutzmittel, Gleitmittel, Antistatika und Pestizide in Kunststoffen; Antiklopfmittel in Kraftstoffen. Bei Lebensmitteln und Körperpflegemitteln werden die Additive Zusatzstoffe genannt.

### aktiver Korrosionsschutz

Aktiver Korrosionsschutz beeinflusst unmittelbar die Korrosionsreaktionen. Hierzu gehören Veränderungen des Elektrolyten, Anbringen von Opferanoden und Potentialverschiebungen durch Fremdspannungen. s. a. kathodischer Korrosionsschutz

### Alterungsbeständigkeit

Durch geeignete Werkstoff-Rezepturen kann man den Abbau mechanischer Eigenschaftswerte vermindern und damit die gewünschte Produktlebensdauer bei gleichbleibender Qualität erreichen.

### Altlast

- 1 Unter Altlasten versteht man Altablagerungen und Altstandorte, von denen eine Gefährdung für die Umwelt, insbesondere für die menschliche Gesundheit ausgehen kann oder zu erwarten ist. Altablagerungen sind z. B. verlassene oder stillgelegte Ablagerungsplätze für kommunale oder gewerbliche Abfälle (Abfall), illegale Ablagerungen aus der Vergangenheit, stillgelegte Aufhaldun-

gen und Verfüllungen mit Produktionsrückständen (auch Bauschutt).

- 2 Altlasten sind ehemalige Deponien, Industrie- und Gewerbestandorte, undichte Leitungssysteme, defekte Abwasserkanäle und unsachgemäß gelagerte wassergefährdender Stoff und chemische Kampfstoffe, die nicht nach dem heutigen Stand der Technik abgedichtet sind. Sie stellen eine Gefahr für Mensch und Umwelt (besonders Boden und Grundwasser) dar. Um die Umweltschäden durch Altlasten zu verringern, werden Sicherungs- und Sanierungsmaßnahmen durchgeführt.

### Anode

positive Elektrode

### Anschluss- und Benutzungszwang

- 1 Wurde von der noch älteren Pflicht des Anschlusses an die öffentliche Wasserversorgung übernommen. Beim Abwasser können Landwirte mit dem Einverständnis der Gemeinde davon befreit werden.
- 2 Durch Satzung der Kommunen oder der Verbände begründete Pflicht für Unternehmer, private Haushalte usw., sich der kommunalen Abwasserbeseitigung anzuschließen und ihre Anlage zu benutzen. Die Kosten werden durch Erhebung von Beiträgen (Beitrag) und Gebühren (Gebühr) auf die angeschlossenen Benutzer umgelegt.

### Anschlussdichte

Anzahl der Anschlüsse je km Rohrnetz

### anthropogen

durch menschliche Einwirkung hervorgerufen

### Antistatika

Additive (z. B. für Polymere Werkstoffe) zur Verhinderung der elektrostatischen Aufladung der Oberflächen.

### Aquädukt

Eine Wasserleitung in Form von gedeckten Gerinnen, die auf steinernen, oft mehrstöckigen Brückenbogenkonstruktionen über Land geführt wurde. Die Hauptbauten wurden von den Römern geschaffen.

### Arbeitssicherheit

Maßnahmen zur Arbeitssicherheit dienen der Vermeidung von Gefahren gegenüber Mitarbeitern (Arbeitsunfälle) in einem Unternehmen.

### Asphalt

Asphalt ist ein natürliches oder künstlich hergestelltes Gemisch aus Bitumen und Mineralstoffen und wird vor allem als Straßen-, Weg- und Platzbelag (Gussasphalt) oder als elastische Dehnfugendichtung – im Wasserbau auch als Außendichtung – verwendet.

### Ausfall

Im Sinne der Instandhaltung unbeabsichtigte Unterbrechung der Funktionsfähigkeit einer Betrachtungseinheit.

### Auskleidungsverfahren

Entgegen der Begriffsdefinition in der Norm: Einteilung der Reliningverfahren (Rohrstrang-, Langrohr-, Kurzrohr-, Wickelrohr- und Schlauchrelining) und der Montageverfahren unter dem Sammelbegriff Auskleidungsverfahren (im englischen Sprachgebrauch „Lining Techniques“) zusammengefasst und unter den Verfahrensgruppen:

- Auskleidung mit Rohren (Rohrlining bzw. Relining) und
- Auskleidung mit Bahnen, Platten, Einzelelementen (Montageverfahren)

### Baulänge

- 1 Effektive Länge eines Bauteils im eingebauten Zustand.
- 2 Rohrleitungsbau: Die Baulänge eines Rohres mit glattem Ende (ohne Muffe) ist der Abstand zwischen den Enden des Rohrs. Die Baulänge eines Rohres mit angeformter, geklebter oder angeschweißter Muffe ist der Abstand zwischen dem glatten Ende und dem Muffengrund.

### Belästigung

Das, was belästigt oder verletzt, z. B. überlaute Geräusche, Emissionen von schädlichen Gerüchen, verunreinigende Ausstöße. Es existiert eine Reihe von einschlägigen gesetzlichen Regelungen, s. Umweltbelastung.

### Berstlining

Das Berstlining einer zu sanierenden Leitung ist ein Verfahren der grabenlosen Neuverlegung. Die sanierungsbedürftige Leitung wird mittels eines eingeführten Berstkörpers zerstört. Die Bruchstücke des Altrohres werden dabei in das umgebende Erdreich verdrängt. In dem entstandenen Hohlraum werden im gleichen Arbeitsgang die an den Verdrängungskörper angekoppelten Kurzrohre gleicher oder größerer Nennweite eingezogen (dynamisches Bersten) bzw. nachgeschoben (statisches Bersten). Vgl. auch grabenlose Verlegetechnik.

### Beschichtung

Beschichtung ist ein Sammelbegriff für eine oder mehrere in sich zusammenhängende, aus Beschichtungsstoffen hergestellte Schichten auf einem Untergrund.

### Beschichtungsverfahren

Beschichtungsverfahren dienen zur Aufbringung einer geschlossenen Schicht auf die Kanalinnenwandung zur Wiederherstellung oder Erhöhung des Widerstandsvermögens gegen physikalische, biologische, chemische und/oder biochemische Angriffe von innen, zur Verhinderung einer erneuten Bildung von en, zur Wiederherstellung und/oder Erhöhung der statischen Tragfähigkeit sowie der Wasserdichtheit.

### Bestandskarte

Die kartografische Darstellung eines bestehenden Zustandes, z. B. der bisherigen Lage, Größe und Nutzung der im Umlageungsgebiet gelegenen Grundstücke mit Bezeichnung der Eigentümer oder eines Bauwerks, in die maßstäblich oder in Verbindung mit dem eingetragenen Zahlenmaterial die räumliche Lage des Objekts in bestimmten Zeitabständen eingezeichnet wird.

### Bestandsplan

ist die lagerichtige, aktuelle, grafische Dokumentation von Leitungsnetzen und Betriebsmitteln (z. B. Kanal, Gas, Wasser, Strom, Telekom); häufig wird dabei die ALK oder die Flurkarte als Basiskarte verwendet. Typische Maßstäbe 1:250 bis 1:500. Geführt bei Ver- und Entsorgungsunternehmen, Stadtwerken oder Tiefbauämtern. Weitere ergänzende Planwerke sind der Übersichtsplan, das Hausanschlusskataster, Störmeldungskataster, Schemapläne.

Bestandspläne sind der maßstäbliche Nachweis aller Leitungen und Betriebseinrichtungen eines Versorgungsnetzes.

### Betriebsdruck

OP (Operating Pressure) - Innendruck, der zu einem bestimmten Zeitpunkt an einer bestimmten Stelle im Wasserversorgungssystem auftritt.

### betriebswirtschaftliche Nutzungsdauer

Begrenzung der Nutzungsdauer im Zuge der kalkulatorischen Bewertung der Gesamtkosten (Kapital-, Betriebs- und Instandsetzungskosten unter Berücksichtigung der Kosten für Wasserverluste) einer neuen Leitung im Vergleich zu einer vorhandenen Leitung.

### Bewitterungstest

Prüfung, wie Werkstoffe auf Bewitterungs- und Bestrahlungseinflüsse reagieren. Es gibt Langzeittests in Freibewitterungsanlagen (Rehau, Arizona, Florida) und Kurzzeittests unter Laborbedingungen (z. B. Xenotest-Geräte).

### Bitumen

- 1 Erdölprodukt, das technisch bei der Erdölverarbeitung (Aufbereitung und Kondensation durch Destillation) anfällt. Wird als Anstrich- und Dichtungsmittel sowie beim Bau von Straßendecken und Auftragen von Fußböden verwendet.
- 2 Bitumen in verschiedenen Ländern als Naturbitumen rein bzw. als Rückstand bei Rohöldestillation.
- 3 Alle natürlich vorkommenden oder aus Naturstoffen ohne Zersetzung gewonnenen flüssigen oder festen Kohlenwasserstoffgemische.

### Blasverfahren

Blasen bzw. Extrusions-Blasen ist ein Verfahren zur Herstellung von Hohlkörpern (z. B. Flüssigkeitsbehälter) aus polymeren Werkstoffen. Der Extruder extrudiert einen Rohling bzw. Vorformling, der anschließend in der Form (Blaswerkzeug) durch Zuführung von Luft an die Werkzeuginnenwände gepresst wird und dadurch die gewünschte Raumform annimmt.

### Bodenart

- 1 Nach der Norm „Baugrund und Grundwasser – Benennen und Beschreiben von Boden und Fels“: Einheitliche Benennung und Beschreibung der Böden nach Art, Farbe und Beschaffenheit.
- 2 Mit der Bodenart wird die Korngrößenzusammensetzung des mineralischen Bodenmaterials gekennzeichnet. Neben dem Grobboden (Körnung > 2 mm) ist der Feinboden mit den Fraktionen Sand, Schluff und Ton beteiligt.

### Bohrvortriebsverfahren

Die Verlegung von Rohren im Bohrtrieb ist ein Verfahren grabenloser Neuverlegungen (grabenlose Verlegetechnik). Zur unterirdischen Herstellung horizontaler Leitungen im Pressbohrverfahren werden die Produktrohre ohne Schutzrohr direkt vorgetrieben, bei gleichzeitigem Bodenabbau an der Ortsbrust mittels eines Bohrkopfes und kontinuierlicher Bodenabförderung mittels einer Förderschnecke. Die hydraulische Vorpresseinrichtung stützt sich in der Startgrube an einem Presswiderlager ab.

### Brauchwasser

- 1 Je nach techn. Verwendungszweck – z. B. Kühlwasser, Kesselspeisewasser – unterschiedlich aufbereitetes Rohwasser, z. B. Grundwasser oder Oberflächenwasser.

- 2 Regenwasser oder recyceltes Abwasser zum Gebrauch von Toilettenspülungen, Waschmaschine, Bewässerung (kein Trinkwasser).
- 3 s.a. Betriebswasser

### Brunnen

Der Brunnen ist eine technische Anlage, um Grundwasser und Uferfiltrat zu gewinnen.

Unterschieden werden Brunnen nach ihrer Herstellungsart: vertikal oder horizontal. Ein Vertikalbrunnen besteht aus einem senkrechten Rohr, das nur im Bereich einer wasserführenden Schicht gelocht oder geschlitzt und mit Kies umhüllt ist. Der Horizontalbrunnen hingegen besteht aus einem bis zur wasserführenden Schicht reichenden geschlossenem Rohr oder Schacht, an dessen Basis sternförmig angeordnete Horizontalbohrungen mit Filterrohrn ausgebaut werden und das Wasser zum Sammelschacht leiten.

### chemische Beständigkeit

Eine Eigenschaft, die in der Praxis bei Kontakt mit Gasen, Lösungsmitteln und Chemikalien unerlässlich ist. Sie kann durch spezielle Rezepturbestandteile beeinflusst werden.

### Cholera

Erreger ist das Stäbchenbakterium *Vibrio cholerae*. Dieser wird fäkaloral oder indirekt übertragen. Die Vibriolen siedeln sich im Dünndarm an. Infolge der dort massenhaften Vermehrung werden Exotoxine (Bakteriengift) frei, die zu Durchfällen und Erbrechen führen. Der Flüssigkeitsverlust ist enorm (bis zu 20 L/Tag) und führt unbehandelt zum Tod. Die letzte große Choleraepidemie in Deutschland trat 1892 in Hamburg auf. Damals wurde Trinkwasser aus der abwasserbelasteten Elbe ohne weitere Aufbereitung gewonnen. (s. Epidemie)

### Close-fit

Passungszustand zwischen der Außenseite des eingezogenen Rohres und der Innenseite der sanierten Leitung, wobei die Größe des verbleibenden Spaltes nur von den Rohrtoleranzen und dem Schrumpf des eingezogenen Rohres bestimmt wird.

### Co-Extrusion

Gleichzeitige Extrusion von Produkten unterschiedlicher Eigenschaften (verschiedene Materialien und Farben) aus Werkzeugen. Für jedes weitere Material oder jede weitere Farbe ist ein Zusatz-Extruder erforderlich.

### Daseinsvorsorge

Ist eine kommunale Selbstverwaltungsaufgabe der Kommunen. Sie ist Recht und Pflicht der Gemeinden und entspringt als Ausfluss der Selbstverwaltungsgarantie des Art 28 GG. Konkret versteht man unter Daseinsvorsorge die Bereitstellung der Infrastruktur (Energie, Entsorgung, Mobilität) zur Sicherung der Lebensbedingungen der Bürgerinnen und Bürger.

### Dichtheitsprüfung

- 1 Test, ob ein Rohrleitungssystem dicht ist. Die Prüfungsbedingungen sind für die verschiedenen Rohrarten in Normen vorgegeben.
- 2 Die Dichtheit einer Wasserkammern ist neben der sachgemäßen Ausführung der Behälterinnenflächen ein wichtiges Kriterium für die mängelfreie Ausführung des Behälters. Die Prüfung der Dichtheit ist daher immer ein unverzichtbarer Teil der Bauabnahme. In der Regel wird

die Prüfung vor Ausführung einer Oberflächenbehandlung am freistehenden bzw. nicht hinterfüllten Behälter durchgeführt.

### Diocetylphthalat

(DOP) Bei der Rezeptierung von Weich-PVC üblicherweise eingesetzter Weichmacher. Die chemisch korrekte Abkürzung lautet DEHP (Diethylhexyl-phthalat). Beide Abkürzungen sind in der Fachliteratur gebräuchlich.

### DIN-Normung

Ein Ordnungsinstrument des technisch-wissenschaftlichen Bereichs und des persönlichen Lebens. Sie ist die planmäßige Vereinheitlichung von materiellen und immateriellen Gegenständen bzw. Begriffen zum Nutzen der Allgemeinheit und dient der Sicherheit von Menschen und Sachen. So gelten solche Normen, z. B. auch als Durchführungsanweisungen zu Unfallverhütungsvorschriften.

### Direkteinleiter

Gewerbe- und Industriebetriebe, die ihre Abwässer über eine eigene Kanalisation direkt in ein Gewässer einleiten. Hierzu ist eine wasserrechtliche Erlaubnis nach dem Wasserhaushaltsgesetz erforderlich. (s. a. Indirekteinleiter).

### Doppelrohrsystem

Doppelwandiges Rohrleitungssystem. Es besteht aus einem Innenrohr und einem mit Abstandshaltern fixiertem Außenrohr. Im Innenrohr wird das Medium transportiert, das Außenrohr dient als Schutz im Falle von Undichtigkeit des Innenrohres.

### Drainage

Dränage

### Dränage

- 1 Regelung des Bodenwasserhaushalts durch Verfahren der Rohrdränung (Sauger und Sammler), der rohrlosen Dränung (Gräben) oder durch Einbringen von Hilfsstoffen (Kies oder Kunststoffe) zur unterirdischen Wasserableitung aus vernässten Böden.
- 2 (franz.: Drainage) Entwässerung von Bodenschichten durch ein System von Dränrohren, Sickerrohren, Sickerschlitzten, Sickerschichten und Dränmatten.

### Dränmatte

Großflächiges, flexibles Produkt aus Polymeren. Zur flächigen Aufnahme und Ableitung von Wasser, z. B. an erdbe-rührten Bauwerken.

### Dränrohr

Sammelbegriff für Rohre, die über den gesamten Umfang der Rohrwandung Wasser aufnehmen und ableiten.

### Druckrohr

muss einen definierten Betriebsdruck aushalten - im Unterschied zur Freispiegelleitung.

### Druckschlauch

Schlauch mit offener Diagonalarmierung, d. h. freien Feldern zwischen den Armierungsfäden.

### Druckstufe

Sie definiert den maximal zulässigen Druck, für den ein Rohr, eine Armatur oder ein Gerät ausgelegt ist. (s. Nenn-druck)



**Druckverlust**

Druckunterschied zwischen zwei Querschnitten einer durchströmten Rohrleitung oder zwischen Eintritts- und Austritts-Querschnitt einer Pumpe, einer Armatur und dgl.

**Düker**

Kreuzungsbauwerke, bei denen eine Abwasserleitung (ein Hindernis) unterquert wird.

**Durchschlagfestigkeit**

Maß für das Isolationsverhalten eines Polymers. Die Durchschlagfestigkeit ist der Quotient aus der elektrischen Durchschlagspannung und dem Abstand der beiden Elektroden, zwischen denen die Spannung angelegt ist. Dabei ist die Durchschlagspannung der Wert einer Wechselspannung in Volt oder Kilovolt zwischen zwei Elektroden, die zur Zerstörung des Isolationsmaterials führt und einen Stromschlag auslöst.

**Duroplast**

Hochmolekulare Verbindungen, Polymere mit stabilen chemischen Querverbindungen. Große Festigkeit und Belastbarkeit. Nach der Formung und Vernetzung ist keine Veränderung mehr möglich.

**Einbautiefe**

Der Abstand von der Grabensohle zur Oberkante Rohrgraben.

**Eintrittswahrscheinlichkeit**

(auch Schadenswahrscheinlichkeit, oder Schadenshäufigkeit) bezeichnet den statistischen Erwartungswert oder die geschätzte Wahrscheinlichkeit, für das Eintreten eines bestimmten Ereignisses in einem bestimmten Zeitraum in der Zukunft. Die Eintrittswahrscheinlichkeit ist ein Begriff der Wahrscheinlichkeitsrechnung bzw. Statistik und wird in Prozent, bzw. als ein Wert zwischen 0 und 1 angegeben.

**Elastomer**

Polymere Werkstoffe, die sich nahezu ideal elastisch verhalten, d. h. bei Einwirkung einer Kraft verformt sich der Gegenstand, bei Nachlassen der Kraft nimmt er (fast) genau die Ursprungsform ein. Die bleibende Verformung (der Druck-/Zugverformungsrest) ist im Gebrauchstemperaturbereich besonders niedrig (Verwendung z. B. für Dichtungen von Rohren und Armaturen).

**elektrische Isolationseigenschaften**

Allgemein haben Kunststoffe gute elektrische Isolationseigenschaften. Leitfähigkeit kann nur durch besondere Maßnahmen, z. B. mit Leitruß, Stahlfasern (Volumenleitfähigkeit) oder Antistatika (Oberflächenleitfähigkeit) erreicht werden.

**Elektroschweißverbindung**

Verbindungstechnik durch Aufheizung polymerer Werkstoffe mittels elektrischer Widerstandswärme.

**Entsorgung**

Die Beseitigung von Abwässern (Abwasser), Abfällen (Abfall) und Abgasen; neuerdings beschränkt auf das Abfallrecht. Entsorgung umfasst das Sammeln, Lagern, Befördern, Verwerten (Entsorgungs-Verbund) sowie die Vorbehandlung zur Ablagerung und die endgültige Ablagerung von Abfällen. Die Entsorgung radioaktiver Abfälle unterliegt nicht dem Abfall-, sondern dem Atomgesetz. Entsorger sind in der Regel per Vertrag an das Unternehmen gebundene Unternehmen, um regelmäßige betriebliche Reststoffe und Wertstoffe entgegenzunehmen. (s.a. Abfallverwertung und Abfallbeseitigung)

**Entsorgungsunternehmen**

Unternehmen, die für die Entsorgung z. B. von Abwasser, Müll etc. zuständig sind.

**Entwässerung**

Sammeln und Abführen von Abwasser bzw. Sicker-, Grund- und Oberflächenwasser.

**Epidemie**

Seuche; s. u. a. Wasserepidemie.

**Epoxydharz**

Künstliche Harzverbindung, die extrem gut haftet (Klebstoff).

**Erdgas**

Gemisch aus verschiedenen Gasen Erdgas ist ein Gemisch, das hauptsächlich aus Methan ( $\text{CH}_4$ ), Stickstoff ( $\text{N}_2$ ), einem geringen Anteil anderer Kohlenwasserstoffe (Ethan, Propan, Butan und Methan) und Spuren von Helium besteht. Aus dem unsichtbaren und von der Natur aus geruchlosen Gas wird hauptsächlich Wärme gewonnen.

Das Erdgas, was heute verbraucht wird, ist bereits vor vielen Millionen Jahren in größeren Tiefen unter der Erdoberfläche entstanden. Es hat sich unter besonderen Bedingungen über verschiedene geochemische Umwandlungsprozesse aus organischem Material gebildet. Dieses Gas ist durch Risse und Poren in den Gesteinsschichten nach oben gewandert. Traf es auf eine natürliche Barriere, z.B. eine Aufwölbung gasdichter Schichten, konnte sich eine Gaslagerstätte bilden. Gefördert wird das Gas aus diesen Lagerstätten über Bohrungen. An der Erdoberfläche wird das Gas gereinigt und getrocknet und gelangt anschließend über Pipelinesysteme bis zum Endverbraucher.

**Erlaubnis**

(wasserrechtliche ~) Im Gesetz eine generell vorgesehene Form der Genehmigung die die Befugnis gewährt, ein Gewässer zu einem bestimmten Zweck in einer nach Art und Maß bestimmten Weise zu benutzen. Widerrufbarer Verwaltungsakt normalerweise mit Auflagen und Befristungen. Widerruf muss begründet sein und unterliegt gerichtlicher Nachprüfbarkeit.

**Erneuerung**

- 1 Ersatz einer vorhandenen Leitung mit Schwachstellen durch Verlegung einer neuen Leitung. Anm.: Führt meist zur unmittelbaren Instandsetzung durch Reparatur.
- 2 Herstellung neuer Abwasserleitungen und -kanäle in der bisherigen oder einer anderen Linienführung, wobei die neuen Anlagen die Funktion der ursprünglichen Abwasserleitungen und -kanäle einbeziehen.

**Europäische Wasserrahmenrichtlinie**

Die Europäische Wasserrahmenrichtlinie (EU-WRRL) vereinheitlicht die Anforderungen an den Gewässerschutz in Europa auf einem hohen Niveau. Die meisten der bisherigen Richtlinien zum Gewässerschutz der EU gehen in der WRRL auf.

**Exfiltration**

Austreten, Ausströmen, Entweichen

**Extruder**

Wichtigste Verarbeitungsmaschine in der Polymerindustrie (Extrudieren)

**Extrudieren**

Strangpressen mit fleischwolfähnlichen Schneckenpressen (Extruder). Die pulver- oder granulatförmige Formmasse wird durch die Schnecke aufgenommen, transportiert und durch Reibung und zusätzliche Heizung plastifiziert. Beim weiteren Transport durch die Schnecke erhöht sich der Druck, und die formbare Masse wird durch eine nachgeschaltete Düse als längsgerichtetes, endloses Halbzeug in Form eines Stranges, Profils ausgepresst. Das Profil des Strangs entspricht den Konturen der Düse. Je nach Düsenform werden Profile, Bahnen, Rohre, Schläuche, Folien, Schläuche, Fäden, Stäbe, Platten u. ä. erzeugt.

**Extrusion**

Vorgang, durch den ein dreidimensionaler Volumenkörper durch das Auseinanderziehen einer zweidimensionalen Fläche entlang eines linearen Pfades erstellt wird (Extrudieren).

**Extrusionsblasen**

Kombination von Extrusion- und Hohlkörper-Blasen. Der heiße, aus dem Extruder tretende Schlauch wird in das Formwerkzeug gebracht, abgeschnitten und in der Form aufgeblasen. Dieses großtechnische Verfahren eignet sich, z. B. zur Herstellung von Tuben, Flaschen, Kanistern, Fässern oder technischen Hohlkörpern. Wie bei allen Druckluftverfahren nimmt die Wanddicke des vorgelegten Halbzeugs mit dem Grad der Verformung ab, durch Wanddickenregulierung während der Schlauchherstellung kann man die Wanddicke in Zonen mit hohem Verformungsgrad verstärken.

**Fäkalien**

In abflusslosen Sammelgruben und Behältern anfallende Exkremate menschlichen Ursprungs, soweit sie nicht in Abwasseranlagen eingebracht werden.

**Faulgas**

Biogas, Sumpfgas, durch bakterielle Umsetzung organischer Substanzen (Mist, Faulschlamm bei der Abwasserbeseitigung) entstehendes Gas, besteht zu 2/3 aus Methan und 1/3 aus Kohlendioxid. Durch den hohen Heizwert von 25.000 - 30.000 kJ/Nm<sup>3</sup> geeignet zu Heizung, Beleuchtung und Antrieb von Maschinen.

**Fehler**

Nichterfüllung vorgegebener Forderungen durch einen Merkmalswert

**Ferngas**

Ferngas ist eine Kennzeichnung von Erdgas, das über große Entfernungen transportiert wird.

**Fernsprechen**

Sprachkommunikation zwischen entfernten Endteilnehmern mit Hilfe eines Fernsprechers (Telefon) in hausinternen oder öffentlichen Netzen (Fernsprechdienst).

**Fernwärmeversorgung**

Die Geschichte der Kraft-Wärme-Kopplung begann bereits kurz vor der Jahrhundertwende mit der Auskopplung von Dampf aus dem Kraftwerksprozess. Stellt man diesen Dampf oder Heißwasser Wärmeverbraucher außerhalb des Kraftwerksgeländes über längere Rohrleitungen zur Verfügung, spricht man von Fernwärmeversorgung. Bei den Verteilernetzen unterscheidet man zwischen Freileitungen und erdverlegten Leitungen.

**Filterrohr**

Rohre aus Polymeren, Beton oder Steinzeug zur Aufnahme und Weiterleitung von Grund-, Sicker- und/oder Schichtwasser, deren Rohrwandung nur soweit durchlässig ist, dass der

umgebende wasserdurchlässige Füllboden nicht in das Rohr eindringen kann.

**Flächenkorrosion**

Korrosionsform: der metallene Werkstoff wird gleichmäßig abgetragen.

**Folgeschaden**

- 1 Adäquate Folgen des Einwirkungsschadens sind Folgeschäden bzw. mittelbare Schäden.
- 2 Beschädigung infolge mangelhafter Instandsetzung.

**Freispiegelleitung**

Rohrleitung oder Gerinne, in dem das Wasser unter Einwirkung der Schwerkraft (d. h. von selbst) von einem höher gelegenen Anfangspunkt zu einem tieferliegenden Endpunkt fließt.

**Funktionsfähigkeit**

Fähigkeit einer Betrachtungseinheit aufgrund ihres eigenen technischen Zustandes.

**Gas**

ist Materie in einem Aggregatzustand, bei dem die zwischenmolekularen Kräfte extrem gering sind. Die für die Verwendung als Heiz- und Brenngas wichtigen Eigenschaften der Gase können sehr unterschiedlich sein. Meist handelt es sich um Gemische aus brennbaren und nicht brennbaren Gasen. Die brennbaren Bestandteile sind überwiegend Kohlenwasserstoffe.

Gase lassen sich einteilen:

- a) nach der Erzeugung:  
Kokereigas, Stadtgas, Ferngas, Schwergas, Kohlenwassergas, Kokswassergas, Generatorgas, Gichtgas, Spaltgas, Naturgas;
- b) nach dem Vorkommen:  
Naturgase (Erdgas und Erdölgas); technisch hergestellte Gase;
- c) nach dem Heizwert:  
Schwachgase ( $H_o = 10\ 000\ \text{kJ/m}^2$ )  
Mittelgase, Wassergase ( $H_o = 10\ 000\text{--}30\ 000\ \text{kJ/m}^2$ )  
Normalgase ( $H_o = 30\ 000\text{--}60\ 000\ \text{kJ/m}^2$ )  
Starkgase ( $H_o$  höher als  $60\ 000\ \text{kJ/m}^2$ ).

**Gasrohr**

wird zum Befördern brennbarer Gase eingesetzt.

**Gasversorgung**

Zuständig für alle Fragen rund um die Erdgasversorgung ist das örtliche Gasversorgungsunternehmen. Dabei kann es sich zum Beispiel um Stadtgase oder eine regionale Gasgesellschaft handeln. Bei Bedarf lässt sich der örtliche Gasversorger über die kommunale Verwaltung in Erfahrung bringen.

**Gasverteilungsnetz**

System bestehend aus Rohren, Formstücken, Verbindungen, Armaturen

**Gebühr**

Abgaben an öffentliche Körperschaften oder Gemeinden, auch Entgelt für Gerichte, Rechtsanwälte, Notare, zur Kostendeckung gedacht (Abwassergebühr) im Gegensatz zur Abgabe (Zölle) oder Steuern (Ökosteur).

**Gefährdungspotenzial**

Ein von einem Stoff, einer Tätigkeit oder einer Anlage ausgehendes Risiko für die Umwelt (Luft, Boden, Wasser etc.).

**Gemeinwohl**

Das allgemeine Wohl betreffend. Politisch-soziologische Bezeichnung für das Gemein- oder Gesamtinteresse einer Gesellschaft, das oft als Gegensatz zum Individual- oder Gruppeninteresse gesetzt wird. Dabei wird i.d.R. übersehen, dass in pluralistischen, offenen Gesellschaften die konkrete inhaltliche Bestimmung des G. immer von den Interessen und Zielen derjenigen abhängig ist, die sich auf das G. berufen und das G. bestimmen (wollen) und/oder derjenigen, denen die Verwirklichung des G. nutzt.

**Genehmigung**

In einem Verwaltungsakt die Erlaubnis eines Rechtsge- schäfts oder einer Handlung.

**Geosynthetics**

Sammelbegriff für Geotextilien und Geomembranen.

**Geotextilien**

werden aus synthetischen Fasern hergestellt. Diese wasser- durchlässigen Stoffe erfüllen vielfältige Aufgaben im Stra- ßen-, Erd-, Grund- und Wasserbau: Geotextilien trennen, fil- tern, dränieren und stabilisieren.

**Gewässergüte**

- 1 Qualität von oberirdischen Gewässern. Zur Festlegung der Gewässergüte werden Parameter benötigt, die den Gewässerzustand abbilden und eine Bewerten (in Güte- klassen) ermöglichen.
- 2 Beeinträchtigung der Gewässergüte: Über Abwässer (Abwasser) können leicht und schwer abbaubare organi- sche Stoffe, Nährstoffe, Metallverbindungen, Reste von Wasch- und Reinigungsmitteln, Lösemittel, Treibstoffe und andere Schadstoffe in Oberflächenwasser gelangen. Gefährdungen gehen auch vom Straßenverkehr, der di- rekt (z. B. durch Verbrennungsrückstände im Abfluss von Niederschlagswasser) oder indirekt (z. B. durch Un- fälle mit wassergefährdenden Stoffen) die Wasserqualität (auch des Grundwassers) beeinflussen kann, und der Zersiedelung (Versiegelung) der Landschaft aus, die den Oberflächenabfluss beschleunigen.
- 3 Die Gewässergüte der Fließgewässer in der Bundesrepu- blik Deutschland wird in einer Gewässergüte-Karte von der Länderarbeitsgemeinschaft Wasser ausgewiesen. Nach der letzten Gewässergüte-Karte befinden sich die Gewässer der Bundesrepublik Deutschland in einem un- terschiedlichen und in vielen Fällen noch verbesserungs- bedürftigen Zustand. Gleichwohl kann festgestellt wer- den, dass sich die Gewässergüte vieler Fließgewässer (oder Gewässerabschnitte) in den letzten Jahren auf- grund des Baues und der Betriebsnahme zahlreicher bio- logischer Kläranlagen verbessert hat. Bei der Ermittlung der Gewässergüte nach dem Saprobien-system werden schwer abbaubare Stoffe und Metalle sowie der Zustand von Gewässerbett und Ufer nicht oder nur bedingt mit berücksichtigt. Dies soll in zukünftige Darstellungen stärker einbezogen werden.

**Gewebeschauch-Relining**

Das ursprünglich für die Sanierung von Gasleitungen ent- wickelte Gewebeschauch-Relining-Verfahren ist nach Weiter- entwicklung auch für die Sanierung von Trinkwasserversor- gungsleitungen zugelassen worden.

Der für die Sanierungsstrecke konfektionierte Gewebe- schlauch wird mit einer berechneten Klebstoffmenge gefüllt und in eine Drucktrommel eingebracht. Anschließend wird diese mit der Sanierungsstrecke verflanscht, und durch Ein- leiten von Druckluft wird der Reversionsvorgang gestartet.

Durch das Umkrepeln des Gewebeschauches beim Ein- fahren in die Sanierungsstrecke gelangt der Klebstoff zwi- schen Rohrrinnenwandung und Sanierungsschlauch.

**Glasfaser**

Verstärkungsstoff für Polymere. Die Zugabe von Glasfasern erhöht stark die Steifheit des Materials, bei gleichzeitiger Verringerung der Zähigkeit (Kurzglasfaser). Insbesondere bei der Extrusion führen Glasfasern zu schlechten, rauen Oberflächen.

**Gleitmittel**

Additive für die Verarbeitung von Polymeren, z. B. RAU-PVC, zur Anpassung der Gelier-, Viskositäts- und Gleiteigenschaften an die Anforderungen des jeweiligen Verarbeitungsverfahrens. Man unterscheidet innerlich wir- kende Gleitmittel, die in der Polymer-Schmelze löslich sind und äußerliche Gleitmittel, die vor allem an der Oberfläche wirken.

**grabenlose Verlegetechnik**

- 1 Unter grabenloser Verlegetechnik (no dig) versteht man die Sanierung oder Neuverlegung einer Leitung, wobei verfahrensabhängig auf das Öffnen der Leitungszone verzichtet werden kann oder sich der Bodenaushub auf sogenannte Kopflöcher reduziert. Im Abwasserbereich werden zur Sanierung üblicherweise bestehende Ein- stiegsschächte genutzt. Für Energie- oder Wasserversor- gungsleitungen sind i. d. R. Start- und Zielbaugruben er- forderlich.
- 2 Sanierungsverfahren sind z. B. Relining, wobei man un- terscheidet zwischen Langrohr-Relining, dem Einziehen eines Standardrohres und Kurzrohrrelining. Ein weiteres Verfahren ist die „Auskleidung mit passgenauen Roh- ren“. Zur grabenlosen Neuverlegung zählt man Berstli- ning und Bohrvortriebsverfahren.

**Graphitierung**

Die Graphitierung (oder Spongiose) ist eine spezielle Korro- sionsart, die an lamellarem oder an globularem Grauguss auftreten kann. Die Oberflächen von Bauteilen, die von ei- nem derartigen Korrosionsvorgang betroffen sind, zeigen sich weich und abfärbend wie Graphit. Der metallografische Schliff lässt erkennen, dass die Eisenmatrix selektiv aus dem Gefüge herausgelöst ist und nur noch das lamellar oder glo- bular angeordnete Graphitskelett besteht. Diese Korrosions- art tritt in Wässern unter Sauerstoffmangel insbesondere in sauerem oder brackigem Wasser auf. Auch nach der Reini- gung von Anlagen durch Säure mit Zusatz von Sparbeize wird Spongiose beobachtet. Vor derartigen Prozeduren soll- ten daher Bauteile aus Grauguss ausgebaut werden.

**Grundleitung**

Rohrsystem aus Kanalrohren.

**Grundschutz (Löschwasserbereitstellung)**

Brandschutz für das Gemeindegebiet ohne besonderes Sach- oder Personenrisiko. s. a. Objektschutz (Löschwasserbereit- stellung)

**Grundwasser**

- 1 Unterirdisches Wasser, das Hohlräume der Erdrinde zu- sammenhängend ausfüllt und sich unter dem Einfluss der Schwerkraft bewegt. Grundwasser führende Schich- ten heißen Grundwasserleiter, je nach Gesteinsbeschaf- fenheit unterscheidet man Porengrundwasserleiter, Kluftgrundwasserleiter oder Karstgrundwasserleiter. Der Grundwasserleiter wird nach unten durch eine undurch- lässige Schicht begrenzt (Sohlschicht). Mehrere solcher



Schichten bilden verschiedene Grundwasserstockwerke. Die obere Begrenzung des Grundwassers heißt Grundwasser Oberfläche.

- 2 Grundwasser ist ein Teil des natürlichen Wasserkreislaufs. Es wird durch versickernde Niederschläge (unterirdischer Abfluss, Sickerwasser) gebildet und fließt einem Oberflächengewässer (Vorfluter) zu oder tritt als Quelle oberirdisch aus. In Abhängigkeit von den Niederschlägen (Niederschlag) und den Vorflutverhältnissen (z. B. Hochwasser) unterliegt die Grundwasser Oberfläche natürlichen Schwankungen.

### Gütegemeinschaft

Zusammenschluss von Herstellern zum Zwecke der Gütesicherung ihrer Produkte. Der „Qualitätsverband Kunststoffherzeugnisse e.V. ist als Dachverband für die Gütesicherung von Kunststoffherzeugnissen von dem RAL, dem deutschen Treuhandorgan für alle Gütesicherungen, anerkannt und vom Bundesminister für Wirtschaft bestätigt. Der Qualitätsverband überträgt die Durchführung der Gütesicherung seinen fachlich geordneten „Gütegemeinschaften“, z. B. Gütegemeinschaft Kunststoffrohre e.V.

### Gütesicherung

Jede Gütesicherung umfasst

- Festlegung von Güte- und Prüfbestimmungen für die betreffende Erzeugnisgruppe und deren Billigung durch das Kuratorium des Qualitätsverbandes, in dem Kunststoffverarbeiter, Kunststoffherzeuger und neutrale Organisationen des öffentlichen Vertrauens zusammenarbeiten;
- Anerkennung der Gütevorschriften durch den RAL;
- Prüfung von Firmen-Erzeugnissen vor Gütezeichenverleihung;
- laufende betriebliche Eigenprüfung mit kontrollfähigen Aufzeichnungen, ergänzt durch
- Überwachungsprüfungen durch staatlich anerkannte Materialprüfanstalten.

### Haltung

Strecke eines Abwasserkanals zwischen zwei Schächten und/oder Sonderbauwerken.

### Hausanschluss

Verbindung zwischen Wasserversorgungsleitung bzw. öffentlichem Kanal und anzuschließendem Haus.

### Hausentwässerung

System zur Entwässerung von Gebäuden.

### Haushaltsabwasser

Schmutzwasser aus privaten Haushalten. Haushaltsabwasser enthält Bade-, Spül- und Waschrückstände, Speisereste, Exkremate sowie alle sonstigen in die Hausentwässerung (Toilette, Spüle) gebrachten flüssigen und schlammigen Abfälle. Die Menge je Einwohner entspricht in etwa dem Wasserbezug je Einwohner und ist infolgedessen in erster Linie vom Lebensstandard abhängig. Sie beträgt zwischen 80 und 400 Liter am Tag. Das Haushaltsabwasser ist Teil des kommunalen Abwassers.

### Hydrant

bezeichnet eine Armatur im Leitungsnetz einer Wasserversorgungsanlage zur Entnahme von z.B. Löschwasser. Er dient aber auch zur Spülung, Entlüftung und Entspannung der Rohrleitung, sowie zur Errichtung von Notverbindungen mittels Schläuchen. Man unterscheidet Überflur- und Unterflurhydranten.

### hydraulische Leitfähigkeit

- 1 Das Verhältnis des Fließgrades ( $m^3/d$ ) zu der Einheit des hydraulischen Gefälles durch den Querschnitt eines Geländes ( $m^2$ ) für eine spezifizierte Flüssigkeit unter gesättigten Verhältnissen. Formelzeichen:  $K$ , Einheit:  $m/d$ .
- 2 Proportionalitätsfaktor zwischen der Wasserbewegungs-, Durchflussrate und dem Gradienten des hydraulischen Potentials (hydraulisches Potential), gilt nur für Wasser einer bestimmten Temperatur bzw. Viskosität sowie eines bestimmten Lösungsinhalts des Fluids. Andere Bezeichnungen: Durchlässigkeit oder Permeabilität.

### Inbetriebnahme

Im Sinne der Instandhaltung: Bereitstellung einer funktionsfähigen Betrachtungseinheit zur Nutzung.

### Indirekteinleiter

Indirekteinleiter sind Gewerbebetriebe oder Privathaushalte, die ihre Abwässer in die öffentliche Kanalisation einleiten. Die Abwässer werden in kommunalen Kläranlagen gereinigt und anschließend in den Vorfluter geleitet. Indirekteinleiter entrichten nach dem Abwasserabgabengesetz Gebühren an die zuständige Gemeinde.

### Industrieabwasser

Industrieabwässer mit überwiegend abbaubaren organischen Inhaltsstoffen (z. B. aus den zahlreichen Branchen der Herstellung und/oder Verarbeitung von Lebensmitteln und Getränken) können in biologischen Kläranlagen, bei hohen Schmutzstoffkonzentrationen auch in mehrstufigen Anlagen, mit Abbauraten bis zu 99 % gut behandelt werden. Auch schwerer abbaubare organische Inhaltsstoffe (etwa in Abwässern der Chemischen Industrie oder der Mineralölverarbeitung) können in biologischen Hochleistungskläranlagen – vielfach in Kombination mit anderen Verfahren der Abwasserreinigungstechnik (wie Flockung/Fällung, Filtration, Flotation) – in beträchtlichem Umfang abgebaut werden. Besonders stark mit organischen Stoffen befrachtete Industrieabwässer oder Abwässerteilströme können mittels aerober Verfahren (in Biogasanlagen) oder thermisch behandelt werden, wobei die organische Fracht zur Energiegewinnung genutzt wird. Abwässer mit überwiegend anorganischen Inhaltsstoffen (z. B. Maschinen- und Fahrzeugbau, Gewinnung und Verarbeitung von Metallen, Metalloberflächenbehandlung) können chemisch-physikalischen Behandlungsverfahren (physikalisch-chemisches Reinigungsverfahren) unterzogen werden, wobei vielfach Wertstoffe – z. B. Metalle – zurückgewonnen werden können. In vielen Fällen können Schädlichkeit und Menge industrieller Abwässer oder Abwässerteilströme durch die Einführung wasser- und damit abwasserarmer oder -loser Produktionsverfahren und von Wasserkreisläufen reduziert werden. Aus Wärmekraftwerken der öffentlichen Stromversorgung werden große Kühlwassermengen überwiegend direkt in die Gewässer eingeleitet.

### Infiltration

- 1 Eindringen, Einsickern, Einströmen
- 2 Bewegung von Wasser durch die Bodenoberfläche in ein poröses Medium. (auch Versickerung)
- 3 Der Prozess bei dem Niederschlagswasser in den Boden einsickert und den Porenraum auffüllt. Ist die Bodenoberfläche wenig durchlässig, kann bei Regen nur wenig versickern, es entsteht Oberflächenabfluss. Die Infiltrationsrate gibt die Wassermenge an, die pro Zeiteinheit im Boden versickern kann.

**Infrastruktur**

Die technischen sowie sozialen Einrichtungen für die Daseinsvorsorge der Bevölkerung und die wirtschaftliche Entwicklung eines Gebietes.

**Injektion**

Unter Injektion (Einpressen) wird in Anlehnung an die Norm das Einbringen von Injektionsmitteln (Einpressgut oder Füllgut), d. h. pumpbarer Stoffe unter Druck in Hohlräume des Baugrundes oder von Bauwerken zum Zweck der Verfestigung und/oder Abdichtung verstanden.

**Inliner**

das beim Relining in die bestehende Rohrleitung eingezo- gene Rohr.

**Insitu**

in situ

**Inspektion**

- 1 Maßnahmen zur Feststellung und Beurteilung des Ist-Zustandes von technischen Mitteln eines Systems. (Erstellen eines Planes, Vorbereitung der Durchführung, Durchführung, Auswertung, Ableitung von Konsequenzen)
- 2 (Überprüfung) Maßnahmen zur Feststellung und Beurteilung des Ist-Zustandes der Verteilungsanlagen.
- 3 Maßnahmen zur Feststellung und Beurteilung des baulichen Ist-Zustandes sowie die Prüfung der Funktionsfähigkeit. Dabei ist besonders zu achten auf Undichtigkeiten, Abflusshindernisse, Lageabweichungen, mechanische Verschleißerscheinungen, Korrosion, Querschnittsänderungen, Rohrverbindungen und Risse.

**Instandhaltung**

Maßnahmen zur Bewahrung und Wiederherstellung der Funktionsfähigkeit sowie zur Feststellung und Beurteilung des Ist-Zustandes.

Diese beinhalten Maßnahmen:

- Wartung
- Inspektion
- Schadensbehebung
  - Instandsetzung
  - Sanierung
  - Erneuerung
- Verbesserung

**Instandsetzung**

Maßnahmen zur Wiederherstellung des Sollzustandes von technischen Mitteln eines Systems Auftrag, Planung, Entscheidung für eine Lösung, Vorbereitung, Vorwegmaßnahmen, Überprüfung Durchführung, Funktionsprüfung, Fertigmeldung, Auswertung einschließlich Dokumentation.

**Ist-Zustand**

Die in einem gegebenen Zeitpunkt festgestellte Gesamtheit der Merkmalswerte.

**Istzustandsabweichung**

Im Sinne der Instandhaltung Nichtübereinstimmung von Istzuständen (Ist-Zustand) vorwiegend einer Betrachtungseinheit zu verschiedenen Zeitpunkten oder auch mehrerer Betrachtungseinheiten zum gleichen Zeitpunkt.

**Kalk-Kohlensäure-Gleichgewicht**

Der Zustand der Calcit- bzw. Calciumcarbonat-Sättigung wird beim Wasser erreicht, wenn es bei Kontakt mit Calcit weder zur Auflösung noch zur Abscheidung von Calciumcarbonat neigt. Unterschreitet ein Wasser infolge eines Kohlensäure-Überschusses seinen eigenen pH-Wert der Calcit-sättigung, wirkt es calcitlösend; Überschreitung führt dagegen zu Übersättigung (calcitabscheidend). Trinkwasser soll gemäß den Bestimmungen der Trinkwasserverordnung nicht calcitlösend sein, da sonst Werkstoffe, die kalkhaltig sind (z. B. Beton), angegriffen werden können und auch die Schutzschichtbildung auf metallischen Oberflächen verhindert wird. Deshalb besteht die Notwendigkeit, durch Entsäuerung überschüssige Kohlensäure aus calcitlösendem Trinkwasser zu entfernen.

**Kanalisation**

Leitungsnetz der Entwässerung. Die Kanalisation dient der Erfassung und Ableitung von Schmutzwasser aus Haushalten, Industrie- und Gewerbebetrieben und von Niederschlagswasser. Schmutzwasser und Niederschlagswasser werden entweder getrennt (Trennsystem) oder gemeinsam (Mischsystem) abgeleitet.

**Kathode**

negative Elektrode

**kathodischer Korrosionsschutz**

Maßnahme zur Verhinderung der Korrosion. Durch Anlegen eines Stromes an den zu schützenden Gegenstand wird dieser zur Katode (negativ geladene Elektrode); die Korrosion erfolgt nur anodisch, d. h. an positiv geladenen Elektroden.

**Kläranlage**

- 1 Anlage zur Reinigung von Industrieabwässern und Haushaltsabwässern (Haushaltsabwasser). Je nach Abwasserbeschaffenheit, Konstruktion und Leistungsfähigkeit der Kläranlage erfolgt die Abwasserreinigung mechanisch (1. Stufe, mechanische Abwasserreinigung), biologisch (2. Stufe, biologische Abwasserreinigung) und weitergehend (3. Stufe, Dritte Reinigungsstufe). Die mechanische Reinigung entfernt auch Spur- und Sinkstoff. Sie nutzt die physikalischen Eigenschaften zur Rückhaltung der im Abwasser enthaltenen ungelösten Stoffe (Rechen, Sandfang). In der 2. Stufe werden die meist mechanisch vorgereinigten Abwässer mit Hilfe von Mikroorganismen gereinigt. Abgebaut werden dabei vor allem organische Stoffe, z. B. aus Lebensmittelresten und Fäkalien. In der weitergehenden Abwasserreinigung werden durch Einsatz von Chemikalien weitere Stoffe wie Phosphate und Schwermetalle gefällt und geflockt und aus dem Wasser entfernt. Bei der Klärung bleibt Blähschlamm übrig, der stabilisiert werden muss. Die festen Rückstände werden landwirtschaftlich verwertet, auf Deponien abgelagert oder verbrannt.
- 2 Es gibt ferner die Unterscheidung in Hauskläranlagen, dezentrale Gruppenkläranlagen oder Sammelkläranlagen. Die Vielfalt der heute angebotenen Möglichkeiten, bietet eigentlich für jeden eine Lösung für sein Abwasser. (Was den Sinn des Anschluss- und Benutzungszwanges ein weiteres mal in Frage stellt.)

**Klebemuffe**

Diese wird nachträglich an PVC-Rohre angeformt und ermöglicht Rohrverbindungen durch spezielle Kleber (z. B. THF = Tetrahydrofuran), die das PVC anlösen.

**Kloake**

- 1 (Biologie) Gemeinsamer Ausgang des Verdauungs-, Exkretions- und Fortpflanzungstrakts; bei allen Vertebraten mit Ausnahme der meisten Säuger.
- 2 (Abwassertechnik) Abwasserrinne; Abwasserkanal

**Kohlendioxid**

- 1 Ungenau: Farbloses, unbrennbares, schwach säuerlich riechendes und schmeckendes Gas; in freiem Zustand Bestandteil der Luft (0,03 %) und in Mineralquellen (Sauerbrunnen, Säuerlinge, Sprudel); gebunden in Form von Carbonaten (vor allem Calcium- und Magnesiumcarbonat); schwerer als Luft. Kommt in verflüssigter Form in Stahlbomben (Kohlensäure) oder fest (Trockeneis, Kohlendioxidschnee) in den Handel. Kohlendioxid ist an sich ungiftig; bis zu 2,5 % in der Luft sind unschädlich, 4–5 % wirken betäubend, ab 8 % tödlich (Erstickung). Für die meisten Lebewesen ist Kohlendioxid lebensnotwendig. Der Kreislauf des Kohlendioxids in der Biosphäre ist einer der wichtigsten in der Natur, er ist anfällig gegen menschliche Eingriffe. Kohlendioxid wird durch den thermischen Abbau und durch die mikrobielle Zersetzung von Abfällen produziert.
- 2 Eines der sechs Treibhausgase, die im Kyoto-Protokoll Emissionsreduktionszielen unterliegen. Ein farbloses, unbrennbares Gas und ein Bestandteil (0,03 %) unserer Atmosphäre. Es wird bei der Verbrennung von Brennstoffen wie Öl, Holz, Kohle, Gas freigesetzt. Kohle setzt dabei die größte Menge CO<sub>2</sub> pro gelieferter Energieeinheit frei, Gas die geringste. Die zweitgrößte Quelle für Kohlendioxid ist die Entwaldung z. B. durch Verbrennen, um Platz für die Landwirtschaft oder auch für Wohngebiete bereitzustellen. Eine gewisse Kohlendioxidmenge in der Atmosphäre ist notwendig. Sie sorgt für die zum Leben notwendigen Temperaturen auf der Erde. Allzu hohe Emissionen von Industrie und Verkehr haben die Kohlendioxidmengen sehr erhöht. Das hat durch die Verstärkung des Treibhauseffekts zur globalen Erwärmung beigetragen. Wichtige internationale Ziele zur Minderung der CO<sub>2</sub> Emissionen wurden im sog. Kyoto-Protokoll festgelegt. Bis zum Jahr 2008 sollten die CO<sub>2</sub> Emissionen weltweit um 20 % vermindert werden.

**Kohlenmonoxid**

Kohlenmonoxid entsteht überwiegend bei der unvollständigen Verbrennung fossiler Brennstoffe, vorrangig in Verbrennungsmotoren. Die Emissionen aus dem Kfz-Verkehr tragen zu einem großen Teil zur CO-Immissionssituation bei. Kohlenmonoxid verringert die Fähigkeit des Blutes, Sauerstoff aufzunehmen. Dies kann zu Sauerstoffmangel im Körper führen. Doch sind die CO-Konzentrationen so gering, dass in der Regel diese Konzentrationen deutlich unter toxikologisch begründeten Grenz- und Schwellenwerten liegen.

**Kohlensäure**

ist eine schwache Säure, die in geringen Mengen durch Lösen von Kohlenstoffdioxid in Wasser entsteht. Ihre Salze sind die Carbonate.

**Kohlenwasserstoff**

Abkürzung: KW, chemisches Zeichen: C<sub>x</sub>H<sub>y</sub>; organische Verbindung, bestehend aus Kohlenstoff und Wasserstoff; sind die Stammkörper aller organischen Verbindungen; die niederen Glieder sind geruchlose, brennbare Gase, die mittleren meist benzin- und petroleumartige Flüssigkeiten, die höheren feste Stoffe; man unterscheidet aliphatische, alicyclische und aromatische Verbindungen. Kohlenwasserstoffe

haben u. a. als Kraftstoffe oder Brennstoffe große Bedeutung (Erdgas, Propan, Benzin, Heizöl usw.). Kohlenwasserstoffe werden als Rohstoff in der chemischen Industrie verwendet.

**Kontamination**

- 1 (kontaminare lat. = verunreinigen). Verschmutzung oder Verseuchung durch Schadstoffe (z. B. Biozide), Krankheitserreger (pathogene Mikroorganismen) oder radioaktive Strahlung.
- 2 Die durch anthropogene Einflüsse hervorgerufene, über das natürliche Verteilungsmaß hinausgehenden, im z. B. Boden angereicherten, lokalen Stoffansammlungen, die infolge chemischer, physikalischer oder biologischer Prozesse mobilisiert werden und dadurch zu einer Belastung und/oder Gefährdung der natürlichen Lebensläufe führen.

**Korrosion**

- 1 nennt man die von der Oberfläche (z.B. eines Werkstoffes) ausgehende Veränderung, ausgelöst durch einen chemischen, biologischen, biochemischen oder elektrochemischen Prozess.
- 2 die allmähliche Zerstörung eines Metalls durch chemische Reaktion
- 3 Zu unterscheiden sind in folgende Korrosionsformen:

- Flächenkorrosion,
- Muldenkorrosion,
- Lochkorrosion.

**Krankheitserreger**

Mit dem Trinkwasser oder Badewasser können Krankheitserreger fäkalen Ursprungs übertragen werden und in Abhängigkeit von der Erregerkonzentration und der Anzahl der betroffenen Personen zu Einzelerkrankungen oder Explosivepidemien führen. Zu den wasserübertragbaren Infektionskrankheiten gehören neben den bakteriell verursachten, wie Cholera, Ruhr, Typhus, virale, wie Gastroenteritis, Hepatitis, auch solche durch Parasiten, wie Giardiasis und Kryptosporidiose.

**KTW-Empfehlung**

(Hrsg.: Umweltbundesamt): Gesundheitliche Beurteilung von Kunststoffen und anderen nichtmetallischen Werkstoffen im Rahmen des Lebensmittel- und Bedarfsgegenstandesgesetzes LFGB.

**Kunststoff**

Besser Polymere. Werkstoffe makromolekularer Natur, die entweder vollsynthetisch oder durch meist chemische Behandlung von vorgebildeten natürlichen Makromolekülen hergestellt werden. In der Praxis versteht man darunter überwiegend organische Verbindungen, die durch Polymerisation, Polykondensation oder Polyaddition gewonnen werden. Der Kunststoffbereich umfasst eine große Zahl verschiedenartigster Produkte, die in Technik und täglichem Leben eine immer wichtiger werdende Rolle spielen. Sie tragen in steigendem Maße zur Gestaltung der Umwelt bei und lösen als willkommenen Konstruktionswerkstoffe ständig neue Entwicklungsrichtungen aus. Zunehmend lösen sie auf vielfältigsten Gebieten herkömmliche Materialien und Werkstoffe ab, wobei sie sich in vielen Fällen als überlegen erweisen. Besondere Vorteile sind u. a. ihre geringe Dichte, Beständigkeit gegen Korrosionseinflüsse sowie die günstige Verformbarkeit, die mit speziellen Verfahrenstechniken maschinell in großen Serien eine wirtschaftliche Verarbeitung gestatten.



**Kurzrohr**

Kurzrohr-Relining

**Kurzrohr-Relining**

Kurzrohre mit einer Baulänge von ca. 1 m werden verwendet bei einer Verlegung ausgehend von einem Schacht oder von kleinen Startbaugruben, um an schwer zugänglichen Stellen, z. B. stark frequentierten Straßen oder bei Unterquerung von Schienensträngen, ein Aufgraben und damit verbundene Behinderungen sowie Einschränkungen zu vermeiden.

**Langrohr-Relining**

(auch Rohrstrangrelining): Eine größere Anzahl von Einzelrohren werden an Ort und Stelle zu einem Rohrstrang (Langrohr) zusammengeschweißt. Anschließend wird der Rohrstrang über eine Einziehbaugrube in den bestehenden Kanal eingezogen. Mit diesem Verfahren können Rohrleitungen der Dimensionen DN 80 bis DN 2000 bis auf eine Länge von bis zu 700 m täglich saniert werden. Die Kosten der Sanierung liegen bei etwa 50 % der Kosten für eine Neuverlegung in offener Bauweise.

**Langzeittest**

Prüfung zum Verhalten von Materialproben und Produkten bei chemischen, mechanischen und physikalischen Einwirkungen und Belastungen sowie bei Temperatur- und Klimaeinflüssen über Zeiträume von Monaten, u. U. Jahren.

**Leckklasse**

Gasfach: Die Einstufung der Leckstellen erfolgt in die Leckklassen A I, A II, B und C.

- Die *Leckklasse A I* bedeutet Befund in einem Gebäude. Sicherungsmaßnahmen und Reparatur der Leckstelle sind unverzüglich einzuleiten.
- Die *Leckklasse A II* weist eine Leckstelle mit der Befundgrenze in unmittelbarer Nähe von Gebäuden aus. Sicherungsmaßnahmen, wie z.B. Freilegung der Leitung für einen ungehinderten Abzug des Gases, sind unverzüglich zu treffen; die Reparatur der Leckstelle ist einzuleiten.
- Die *Leckklasse B* weist eine Befundgrenze einer Leckstelle in größerer Entfernung von einem Gebäude aus.
- In die *Leckklasse C* sind Leckstellen mit Befund einzuordnen, die eine solche Entfernung von Gebäuden haben, dass ein Eindringen von Gas in ein Gebäude nicht zu erwarten ist.

**Leckstelle**

lokalisierter und klassifizierter Austritt eines Mediums aus einem (geschlossenen) System.

**Leckstellenhäufigkeit**

Anzahl der Schäden/Leckstellen je km Rohrleitung, umgerechnet auf ein Jahr als Mittelwert eines Überprüfungszeitraumes.

**Leitungsabschnitt**

Kleinsten Teil eines Gasverteilungsnetzes mit gleichen bestandsbeschreibenden Attributen (Nennweite, Rohrwerkstoff, Rohrverbindung, Rohrumhüllung, Verlegungsart, Baujahr u. a. m.).

**Leitungsalter**

Alter eines Leitungsabschnittes zu einem bestimmten Zeitpunkt.

**Leitungsgruppe**

- 1 Gruppenweise Zusammenfassung einzelner Leitungsabschnitte hinsichtlich gleichartiger Merkmale und Verhaltensweisen (z. B. Rohrwerkstoff, Verbindungsart, Verlegebedingungen, Korrosionsverhalten, Bruchanfälligkeit...).
- 2 Gruppenweise Zusammenfassung einzelner Leitungsabschnitte hinsichtlich einzelner oder mehrerer Merkmale und Verhaltensweise der Leitungsabschnitte.

**Leitungszone**

Nach der Norm festgelegt durch die Grabenbreite bzw. die Breite des dreifachen Rohraußendurchmessers (bei Verlegung in breitem Graben oder unter Damm) und vertikal durch der Zonen (untere und obere) Bettung, Seitenverfüllung und Abdeckzone (min. 15 cm). Letztere macht zusammen mit der Hauptverfüllung die Überdeckungshöhe aus.

**Lining Techniques**

engl. Bezeichnung für Auskleidungsverfahren

**Lochkorrosion**

Korrosionsform: kraterförmige Durchrostungen der Rohrwand

**Löschwasserbedarf**

Planungswert für das in einer bestimmten Zeitspanne zum Brandschutz voraussichtlich benötigte Wasservolumen.

S. a. Grundschutz (Löschwasserbereitstellung) und Objektschutz (Löschwasserbereitstellung)

**Methan**

- 1 Sumpfgas, farbloses, geruchloses, ungiftiges Gas, verbrennt zu Kohlendioxid und Wasser. Vorkommen im Erdgas (80-90%), Leuchtgas (rd. 30%), sowie als Grubengas in Steinkohlenflözen. Methan ist Ausgangsstoff für die Herstellung von Acetylen und wird als Heiz- und Treibgas verwendet. Methan besitzt eine atmosphärische Lebenszeit von ca. 12 Jahren; es reichert sich in der Atmosphäre an. Es ist ein etwa 30fach stärkeres Treibhausgas als CO<sub>2</sub> und ist daher Teil der Klimadiskussion.
- 2 Ein farb-, geruchloses, entzündbares Gas, das während des anaeroben Abbaus von faulfähigen Substanzen entsteht. Es bildet Explosionsmischungen von 5–15 % Methan in der Luft.
- 3 Eines der sechs Treibhausgase, die im Kyoto-Protokoll Emissionsreduktionszielen unterliegen. Dieses Treibhausgas entsteht beim Reisanbau, durch intensive Rinderhaltung bzw. bei der Verarbeitung von Müll. Methan ist auf einen Zeitraum von 100 Jahren gerechnet 21-mal treibhauseffektiver als CO<sub>2</sub>.

**Mindestlangzeitfestigkeit**

Aufgrund der unterschiedlichen Belastbarkeit wurden PE und PP anhand ihrer Festigkeit, die im Zeitstands-Innen-Druckversuch ermittelt wurde, in MRS (Minimum Required Strength)-Klassen eingeteilt: Ein Polyethylen mit der Bezeichnung PE 80 bedeutet, dass ein Rohr bei Innendruckbelastung mit Wasserfüllung bei 20°C nach 50 Jahren eine Mindestfestigkeit von 8 MPa (Vergleichsspannung errechnet aus dem Innendruck) besitzen muss.

**Mindestweite**

In der Norm festgelegte kleinste zulässige Weite, die sich aus der um die untere zulässige Abweichung verminderten Sollweite ergibt. (aus: DIN 4045: 1985-12); Formelzeichen: DS<sub>min</sub>; Einheit: mm.

**Mischsystem**

Bei der Stadtentwässerung (Kanalisation) die Sammlung und Ableitung aller Abwässer (Abwasser) in einem gemeinsamen Rohrnetz. Bei starken Niederschlägen wird ein Teil des Mischwassers über Entlastungsbauwerke (Mischwasserüberlaufbecken, Mischwasserüberläufe) in den Vorfluter abgeleitet. Gegensatz: Trennsystem, Synonym: Mischverfahren

(s. a. modifiziertes Mischverfahren, modifiziertes Trennverfahren, dezentrale Regenwasserbewirtschaftung)

**Mischverfahren**

Entwässerungsverfahren: Gemeinsames Ableiten von Schmutzwasser und Regenwasser in einem Kanal, Synonym: Mischsystem.

**Mischwasser**

Gemeinsam abgeleitetes Abwasser. Es enthält Haushaltsabwasser, gewerbliche und Industrieabwasser, Fremdwasser (in die Kanalisation eingesickertes Grundwasser) und Niederschlagswasser.

**Mischwasserkanal**

Kanal, in dem Schmutzwasser und Regenwasser gemeinsam abgeleitet werden.

**mittlere Nutzungsdauer**

Statistischer Erwartungswert der Nutzungsdauer für einzelne Leitungsgruppen, gestützt auf Erfahrungen und Prognosen.

**mittleres Leitungsalter**

Gewichtetes, arithmetisches Mittel des Alters einer Leitungsgruppe oder des gesamten Netzes zu einem bestimmten Zeitpunkt.

**modifiziertes Mischverfahren**

Gemeinsames Ableiten von Schmutzwasser mit einem festgelegten Regenwasseranteil (verschmutzt); der restliche Teil Regenwasser wird in einem 2. System entsorgt.

**modifiziertes Trennverfahren**

Getrenntes Ableiten von Schmutz- und Regenwasser, wobei (stark) verschmutztes Regenwasser einer eigenständigen Behandlung zugeführt und unbelastetes Regenwasser davon getrennt entsorgt wird.

**Monomer**

sind Ausgangsprodukte, aus denen durch Polymerisation Polymere hergestellt werden. Monomere müssen mindestens eine funktionelle Gruppe oder ein bewegliches Elektronenpaar haben. Typische Monomere sind: Ethylen, Propylen, Vinylchlorid, Styrol.

**Muffe**

Wird bei Gussrohren beim Guss ausgebildet; bei Kunststoffrohren nach der Extrusion an Rohre angeformt, angeklebt oder angeschweißt und ermöglicht die Verbindung der Rohre. Man unterscheidet Klebemuffe und Steckmuffen.

**Muldenkorrosion**

Korrosionsform: sie weist auf Elementbildung am Rohr hin, wobei der Bereich der Mulde als Anode, die Umgebung als Katode wirkt.

**Nenndruck**

Bei der Auslegung einer Rohrleitung sind bei der Wahl der Rohre der Betriebsdruck, die Betriebstemperatur und die Lebensdauer zu berücksichtigen. Diese drei Faktoren beeinflussen sich gegenseitig. Der Nenndruck gibt den maximal

zulässigen Betriebsdruck für eine Betriebstemperatur von 20°C bei 50 Jahren Lebensdauer an, NP.

**Nennweite**

Kenngröße, die als Merkmal zueinander passender Teile z. B. Rohre, Rohrverbindungen und Formstücke, benutzt wird. Die Nennweite soll annähernd dem Zahlenwert der Sollweite entsprechen. Die Nennweite darf nur dann anstelle der Sollweite bei der hydraulischen Bemessung verwendet werden, wenn die aus der Mindestweite errechnete Querschnittsfläche die aus der Nennweite errechnete Querschnittsfläche um nicht mehr als 5 % unterschreitet. Bezogen auf den Durchmesser eines Kreisquerschnittes, entspricht das etwa 2,5 %. Formelzeichen: DN; Einheit: mm

**Netzanalyse**

Untersuchung der Verteilungsanlagen nach quantitativen, qualitativen und zustandsbedingten Gesichtspunkten zur frühzeitigen Erkennung und Lokalisierung von Schwachstellen im Netz.

**Niederschlag**

- 1 Meteorologie: aus der feuchten Luft ausfallende (kondensierende) Teilchen; kann als Regen, Schnee, Graupel oder Hagel den Boden erreichen: unter 0,5 mm Nieselregen, über 0,5 mm Regen; weiter Schnee und Hagel; Tau und Reif gelten nicht als Niederschläge.
- 2 Nach Art der Entstehung unterscheidet man:
  - advektiver Niederschlag, der mit Fronten einhergeht,
  - konvektiver Niederschlag, der sich durch Thermik bildet, z. B. sommerliche Wärmegewitter,
  - orographischer Niederschlag, der durch geländebedingte Hebung von Luftmassen erfolgt.
- 3 Chemie: mehr oder weniger fein verteilte Stoffe, die sich als Folge einer Reaktion in einer Lösung bilden und absetzen; besonders in der chemischen Analytik verwendet.
- 4 Allgemein: Der Niederschlag auf die Erdoberfläche von Partikeln, die über technische Prozesse, z. B. Verbrennung in die Atmosphäre emittiert wurden.

**Niederschlagswasser**

Regen, Schnee oder Schneeregen.

**Normung**

Die einheitliche und von den jeweils Beteiligten anerkannte Festlegung von Begriffen, Arten, Größen, Formen, Farben, Abmessungen, Kennzeichnungen, Typen, Stoffen, Mustern, Rezepten u. dgl. Im Gegensatz zu den historischen Normen (Geschmacksnormen, Maßnormen wie Elle, Klafter, Fuß, Meter usw.) ist die moderne Normung Ergebnis einer nach festen Grundsätzen betriebenen Normungsarbeit zum Zwecke der Vereinheitlichung und damit der Schaffung von Grundlagen für Ordnung und Leistungssteigerung in der Technik, Verwaltung, Wirtschaft und Wissenschaft.

**Nutzungsvorrat**

Im Sinne der Instandhaltung Vorrat der bei der Nutzung – bis zum vollständigen Abbau des Abnutzungsvorrates einer Betrachtungseinheit – unter festgelegten Bedingungen erzielbaren Sach- und/oder Dienstleistungen.

**Objektschutz (Löschwasserbereitstellung)**

Löschwasserbereitstellung, die über den Grundschutz hinausgehende, objektbezogene Risiken abdeckt.

**passiver Korrosionsschutz**

Zum passiven Korrosionsschutz zählen alle Maßnahmen, die den Elektrolyten von dem zu schützenden Metall fernhalten. Die vielfältigen Möglichkeiten reichen von den organischen (Fett, Wachs, Lack, Kunststoff) über die anorganisch-nichtmetallischen (Oxide, Phosphate, Email) bis hin zu den metallischen Oberflächenschutzschichten.

**Permeabilität**

s. hydraulische Leitfähigkeit

**PEX-Rohr**

Ein Kunststoffrohr aus Polyethylenrohr (PE), das nachträglich vernetzt wird. Das heißt, dass die Rohre so behandelt werden, dass sich die Moleküle des PE-Rohres eng vernetzen und somit die Qualität des Rohres erhöht wird. Die thermischen und mechanischen Eigenschaften des PE-Rohres werden stark erhöht. Das X steht für den Begriff „Crosslinking“, beschreibt also die Form der Vernetzung der Moleküle.

**pH-Wert**

Maß für die Wasserstoffionenkonzentration und damit für die Säurekonzentration in wässrigen Lösungen (eine Säure ist laut Definition ein Stoff, der in wässriger Lösung Wasserstoffionen zu bilden vermag). Der pH-Wert ist der negative dekadische Logarithmus der Wasserstoffionenkonzentration, die als mol H<sup>+</sup>/l (identisch H<sup>+</sup>/l) berechnet wird. Je kleiner der pH-Wert, umso saurer ist die Lösung.

Beispiel: Wasser mit einer Wasserstoffionenkonzentration von 10<sup>-4</sup> mol/l bzw. 10<sup>-4</sup> g/l hat den pH-Wert 4; mit einer Wasserstoffionenkonzentration von 10<sup>-5</sup> mol/l hat das Wasser den pH-Wert 5.

Reines Wasser hat den pH-Wert 7 (Neutralpunkt); bei höheren pH-Werten zeigt das Wasser basisches Verhalten (Lauge). Die pH-Wert-Skala reicht von 0 bis 14. Die Schädigung vieler Stoffe ist vielfach abhängig von ihrem pH-Wert.

**pH-Werte häufig gebräuchter Lösungen**

Bereich	Lösung	pH-Wert
sauer	n-Salzsäure	0
	Magensalzsäure	0,9–1,5
	gewöhnl. Essig	3,1
	saures Silofutter	3–4
	saure Milch	4,4
neutral	reinstes Wasser	7
alkalisch	Blutflüssigkeit	7,36
	Darmsaft	8,3
	Seewasser	8,3
	1/10 n-Sodalösung	11,3
	Kalkwasser	12,3
	n-Natronlauge	14

**Phosphat**

Salze der Phosphorsäure. Kommen als Naturprodukte (Phosphatminerale) an vielen Orten der Erde vor (Abbau vor allem in den USA und Gebieten der ehemaligen UdSSR). Phosphate sind wichtige Nährstoffe für Mensch (Kalziumkarbonat in den Knochen), Tier und Pflanzen. Große Mengen von Phosphaten werden mit den kommunalen Abwäs-

sern (Abwasser) und durch die Landwirtschaft (Düngemittelverluste) in die Gewässer eingetragen. Der aus Wasch- und Reinigungsmitteln stammende Anteil an Phosphaten im kommunalen Abwasser ist sehr gering, da in Waschmitteln des deutschen Marktes seit 1986 keine Phosphate mehr verwendet werden. In Reinigungsmitteln werden Phosphate, wenn überhaupt, nur in geringen Prozentteilen eingesetzt. Phosphate spielen bei der Eutrophierung der Gewässer eine besondere Rolle. Der Phosphat-Eintrag in das Abwasser setzte sich bisher zu je einem Drittel aus Fäkalien, Düngemittelabschwemmung und Wasch- und Reinigungsmitteln zusammen. Nach Austausch der Phosphate durch Zeolithe ist der Eintrag durch Wasch- und Reinigungsmittel in Oberflächengewässer unter 10 % gesunken.

**physiologische Unbedenklichkeit**

Rohstoffe bzw. Materialien, die für den Einsatz in der Medizinproduktion geeignet sind, werden als physiologisch unbedenklich eingestuft. Das bedeutet, dass es durch den Kontakt zum Material selbst oder durch enthaltene Additive keine negativen Auswirkungen in jedweder Form auf den menschlichen Körper gibt. Je nach Einsatzzweck kann es sich beim Körperkontakt um die Körperoberfläche, das Blut oder Gewebe handeln. Für die verschiedenen Anwendungsbereiche gibt es daher, auch in Abhängigkeit von der Anwendungsdauer, spezifische biologisch/toxikologische Prüfungen, anhand derer die physiologische Unbedenklichkeit nachgewiesen werden kann. Dabei werden die Wechselwirkungen zwischen Material und bestimmten Zellkulturen, Reizungen der Haut, Veränderungen des Gewebes von Tieren nach Implantationen u. a. untersucht.

**Polyethylen**

- (PE) Ein Kunststoff, thermoplastisches Polymer. Wird durch Polymerisation des Ethylens nach mehreren Verfahren und z.T. mit besonderen Katalysatorsystemen hergestellt; man erhält dadurch verschiedene Polyethylensorten unterschiedlicher Eigenschaften (Polyolefine). Anwendung: Rohre und Schläuche aus Polyethylen werden für Trinkwasserleitungen und Leitungen in der Getränkeindustrie verwendet. Außerdem kommen Profile, Blas- und Spritzgussteile praktisch in allen Industriezweigen zur Anwendung.
- Eines der wichtigsten thermoplastischen Polymere. Wird durch Polymerisation des Ethylens nach mehreren Verfahren und z. T. mit besonderen Katalysatorsystemen hergestellt; man erhält dadurch verschiedene Polyethylensorten unterschiedlicher Eigenschaften (Polyolefine). Anwendung: Rohre und Schläuche aus Polyethylen werden für Trinkwasserleitungen und Leitungen in der Getränkeindustrie verwendet. Außerdem kommen Profile, Blas- und Spritzgussteile praktisch in allen Industriezweigen zur Anwendung.

**Polykondensation**

Aufbau höher- und hochpolymerer Stoffe zu einem Makromolekülverband unter Abspaltung flüchtiger Stoffe, z. B. Wasser. Durch Polykondensation werden thermoplastische Werkstoffe, aber auch Elastomere großtechnisch gewonnen.

**Polymer**

Bezeichnung für die herkömmlichen Begriffe „Kunststoff“ und „Plastik“.

**Polymerisation**

- (polys gr. = viel; meris gr. = Teil) Zusammenlagerung einfacher Moleküle zu einem Makromolekül.



- 2 Besondere chemische Reaktion; Vereinigung von mehreren/vielen Einzelmolekülen (Monomeren) zu langkettigen Riesenmolekülen (Polymeren). Die Polymerisation kann beeinflusst werden durch Art und Menge eines Katalysators/Initiators, Temperatur, Druck, Verweilzeit, Konstruktion des Reaktors, u. a.

### Polyolefin

sind Polymerisate von Olefin-Kohlenwasserstoffen, vor allem des Ethylens und Propylens. Wegen des paraffinähnlichen Aufbaus weisen die Polyolefine eine sehr hohe Chemikalienbeständigkeit auf. Dazu kommen andere Vorzüge, z. B. sehr gute elektrische Eigenschaften, geringe Wasserdampfdurchlässigkeit sowie physiologische Unbedenklichkeit. Die Polyolefine sind Thermoplaste und werden überwiegend im Extrusions- und Spritzgussverfahren sowie im Hohlkörperblasverfahren verarbeitet. Sie können durch Einwirken von Peroxiden vernetzt werden, wodurch sich eine Reihe von Eigenschaften verbessern lässt. Auch durch energiereiche Strahlung lässt sich eine Vernetzung herbeiführen (VPE).

### Polypropylen

- 1 Ist chemisch mit Polyethylen nah verwandt und auch von seinen Umwelt-Eigenschaften ähnlich zu bewerten.
- 2 Polypropylen (PP) wird aus Propylen mit Hilfe von stereospezifisch wirkenden Katalysatoren im Niederdruckverfahren gewonnen. Bedingt durch die hohe Einheitlichkeit des räumlichen Baus der Makromoleküle zeichnet sich das feste isotaktische Polymer durch ein weitgehend kristallines Gefüge aus. Anwendung: Spritzgussteile, Hohlkörper und Profile werden u. a. in der Kraftfahrzeug-, Textil-, Schuh-, Elektro-, Haushaltsmaschinen- und Verpackungsindustrie eingesetzt. Beispiele: Heizsysteme in Autos, Heißwasserbereiter, Ablaufsysteme in Waschmaschinen.

### Polyurethan

sind durch Polyaddition aufgebaute Polymere, die als kennzeichnendes Bindeglied die Urethangruppe – NH-CO-O – enthalten. Je nach gewählter Rezeptur sind weichelastische bis zähnharte Polyurethane herstellbar. Sind die Polymerketten untereinander nicht vernetzt, spricht man von thermoplastischem Polyurethan. Wird den Reaktionskomponenten bei der Herstellung Treibmittel zugegeben, entstehen geschäumte Produkte, ebenfalls von weich-elastisch bis zähhart und von niedrigdicht bis hartkompakt. Man sagt, Polyurethane sind maßgeschneiderte bzw. schneidbare Polymere. Dazu zählen auch DD-Lacke und -Kleber, Weich- und Hartschäume, um nur einige zu nennen.

### Polyvinylchlorid

(PVC) Thermoplastisches Polymer, das durch Emulsions-, Suspensions- oder Massepolymerisation gewonnen wird.

Wichtiger Kunststoff, der durch Polymerisation von Vinylchlorid hergestellt wird.

### Polyvinylchlorid weichmacherfrei

- wird aus Polyvinylchlorid sowie Hilfsstoffen wie Stabilisatoren, Gleitmittel, Schlagzähzusätzen, Pigmente, etc. hergestellt. Kennzeichnende Eigenschaften: Hohe Härte und Formstabilität. Ausgezeichnete Alterungsbeständigkeit, Witterungsbeständigkeit bei Sondereinstellungen. Fast uneingeschränkte Säuren- und Laugenbeständigkeit.
- Thermische Eigenschaften: ist ein Thermoplast. Die physikalischen Werte ändern sich daher in den verschiedenen Temperaturbereichen. Mit sinkender Temperatur werden Schlagzähigkeit und Bruchdehnung geringer, Druck- und Biegefestigkeit größer.

- chemische Beständigkeit: ist gegen die meisten verdünnten und konzentrierten Säuren und Laugen und gegen wässrige Salzlösungen beständig. Ferner ist es beständig gegen Mineralöle, pflanzliche Öle, Paraffinöle, Alkohole, Benzin, aliphatische Kohlenwasserstoffe und höhere Fettsäuren. Polyvinylchlorid weichmacherfrei ist in Estern, Ketonen, chlorierten Kohlenwasserstoffen, aromatischen Kohlenwasserstoffen, Schwefelkohlenstoff und anderen Lösungsmitteln quellbar bis löslich und deshalb unbeständig.
- Witterungs- und Alterungsbeständigkeit: ist in hohem Maße alterungsbeständig. Da Polyvinylchlorid und bestimmte Schlagzähkomponenten keine Doppelbindung im Molekül enthalten, kann Sauerstoff bzw. Ozon der Luft diesen Werkstoff nicht angreifen. Brennverhalten: Als stark chlorhaltiger Kohlenwasserstoff ist PVC-weichmacherfrei schwer entflammbar; es erlischt nach Entzug einer einwirkenden Flamme.
- Physiologisches Verhalten: Durch den Einsatz spezieller Stabilisatoren und Gleitmittel können physiologisch einwandfreie Qualitäten ohne Geruch und ohne Geschmacksbeeinflussung hergestellt werden, entsprechend der Empfehlung II des Bundesgesundheitsamts.

### Polyvinylchlorid erhöht schlagzäh

- ist ein weichmacherfreies, modifiziertes Polyvinylchlorid. Kennzeichnende Eigenschaften: zeichnet sich durch seine gute Schlagzähigkeit auch bei tiefen Temperaturen aus und ist gemäß DIN 7748 als erhöht schlagzäh einzustufen. Das Material ist speziell für den Außeneinsatz vorgesehen und daher in hohem Maße licht- und witterungsstabilisiert.
- Thermische Eigenschaften: Das Verhalten von Polyvinylchlorid (erhöht schlagzäh) ist durch seine Eigenschaft als Thermoplast gekennzeichnet und somit temperaturabhängig. Die auch bei niedrigen Temperaturen vorhandenen Schlagzähigkeitsreserven ermöglichen im Gegensatz zu unmodifiziertem PVC einen Einsatz bis zu  $-40^{\circ}\text{C}$  auch bei mechanischer Beanspruchung. Bei steigenden Temperaturen wird die Bruchdehnung größer, Druck und Biegefestigkeit nehmen ab. Der Erweichungspunkt liegt bei ca.  $+80^{\circ}\text{C}$ .
- Chemische Beständigkeit: ist gegen verdünnte und konzentrierte, aber nicht oxydierend wirkende Säuren sowie Laugen, Mineralöle, pflanzliche Öle, Paraffinöle, Alkohole, Benzin, aliphatische Kohlenwasserstoffe und höhere Fettsäuren beständig. Ketone, Ester, chlorierte Kohlenwasserstoffe, aromatische Kohlenwasserstoffe, Schwefelkohlenstoffe und andere Lösungsmittel verursachen Quellung oder Auflösung.
- Witterungs- und Alterungsbeständigkeit: Die auf Außeneinsatz ausgerichtete Rezeptur verleiht Polyvinylchlorid (erhöht schlagzäh) eine ausgezeichnete Witterungs- und Alterungsbeständigkeit. Die Gebrauchseigenschaften bleiben auch nach langjährigem Einsatz im Freien in hohem Maße erhalten.
- Brennverhalten: ist schwer entflammbar im Sinne von DIN 4102 und selbstverlöschend.
- Physiologisches Verhalten: ist nicht für direkten Kontakt mit Lebensmitteln vorgesehen.

### Polyvinylchlorid weichmacherhaltig

- wird hergestellt aus Polyvinylchlorid und Weichmachern sowie Hilfsstoffen wie Stabilisatoren, Gleitmittel, etc. Kennzeichnende Eigenschaften: Je nach Weichmacherzusatz zähelastisch bis weichgummiartig. Ausgezeichnete Alterungsbeständigkeit; Witterungsbeständigkeit bei Sondereinstellungen.
- Thermische Eigenschaften: Je höher der Weichmacheranteil, umso geringer ist bei mechanischer Beanspruchung die Wärmefestigkeit, umso besser jedoch die Kältefestigkeit. Bei Spezialanforderungen

ist es möglich, besonders kältefeste Weichmacher einzusetzen.

- Mechanische und elektrische Eigenschaften: Zugfestigkeit (je nach Weichmachergehalt): ca. 100–300 kg/cm<sup>2</sup>. Bruchdehnung: 200–400 %. Dielektrizitätskonstante (80 Kz–106 Hz): ca. 3,6–7,5. Dielektrischer Verlustfaktor (tg 80 Hz – 106 Hz): ca. 0,02–0,11. Durchschlagfestigkeit: 10–16 kV/mm. Bei längerer Wasserlagerung beträgt die Wasseraufnahme je nach verwendeter Polyvinylchlorid-Type 0,1 bis ca. 1 %. Die mechanischen Eigenschaften werden dadurch praktisch nicht beeinflusst.
- Chemische Beständigkeit: Der Weichmacheranteil beeinflusst weitgehend das Verhalten gegen Chemikalien und Lösungsmittel. Chemikalien können besonders bei höherer Temperatur und in stärkerer Konzentration die Weichmacher chemisch verändern und Lösungsmittel diese herauslösen. In beiden Fällen wird das vorher weiche Material hart. Eine Verbesserung ist jedoch in vielen Fällen durch Einsatz von Spezialweichmachern möglich.
- Witterungs- und Alterungsbeständigkeit: Polyvinylchlorid (weichmacherhaltig) ist im Gegensatz zu Gummi sehr alterungsbeständig, da es keine Doppelbindung im Molekül enthält und dem Sauerstoff bzw. Ozon der Luft keine Angriffsmöglichkeit bietet.
- Physiologisches Verhalten: Durch Einsatz spezieller Weichmacher und Stabilisatoren kann auf Wunsch ein physiologisch einwandfreies Verhalten erreicht werden.

#### qualitative Netzanalyse

Untersuchung der Verteilungsanlagen hinsichtlich der Beinträchtigung der Wasserqualität (Veränderung des Wassers auf dem Transportweg).

#### Qualitätssicherung

- 1 Gesamtheit der Tätigkeiten des Qualitätsmanagements, der Qualitätsplanung, der Qualitätslenkung und der Qualitätsprüfung. Zur Qualitätssicherung gehören alle operativen Tätigkeiten, die vorbereitend, begleitend und prüfend die definierte Qualität eines Produktes oder einer Dienstleistung gewährleisten sollen.
- 2 (QS) Bezeichnung für die Stelle in einem Werk, die mit der Koordination und Überwachung qualitätssichernder Maßnahmen betraut ist. Zu den Zuständigkeiten der Qualitätssicherung im Werk gehört das Erkennen und Aufzeigen von Fehlern und das Überwachen der Beseitigung von Fehlern und Problemen an Produkten und Prozessen (Audit).

#### quantitative Netzanalyse

Untersuchung der hydraulischen Leistungsfähigkeit der Verteilungsanlagen mit Hilfe der Rohrnetzrechnung und Vergleichsmessungen.

#### Regenentlastungsanlage

Bauwerk (Regenüberlauf, Regenrückhaltebecken, Kanalaustauräume) zur Speicherung und des geregelten Oberflächengewässereinführung von Regenwasser und damit Entlastung von Mischwasserkanälen (Mischwasserkanal), um nach Ende eines Starkregens das gespeicherte Mischabwasser einer Kläranlage zuzuführen. Statt Regenentlastungsanlage sollte besser der Begriff Mischwasserentlastungsbauwerk gebraucht werden.

#### Regenrückhaltebecken

Anlage zur vorübergehenden Speicherung von Regenwasser und Mischwasser.

#### Regenwasser

Niederschläge (Niederschlag) nehmen nicht nur Verunreinigungen aus der Luft (Saure Niederschläge), sondern auch von Oberflächen (z. B. Gebäuden, Fahrzeugen, Straßen, landwirtschaftlichen Flächen) auf und leiten diese in die Vorfluter oder ins Grundwasser. Der Regenwasser-Verschmutzung und den dadurch verursachten Umweltbelastungen wurde lange Zeit nur wenig Aufmerksamkeit geschenkt. Inzwischen hat sich die Erkenntnis durchgesetzt, dass hierdurch z. T. erhebliche Schmutzfrachten in die Gewässer gelangen, die nur durch Regenwasserbehandlungsanlagen zurückgehalten werden können.

#### Rehabilitation

- 1 Maßnahmen zur Erhaltung oder Verbesserung der Funktionsfähigkeit der Wasserverteilungsanlagen. Sie schließt alle Reinigungs-, Sanierungs- und Erneuerungsmethoden ein.
- 2 Maßnahmen zur Erhaltung oder Verbesserung der Funktionsfähigkeit der Gasverteilungsnetzes.

#### Rehabilitationsrate

Anteil der jährlichen Rehabilitationslänge bezogen auf eine Leitungsgruppe oder das gesamte Gasrohrnetz bzw. das gesamte Wasserrohrnetz.

#### Relining

- 1 Sanierung defekter, erdverlegter Rohrleitungen durch Einziehen eines neuen Rohrstrangs in die alte, vorher gereinigte Strecke. Der entstehende Ringspalt wird i. d. R. mit geeigneten Materialien (z. B. Dämmen) verfüllt.
- 2 Allen Relining-Verfahren ist gemeinsam, dass ein zweites Rohr, der sogenannte Inliner in die vorhandene Rohrleitung eingezogen wird. Das Relining-Rohr dient zur Wiederherstellung der Dichtheit, der Widerstandsfähigkeit gegen mechanische und chemische Angriffe. Ebenso kann die Tragfähigkeit wiederhergestellt bzw. erhöht werden. Den unterschiedlichen Randbedingungen entsprechend kommen verschiedene Rohrmaterialien zur Anwendung, wie z. B. Polyethylen, Glasfaserverstärkte Kunstharze, Stahl, usw.

#### Renovierung

- 1 Wiederherstellung des ursprünglich vorhandenen Zustandes (z. B. eines Gebäudes). Siehe Instandhaltung.
- 2 Unter Renovierung (Sanierung nach der Norm) versteht man nach der Norm Maßnahmen zur Verbesserung der aktuellen Funktionsfähigkeit von Abwasserleitungen und -kanälen unter vollständiger oder teilweiser Einbeziehung ihrer ursprünglichen Substanz.

#### Reparatur

Schadensbehebung durch Einzelmaßnahmen

#### Ringraum

zwischen dem Altrohr bzw. Schutzrohr und dem eingezogenen Rohr entstehender Freiraum.

#### Risiko

(Schaden) Das Risiko  $R$  stellt statistisch einen Erwartungswert dar und wird als Produkt von Eintrittswahrscheinlichkeit  $P$  und erwarteten Schadensausmaß  $M$  definiert. Das Schadensausmaß kann hierbei beispielsweise mit der Höhe der Folgekosten beschrieben werden wie auch qualitativ definiert sein, z. B. als Verletzung.

**Rohr**

sind extrudierte Hohlkörper mit vorwiegend rundem Querschnitt. Als Bestandteil von Rohrleitungen dienen sie dem Transport von Flüssigkeiten und Gasen.

**Rohrpost**

Anlage zur Schnellbeförderung von Briefen oder Akten.

**Rohwasser**

Wasser vor der Aufbereitung zu Trinkwasser im Wasserwerk (z. B. Abgabe aus einer Trinkwassertalsperre oder Entnahme aus einem Brunnen bzw. einer Brunnengalerie bei Wasserentnahme aus dem Grundwasser).

**Salz**

s. Salzbelastung

**Salzbelastung**

Die Salz-Belastung unserer Fließgewässer ist auf verschiedene Quellen zurückzuführen: geologisch bedingte Salz-Zufuhr, Mineralquellen, Niederschlag, natürliche Salz-Ausscheidungen bei Menschen und Tieren, Salz-Verbrauch in Haushalten, Düng-Salz der Landwirtschaft, Streu-Salz und Salz-Zufuhr durch gewerbliche bzw. industrielle Einleitungen, insbesondere aus dem Bergbau und der chemischen Industrie. Zur Verringerung der Salz-Belastung bietet sich das Verpressen der salzhaltigen Abwässer in tiefe Gesteinsschichten oder die Errichtung von Soleleitungen zur Ableitung der salzhaltigen Abwässer in das Meer an. Beim Verpressen besteht allerdings die Gefahr einer Grundwasserschädigung. Salz-Pipelines sind nach derzeitigem Kenntnisstand die ökologisch verträglichste, zugleich aber teuerste Lösung. Außerdem können hierbei große technische Schwierigkeiten, zum Beispiel durch Korrosion der Rohrleitungen auftreten.

**Sanierung**

- 1 Maßnahmen mit dem Ziel, gesunde Lebens- und Umweltbedingungen zu schaffen und bereits bestehende Schäden zu beseitigen oder zu verringern (Stadt-, Naturhaushalt-, Altlasten-, Boden- und Grundwassersanierung etc.). Bezogen auf die Stadt bedeutet Sanierung die Neuordnung, Erneuerung und Umgestaltung abgegrenzter Stadtbereiche mit dem Ziel der Lösung städtebaulicher Probleme und der Verbesserung der Wohnverhältnisse, der Lebens- und Umweltbedingungen.
- 2 Alle Maßnahmen zur Wiederherstellung oder Verbesserung von vorhandenen Entwässerungssystemen.
- 3 Ertüchtigung einer vorhandenen Rohrleitung mit einer nicht tragenden Auskleidung (Zementmörtel-Auskleidung, Schlauchrelining...).
- 4 Die Verfahren zur Wiederherstellung defekter Rohrleitungssysteme werden neben dem konventionellen Aufgraben und Erneuern unterschieden in Instandsetzungs- und Sanierungsverfahren sowie Verfahren zur grabenlosen Neuverlegung (grabenlose Verlegetechnik). Unter Instandsetzungsverfahren versteht man örtlich begrenzte Reparaturmaßnahmen, z. B. Gelinjektion an einer undichten Muffenverbindung. Unter Sanierung versteht man das Auskleiden einer defekten Leitung mit einem sog. Inliner. Bei der Sanierung unterscheidet man Langrohr-Relining, Kurzrohr-Relining, Auskleidung mit maßgenauen Rohren, die Auskleidung mit spiralig gewickelten Rohren, die Auskleidung mit Rohrsegmenten, die Auskleidung mit vor Ort gehärteten Rohren sowie die Auskleidung mit eingeführten Schläuchen. Zu den Verfahren der grabenlosen Neuverlegung zählen das

Berstlining und das Pressbohrverfahren. Allgemein wird unterschieden in druckbeaufschlagten Gas- und Wasserversorgungsleitungen und drucklos als Freispiegelleitungen betriebenen Kanal- und Entwässerungssystemen.

**Schaden**

- 1 im Sinne der Instandhaltung ist ein Schaden ein Zustand, der im Hinblick auf die Verwendung unzulässige Beeinträchtigung der Funktionsfähigkeit bedingt oder erwarten lässt.
- 2 Im Sinne der Instandhaltung einer Betrachtungseinheit nach Unterschreiten eines bestimmten (festzulegenden) Grenzwertes des Abnutzungsvorrats, der eine im Hinblick auf die Verwendung unzulässige Beeinträchtigung der Funktionsfähigkeit bedingt.
- 3 Eine lokale unzulässige Beeinträchtigung der Funktionsfähigkeit – in aller Regel mit Wasseraustritt verbunden.
- 4 Leckstelle (kein Schaden durch Dritte) – Eine lokale unzulässige Beeinträchtigung der Funktionsfähigkeit – in aller Regel mit Gasaustritt verbunden – führt meist zur unmittelbaren Instandsetzung durch Reparatur.

**Schadensrate**

Jährliche Anzahl der Schäden je km Rohrleitung. Bei Hausanschlüssen wird die Schadensrate auf die Anzahl der Hausanschlüsse bezogen.

**Schadstoff**

- 1 Eine Substanz, die aus der anthropogenen Tätigkeit heraus entstanden ist, in die Umwelt gelangt und Ökosysteme oder Teile davon aufgrund seiner toxischen Wirkung in messbarem Umfang schädigt.
- 2 Substanzen, die, wenn sie z. B. in einem Kompost enthalten sind, in Abhängigkeit von Art und Konzentration, den Boden, die Pflanzen, Tiere und Menschen schädigen können.
- 3 Alle Stoffe, die in ein Ökosystem eingebracht werden und das Ökosystem selbst bzw. seine Ausnutzung in messbarem Umfang für Lebewesen schädigen, bei vielen Schadstoffen ein Konzentrationsproblem.

**Schwachstelle**

- 1 Durch die Nutzung bedingte Schadensstelle oder schadensverdächtige Stelle, die mit technisch möglichen und wirtschaftlich vertretbaren Mitteln so verändert werden kann, dass Schadenshäufigkeit und/oder Schadensumfang sich verringern.
- 2 Schadensanfälliges Anlagenteil im Netz, das die Funktionsfähigkeit beeinträchtigen kann.

**Schwachstellenanalyse**

- 1 Kann im Rahmen der Umweltprüfung (Öko-Audit) oder im Rahmen des Technischen Sicherheitsmanagement oder sonstiger freiwilliger Maßnahmen innerbetrieblich eingesetzt werden. Untersucht werden die Organisation, die Einhaltung rechtlicher Grundlagen und die tatsächlichen Umweltauswirkungen bzw. die technische Beschaffenheit und Betriebssicherheit der technischen Anlagen.
- 2 Rehabilitation: Untersuchung des Gasverteilungsnetzes nach zustandsbedingten Gesichtspunkten zur frühzeitigen Erkennung und Lokalisierung von Schwachstellen im Gasrohrnetz .



**Schwemmkanalisation**

Unterirdisches Leitungsnetz, in dem mit Hilfe von Wasser Abfälle und Fäkalien weggeschwemmt werden.

**Selbstreinigung**

- 1 Vorgang, bei dem organische, fäulnisfähige Verunreinigungen in einem Fließgewässer durch Mikroorganismen wie Bakterien, Pilze und Einzeller zu einfachen Stoffen abgebaut, mineralisiert oder in den natürlichen Stoffkreislauf einbezogen werden.
- 2 Bezeichnet das Vermögen eines Gewässers, mit Hilfe von pflanzlichen und tierischen Organismen (Saprobien) aus natürlichen Quellen stammende oder vom Menschen eingeleitete organische Stoffe abzubauen. Dabei wird Sauerstoff verbraucht. Wird z. B. mehr ungereinigtes Abwasser in ein Gewässer eingeleitet, als Sauerstoff für den Abbau zur Verfügung steht, ist das Selbstreinigungspotenzial des Gewässers überschritten. Es kommt zu einem Sauerstoffmangel, höhere und niedere Lebewesen sterben ab, das Gewässer „kippt um“.

**Selbstreinigungskraft**

Vorgänge in Gewässern, Böden o.ä., bei denen organische Inhaltsstoffe durch Organismen abgebaut werden. Das Maß der Selbstreinigung kann durch den biochemischen Sauerstoffbedarf ausgedrückt.

**Selbstreinigungsvermögen**

siehe Selbstreinigungskraft

**Seuche**

Epidemie

**Sickerrohr**

In der Rohrwandung mit Schlitzen und Bohrungen versehenes Rohr zur Aufnahme und Weiterleitung des in die Bodenoberfläche eingedrungenen Wassers.

**Sickerwasser**

- 1 wird das in den Untergrund versickernde grundwasserbildende Wasser (Niederschläge, Gewässer) bezeichnet. Die im Bereich des Sickerwassers vorhandenen Gesteinszonen sind maßgeblich für die Eigenschaften (Wasserqualität) des Grundwasser.
- 2 Wasser, das aus dem Staubecken oder der Stauhaltung durch den Untergrund, die Talflanken oder das Absperrbauwerk dringt.
- 3 aus Deponien: Ein Teil des auf Deponien anfallenden Niederschlags versickert und durchfließt dabei die abgelagerten Abfälle. Hierbei nimmt das Sickerwasser lösliche Substanzen auf. Die Sickerwassermenge kann je nach Niederschlagsverhältnissen 0,001 - 0,1 l/s und Hektar Deponiefläche betragen. Aufgrund des hohen Verschmutzungsgrades des Sickerwassers muss verhindert werden, dass es ungeklärt ins Grundwasser oder ins Oberflächenwasser gelangt. Das Sickerwasser muss demgemäß durch geeignete Maßnahmen aufgefangen und in Sickerwasserreinigungsanlagen oder Kläranlagen behandelt werden.

**Sollweite**

Innenmaße (Sollmaße) von Rohren, Formstücken, Schachtabdeckungen usw. mit festzulegenden zulässigen Abweichungen, z. B. als Produktionsvorgabe zur Einhaltung erforderlicher Querschnittswerte (Fläche, Umfang usw.); Formelzeichen: DS; Einheit: mm

**Sollzustand**

Die für den jeweiligen Fall festzulegende Gesamtheit der Merkmalswerte.

**Sollzustandabweichung**

Im Sinne der Instandhaltung Nichtübereinstimmung zwischen dem Ist-Zustand und dem Sollzustand einer Betrachtungseinheit bei einem gegebenen Zeitpunkt.

**soziale Kosten**

Beeinträchtigungen, Schäden oder finanzielle Aufwendungen, die zu Lasten der Allgemeinheit oder von Wirtschaftssubjekten gehen, welche sie nicht verursacht haben. Mikroökonomische und makroökonomische Kosten weichen voneinander ab, es entstehen externe Effekte.

**Spongiose**

Graphitierung

**Stabilisator**

Ein Stoff, der reaktionsfreudigen oder zersetzbaren Substanzen beigemischt wird, um eine vorzeitige Reaktion zu verhindern oder um diese Substanz beständig zu machen.

**Stadtgas**

Das Stadtgas ist ein wasserstoffreiches Brenngas, das in Gaswerken hergestellt wird. Heute hat es keine Verbreitung mehr und ist durch das höherwertige Erdgas abgelöst worden.

**Stadttechnik**

Der Begriff Stadttechnik wurde erstmalig von Pfeiffer (1937) in „Technik der Stadt“ gebraucht: „Aber wer nicht selbst mit den technischen Betrieben geschäftlich oder beruflich zu tun hat, weiß wenig von der Technik, die ihm während des ganzen Tages betreut, und übersieht die Lebensnotwendigkeit der Stadt. Im einzelnen mag er sie erkennen, ihren Zusammenhang begreift er schlecht. Er sieht das Regenwasser auf die Straßen stürzen und im Gully verschwinden, weiß aber schon nicht mehr wohin es fließt. So ergieht es dem Städter mit allen anderen Elementen seiner Stadttechnik, die für ihn nur gewinnen, sofern es sie unmittelbar berührt, oder wo sie fehlen, wenn sie versagen.“

**Stand der Technik**

- 1 Ist der Entwicklungsstand verfügbarer fortschrittlicher Verfahren, Einrichtungen oder Betriebsweisen, der die praktische Eignung einer Maßnahme zu einem bestimmten Zweck gesichert erscheinen lässt.
- 2 Berücksichtigt neue Erkenntnisse und technische Errungenschaften.
- 3 In einigen Umweltgesetzen der Bundesrepublik Deutschland gebräuchliche Bezeichnung für den Entwicklungsstand fortschrittlicher Verfahren, Einrichtungen und Betriebsweisen, deren praktische Eignung bei der Bekämpfung von Umweltbelastungen als gesichert erscheint. Bei der Bestimmung des Standes der Technik sind insbesondere im Betrieb erprobte Verfahren, Einrichtungen oder Betriebsweisen heranzuziehen. Maßnahmen nach dem Stand der Technik sollen den besten zur Zeit realisierbaren Schutz der Umwelt vor Schädigungen garantieren.
- 4 In der Umweltschutzdiskussion und der Rechtsprechung gebrauchter Begriff, der als Maßstab in Genehmigungsverfahren die fortschrittlichen Verfahren und Einrichtungen, die sich bewährt haben, heranzieht. S. a. allgemein anerkannte Regeln der Technik.

- 5 Ist nach dem KrW-/AbfG der Entwicklungsstand fortschrittlicher Verfahren und Einrichtungen und Betriebsweisen. Dies setzt die praktische Erprobung im betrieblichen Geschehen voraus, um die Eignung der Maßnahme zu sichern. Der letzte Stand wissenschaftlicher Erkenntnis ist nicht „Stand der Technik“; vgl. auch allgemein anerkannte Regeln der Technik.

### Steckmuffe

Verbindungselement zwischen Rohren sowie zwischen Rohren und Formstücken oder Armaturen. Das Spitzende wird in die Muffe eingeschoben; ein eingelegerter Dichtring sorgt für die Dichtheit.

### Stickstoff

- 1 Als Hauptbestandteil der Luft in elementarer Form vorliegendes chemisches Element (ca. 78 Vol.-%); findet sich in gebundenem Zustand in Ammonium-, Nitrat-, Nitrit- und Amidverbindungen; unentbehrlicher Bestandteil aller Eiweißkörper. Wird großtechnisch über die Ammoniaksynthese aus der Luft gewonnen. Dieser Primärstickstoff ist Ausgangspunkt für die Erzeugung vieler stickstoffhaltiger Substanzen. Hauptverwendungsgebiete sind die Erzeugung stickstoffhaltiger Düngemittel, die Kunststoffherzeugung und Kältemittel. Stickstoff ist der für die pflanzliche Entwicklung und pflanzliche Ertragsleistung in der Agrarproduktion wichtigste Nährstoff.

- 2 In seinen verschiedenen Erscheinungsformen ist Stickstoff sehr wichtig im Naturkreislauf. Leider wird durch die Schwemmenmischung der Siedlungen Stickstoff in Form von Harnstoff, Ammonium und organisch gebundenem Stickstoff in die Gewässer eingebracht. Diese Stoffe sind Ressource, die mit großem Energieaufwand an anderer Stelle wieder hergestellt werden müssen, um das Defizit in den Böden auszugleichen.

In der konventionellen Klärtechnik werden gerade diese Ressourcen mit dem Einsatz weiterer enormer Energiemengen aus dem Abwasser entfernt und in die Luft geblasen. Ein ökologischer Wahnsinn!

### Stillsetzung

Im Sinne der Instandhaltung beabsichtigte Unterbrechung (auch Beendigung) der Funktionserfüllung einer Betrachtungseinheit.

### Störung

Im Sinne der Instandhaltung unbeabsichtigte Unterbrechung (oder bereits auch schon Beeinträchtigung) der Funktionserfüllung einer Betrachtungseinheit.

### Sumpfgas

Biogas, Faulgas. s. a. Methan

### Suspension

- 1 Aufschwemmung feinstverteilter, nicht löslicher, fester Stoffe in einer Flüssigkeit, dem Suspensionsmittel.
- 2 Physik: Aufschlammung, trübe Verteilung fester Körper mit Durchmessern unter  $1 \cdot 10^{-5}$  cm in Flüssigkeiten; durch Zentrifugieren abtrennbar.
- 3 Chemie: disperses System.

### technische Infrastruktur

- 1 Alle Arten von Verkehrsanlagen, Kommunikationseinrichtungen (z. B. Post) sowie die Anlagen der Ver- und Entsorgung (Kraft- und Gaswerke, Wasser- und Klärwerke, Müllverbrennung etc.).

- 2 „... die materielle Infrastruktur umfasst die Gesamtheit der staatlichen und privaten Einrichtungen die für eine ausreichende Daseinsfürsorge und die wirtschaftliche Entwicklung eines Raumes erforderlich sind und gliedert sich in technische Infrastruktur (Einrichtungen des Verkehrs- und Nachrichtenwesens, der Energie- und Wasserversorgung sowie der Entsorgung von Abfallstoffen) und soziale Infrastruktur...“ (Brockhaus).

### technische Nutzungsdauer

Begrenzung der Nutzungsdauer einer Leitung aus versorgungs-, sicherheitstechnischen und bautechnischen Gründen. Sie liegt in der Regel deutlich über der betriebswirtschaftlichen Nutzungsdauer (betriebswirtschaftliche Nutzungsdauer)

### technische Sicherheit

Maßnahmen der technischen Sicherheit dienen der Vermeidung von Gefahren gegenüber Dritten. Zu schützen sind Menschen, Umwelt und Sachwerte.

### Teer

- 1 Flüssiges bis halbfestes, dunkelbraunes bis schwarzes Produkt, das bei der thermischen Behandlung von Erdöl, Kohle, Holz, Torf u. a. als Nebenprodukt anfällt oder durch Polymerisations- bzw. Kondensationsprozesse dabei entsteht.
- 2 beim Destillationsprozess der Steinkohle in Gasanstalten und Kokereien anfallend (kanzerogen – Sonderabfall bei erforderlicher Entsorgung von Baustellen).

### Temperaturbeständigkeit

Stabilität von Formmassen oder Formstoffen bei Lagerung in der Wärme unter Luftzutritt. Meist Angabe einer Zeitdauer, nach der ein definiertes Merkmal bei entsprechender Beanspruchung geändert wird bzw. sich nicht ändern darf. So werden z. B. durch Warmlagerungsversuche die Thermostabilität von PVC oder die Oxidationsstabilität von PP überprüft.

### Thermoplast

Hochmolekulare Verbindungen von Fadenmolekülen ohne Querverbindungen. Sie werden in der Wärme plastisch und formbar. Nach dem Abkühlen werden sie wieder fest. Dieser Vorgang ist reversibel, d. h. er kann mit dem gleichen Stoff mehrfach wiederholt werden.

### Toleranz

Zugelassene Abweichung vom Sollwert. Die Größe der Toleranz wird beeinflusst von Rohstoff und Verarbeitungsschwankung. Alle technischen Eigenschaften sind mit Toleranzen behaftet. Maßtoleranzen hängen vor allem ab von der Herstellgenauigkeit des Werkzeugs, vom Werkzeugverschleiß und von Schwankungen bei der Herstellung der Teile. Schwankungen können von Ungleichmäßigkeiten im Arbeitszyklus, von Druck, Temperatur und Zeit und vom Werkstoff selbst herrühren.

### Trennsystem

Im Gegensatz zum Mischsystem zwei voneinander unabhängige Rohrnetze bei der Stadtentwässerung. Die Regenwasserkanalisation führt unmittelbar zum Vorfluter, während das Schmutzwasser oder Brauchwasser zur Kläranlage abgeleitet wird, Synonym: Trennverfahren.

### Trennverfahren

Entwässerungsverfahren: Getrenntes Ableiten von Schmutzwasser und Regenwasser, Synonym: Trennsystem.

### Trinkwasser

- 1 Für menschlichen Genuss und Gebrauch geeignetes Wasser, das bestimmte in Gesetzen und anderen Rechtsnormen festgelegte Güteeigenschaften erfüllen muss. Trinkwasser ist das wichtigste Lebensmittel. Es kann nicht ersetzt werden. Die Grundforderungen an einwandfreies Trinkwasser sind: frei von Krankheitserregern, keine gesundheitsschädigenden Eigenschaften, keimarm, appetitlich, farblos, kühl, geruchlos, geschmacklich einwandfrei, geringer Gehalt an gelösten Stoffen. Darüber hinaus soll Trinkwasser nicht korrosiv wirken (TrinkwV). Das Wasserversorgungsunternehmen ist verpflichtet, den Kunden das Trinkwasser im vereinbarten Umfang und mit einem Druck zu liefern, der für eine einwandfreie Deckung des üblichen Bedarfs erforderlich ist (AVBWasserV).
- 2 Herkunft des Trinkwassers in der Bundesrepublik Deutschland:
  - echtes Grund- und Quellwasser 71%
  - angereichertes Grundwasser 12%
  - Talsperrenwasser 7%
  - Uferfiltrat 6%
  - Seewasser 3%
  - Flusswasser 1%

### Trinkwassergüte

In Deutschland wird die Trinkwassergüte überwacht. Die Definition der Trinkwassergüte ist in der Norm enthalten:

- Trinkwasser ist das wichtigste Lebensmittel. Es kann nicht ersetzt werden.
- Trinkwasser muss frei von Krankheitserregern sein und darf keine gesundheitsschädlichen Eigenschaften haben.
- Trinkwasser muss keimarm sein.
- Bei der bakteriologischen Wasseruntersuchung wird die Keimzahl bestimmt und der Colititer festgestellt. Auftreten von Colibakterien (*Escherichia coli*) weisen immer auf fäkale Verunreinigungen hin. Ist gleichzeitig die Keimzahl (>100 Keime/ml) hoch, ist mit Sicherheit auch auf pathogene Keime zu schließen.
- Heute gehören die bakteriologischen und chemischen Untersuchungen zusammen. Bei diesen wird zunächst weniger nach chemischen Verbindungen, die gesundheitsschädlich sind gesucht, als vielmehr mit Hilfe summarischer Parameter (KMnO<sub>4</sub>-Verbrauch, CSB, BSB) nach dem Inhalt oxidierbarer Substanzen. Demnach stellt die chemische Untersuchung die Anzeiger von Verunreinigungen, wie NH<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>.

### Trinkwasserleitung

Leitungen zum Transport des Trinkwassers von der Wasseraufbereitung bis zum Verbraucher.

### Trinkwasserqualität

Die Qualität von Trinkwasser, welches den Bedingungen der Trinkwasserverordnung entspricht.

Das Trinkwasser, welches in Deutschland von öffentlichen Trinkwasserversorgern verteilt wird, muss den gesetzlichen Bestimmungen (TrinkwV) entsprechen. Maßstäbe dazu setzt die Norm: Leitsätze für die Anforderungen an Trinkwasser, Planung, Bau und Betrieb und Instandhaltung der Versorgungsanlagen.

### Trinkwasserverordnung

Verordnung des Bundes, die die Beschaffenheit des Trinkwassers (Grenzwerte für die Inhaltsstoffe), die Pflichten der Wasserversorger und die Überwachung durch Gesundheitsbehörden vorschreibt.

### Trinkwasserversorgung

Aus den Anforderungen an Trinkwasser als Lebensmittel und aus der Forderung, dass Wasser aus Gründen der Seuchenhygiene und des Brandschutzes jederzeit zur Verfügung stehen muss, ergeben sich einige grundlegende Voraussetzungen:

- Die Qualität des Lebensmittels Trinkwasser darf für alle Kunden in ästhetischer, chemischer und mikrobiologischer Hinsicht nicht gemindert werden.
- Die Grenzwerte der Trinkwasserverordnung sind unter allen möglichen Betriebs- und Versorgungszuständen jederzeit sicher einzuhalten, zusätzlich ist das Minimierungsgebot der Trinkwasserverordnung zu beachten.
- Die korrosionschemischen Eigenschaften des Trinkwassers dürfen sich nicht nachteilig ändern.
- Die Gebrauchseigenschaften, insbesondere Härte und Salzgehalt, sollten sich nicht verschlechtern.
- Die Verantwortlichkeiten für die Trinkwassergüte und die Zuständigkeit für die Qualitätssicherung müssen genau definiert sein.
- Die technischen Regeln der Wasserversorgung sind einzuhalten.
- Die Versorgung aller Kunden muss in Bezug auf Menge und Druck jederzeit sichergestellt sein.
- In allen Versorgungszonen muss ein ausreichender Brandschutz gewährleistet sein.
- Eine nachhaltige Bewirtschaftung der genutzten Wasserressourcen und ein ausreichender Schutz der Wasservorkommen müssen gewährleistet bleiben.
- Die Versorgung muss weiterhin flächendeckend zu angemessenen Preisen gewährleistet sein.
- Die Anforderungen der Kunden sind zu berücksichtigen.

### Trockenwetterabfluss

Summe aus Schmutzwasserabfluss und Fremdwasserabfluss. Formel:  $Q_t = Q_s + Q_f$ .

### TV-Inspektion

Die TV-Inspektion (ggf. Videoaufzeichnung von der „Kanalbefahrung“) erlaubt einen Blick „in das gereinigte Rohr“ und damit eine Beurteilung des Reinheitsgrades für das Verfahren, erfasst werden, z. B.: der Korrosionszustand (Flächen-, Mulden- oder Lochkorrosion) und Reste des werkseitigen inneren Korrosionsschutzes (Inspektion).

### U-Liner

PE-HD-Rohr zur Sanierung von Rohrleitungen aus der Gruppe der „Close-fit-Pipes“. Um das Einziehen in das zu sanierende Rohr zu erleichtern, werden die Rohre im Werk in eine U-Form gebracht. Bei der Verlegung wird das Rohr erwärmt und formt sich aufgrund des PE-eigenen Memoryeffekts in seine ursprüngliche runde Form zurück. Nach erfolgter Sanierung liegt das Rohr close-fit in der alten Leitung.

### Überwachung

Eine fortlaufende oder periodische Kontrolle, die den Einfluss von Handlungen auf die Umwelt bestimmt und/oder in Übereinstimmung mit den Abfallentsorgungslizenzen Verhältnisse zu schaffen und/oder gesetzliche Bedingungen für die Sicherheit der Umwelt (Monitoring).

### Umweltbelastung

Die gesamte Auswirkung einer Handlung auf die Umwelt.

### Umweltverträglichkeitsprüfung

Gemäß Gesetz über die Umweltverträglichkeitsprüfung (UVPG) unselbständiger Teil verwaltungsbehördlicher Verfahren, die der Entscheidung über die Zulässigkeit von Vor-



haben dienen. Die Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP) umfasst die Ermittlung, Beschreibung und Bewerten der Auswirkungen eines Vorhabens auf

- Menschen, Tiere und Pflanzen, Boden, Wasser, Luft, Klima und Landschaft, einschließlich der Wechselwirkungen
- Kultur- und sonstige Sachgüter

**Versickerung**

s. Infiltration

**Versorgungssicherheit**

Maßnahmen zur Versorgungssicherheit dienen der Sicherstellung einer bedarfsgerechten Versorgung (z. B. mit Trinkwasser in der Wasserversorgung) hinsichtlich Menge und Qualität.

**Versorgungsunternehmen**

Unternehmen, die für die Versorgung mit Strom, Gas, Wasser, Fernwärme, TV und Telefon etc. zuständig sind.

**Vinylchlorid**

(VC) Der Rohstoff für eines der wichtigsten Polymere. Die beiden Gase Chlorwasserstoff und Acetylen ergeben, über entsprechende Katalysatoren geleitet, das bei normalen Bedingungen gasförmige Vinylchlorid. Dieses Monomer wird nach verschiedenen Verfahren zu Polyvinylchlorid (PVC) polymerisiert.

**Vorfluter**

- 1 Gewässer (Bach oder Fluss), in den die gereinigten Abwässer einer Kläranlage eingeleitet werden.
- 2 Gewässer (z. B. Bach, jede Art von Kanal, Fluss oder See), in das mit wasserrechtlicher Erlaubnis Abwasser eingeleitet wird.
- 3 oberirdisches Gewässer, das den Abfluss einer Fläche oder eines anderen Gewässers aufnimmt.

**Wanddicke**

Maß der Wand eines Profils, Rohres, Schlauchs, Spritzguss- oder Blasteils; u. a. durch besondere Wanddicken-Messgeräte wird die erforderliche Wanddicke auf festgelegte Toleranzen kontrolliert.

**Wärmeleitfähigkeit**

- 1 Fähigkeit eines Körpers, Wärme zu leiten. Gegensatz: Isolationsfähigkeit
- 2 Besteht innerhalb eines Körpers ein Temperaturunterschied, so findet ein Energietransport (Wärmeleitung) in Richtung abnehmender Temperatur statt. Die Größe des Energietransports ist abhängig von einer Materialkonstante, der Wärmeleitfähigkeit, dem Temperaturunterschied und der Querschnittfläche senkrecht zum Temperaturgefälle.
- 3 Eine durch Stärke der Wärmeleitung in einem Körper festgelegte physikalische Größe. Sie ist eine Stoffkonstante und wird gemessen in W/(m·K). Ein Stoff hat die Wärmeleitfähigkeit W/mK, wenn von einer Seitenfläche eines aus diesem Stoff bestehenden Würfel von 1 m Kantenlänge zur gegenüberliegenden Seite bei einer zwischen ihnen bestehenden Temperaturdifferenz von 1 Kelvin (1 °C) in einer Sekunde eine Wärmemenge von 1 Joule fließt. Synonyme: Wärmeleitzahl, spezifisches Wärmeleitvermögen, thermische Leitfähigkeit

**Wartung**

- 1 Die Instandhaltung, die für einen effizienten Betrieb von Anlage notwendig ist. Sie beinhaltet Arbeitszeit und Materialien. Sie ist nicht zu verwechseln mit Reinvestitionen oder Modernisierung.
- 2 Maßnahmen zur Bewahrung des Sollzustandes von technischen Mitteln eines Systems (Erstellen eines Wartungsplanes, Vorbereitung der Durchführung, Durchführung, Rückmeldung)

**Wasser**

Drei Viertel der Erdoberfläche sind mit Wasser bedeckt. Die gesamte Wassermenge beträgt etwa 1,4 Milliarden Kubikkilometer. Davon sind 92,2 % Salzwasser, das Eis der Pole und Gebirge enthält weitere 2,2 %. Das Süßwasser der Flüsse (Fluss), der Seen und des Grundwassers der Kontinente macht nur 0,6 % der gesamten auf der Erde vorhandenen Wassermenge aus. Durch die Sonnenenergie ist Wasser einem ständigen Kreislauf unterworfen. Es verdunstet an der Oberfläche der Meere und Kontinente. Der aufsteigende Wasserdampf kühlt sich in der Höhe ab und kondensiert zu Wolken. Bei weiterer Abkühlung geben diese ihre Feuchtigkeit als Niederschlag ab. Wasser ist am Aufbau der Pflanzen- und Tierwelt maßgeblich beteiligt. Der menschliche Körper besteht aus 60 bis 70 % Wasser, manche Gemüse und Früchte zu mehr als 90 %. Beim erwachsenen Menschen beträgt der tägliche Wasser-Bedarf etwa 35 g je kg Körpergewicht.

Eigenschaften	
Schmelzpunkt:	0 °C
Siedepunkt:	100 °C
Spezifisches Gewicht:	Wasser bei 0 °C: 0,999868 g/cm <sup>3</sup>
	Eis bei 0 °C: 0,9168 g/cm <sup>3</sup>
	Wasser bei 4 °C: 1,0 g/cm <sup>3</sup>

Qualifikationsmöglichkeiten	
nach Vorkommen:	Oberflächenwasser
	Grundwasser
	Quellwasser
	Meerwasser
	Brackwasser
nach Verwendung:	Trinkwasser
	Brauchwasser
	Abwasser
nach gelösten Stoffen:	Mineralwasser
	Salzwasser

**Wasserbedarf**

Planungswert des in einer Zeitspanne für die Wasserversorgung voraussichtlich benötigten Wasservolumens [m<sup>3</sup>/a, m<sup>3</sup>/d, m<sup>3</sup>/h, m<sup>3</sup>/s] oder [m<sup>3</sup>/(E·a), m<sup>3</sup>/(E·d), l/(E·d), l/(E·s)].

**Wasserepidemie**

- 1 Wasserepidemien sind durch einen explosiven Ausbruch gleichartiger Erkrankungen von Personen aller Altersgruppen gekennzeichnet. In der Vorgeschichte findet sich meist ein Hinweis auf die Exposition zur kontami-

nierten Wasserquelle und die territoriale Ausbreitung entspricht dem Wasserversorgungsbereich. Sowohl Grundwasser als auch behandeltes Oberflächenwasser, welches aus zentralen Wasserversorgungsanlagen, Kleinst- oder Einzelanlagen bereitgestellt wird, kann an der Auslösung von Epidemien beteiligt sein, wenn eine Kontamination stattgefunden hat.

- 2 Im Allgemeinen liegen den Epidemien folgende Ursachen zugrunde:
  - vorübergehende massive fäkale Kontamination des Trinkwassergewinnungsbereiches infolge ungünstiger Lage zu Abwasserbehandlungsanlagen oder infolge von fehlerkonstruierten Gewinnungsanlagen
  - Abwasser- oder Brauchwassereinbruch in Trinkwasserleitungen durch Rückstau, Kreuzverbindungen und Lecks im Rohrsystem
  - Genuss von rohem Fluss- oder Seewasser oder unzureichend aufbereitetem ungenügend gechlortem Wasser durch Fehlverhalten aus mangelnden hygienischen Kenntnissen oder aus Leichtsinne
  - Verzehr von Schalentieren aus fäkal belasteten Gewässern.

Die modernen Verfahren der Abwasserbehandlung, Trinkwasseraufbereitung einschließlich der Chlorung haben in den hochzivilisierten Industrieländern zu einer Veränderung des mit dem Wasser übertragenen Erregerspektrums geführt. Im Vordergrund stehen virale Gastroenteritiden und Hepatitis, während die bakteriellen Durchfallerkrankungen in den Hintergrund getreten sind.

### Wassergewinnung

- 1 Zur Wassergewinnung wird das Wasser aus Flüssen, Seen und Talsperren (Oberflächenwasser) und das Grundwasser und Quellwasser genutzt.
- 2 Da das Wasser aus dem Oberflächenwasser häufig verschmutzt ist, nutzt man die Filterwirkung des Untergrundes. Wenn die Filterstrecke (der Weg, den das Wasser im Boden zurücklegen muss) lang genug ist, kann das Wasser so gut sein, dass es Trinkwasserqualität hat. Das Wasser fließt in einen Brunnen; dort sammelt sich das Wasser. Es wird mit elektrischen Pumpen in den Hochbehälter gepumpt.

### Wassergüte

- vgl. Gewässergüte
- vgl. Trinkwassergüte

### Wasserhaushalt

- 1 Die mengenmäßige Erfassung des Wasserkreislaufs, Wasserbilanz und seine Regulierung; wichtiger Teil der Wasserwirtschaft.
- 2 Der natürliche Wasserhaushalt eines Einzugsgebietes ist von seinen Hauptparametern Niederschlag, Verdunstung, Versickerung, Abfluss, und Rückhalt abhängig; s.a. Wasserhaushaltsgleichung.

### Wasserhaushaltsgesetz

Das Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushalts (WHG) betrifft grundlegende Bestimmungen über wasserwirtschaftliche Maßnahmen (Wassermengen- und Wassergütwirtschaft). Der sachliche Geltungsbereich des WHG erstreckt sich auf oberirdische Gewässer (Fluss, See usw.), auf Küstengewässer und auf das Grundwasser.

### Wasserqualität

Die natürliche Beschaffenheit eines oberirdischen Gewässers wird im wesentlichen durch geographische, geologische und biologische Faktoren bestimmt. Die meisten Gewässer

im überwiegend dicht besiedelten Bundesgebiet sind durch anthropogen eingebrachte Schadstoffe belastet.

Die natürliche Beschaffenheit des Grundwassers wird durch physikalische Vorgänge, chemische Prozesse, biologische Prozesse und hydraulische Prozesse geprägt.

Die Wasserqualität des Trinkwassers wird durch Anforderungen an die mikrobiologische, chemische, physikalische und organoleptische Beschaffenheit in der Trinkwasserverordnung geregelt.

### Wasserressource

Nutzbares Wasservorkommen.

### Wasserverlust

- 1 Die statistische Messdifferenz zwischen Bruttoabgabe in das Rohrnetz und der Wasserabgabe an die Verbraucher. Die echten Wasserverluste sind durch Lecks verlorene Wassermengen. Unechte Verluste betreffen nicht oder falsch gemessene Entnahmen. Die Verluste werden in % des in das Rohrnetz eingespeisten Volumens angegeben, besser bezogen auf die Rohrnetzlänge - Dimension  $m^3/(km \cdot h)$ .
- 2 Unter Wasserverlust versteht man die Differenz zwischen verkaufter Menge und der in das Rohrnetz eingespeisten Menge
- 3 Der in Prozent ausgedrückte Anteil des in das Rohrnetz eingespeisten Wasservolumens, dessen Verbleib im einzelnen volumenmäßig nicht erfasst werden kann.

### Wasserversorger

Wasserversorger beliefern ihre privaten, gewerblichen und industriellen Kunden mit Trinkwasser. In manchen Fällen wird die Industrie mit Betriebswasser versorgt.

### Wasserversorgung

Alle Maßnahmen zur Beschaffung, Aufbereitung, Speicherung, Zuführung und Verteilung von Trinkwasser und Brauchwasser. Grundwasser kann als Trinkwasser geeignet sein, Sickerwasser und Regenwasser muss gefiltert und aufbereitet werden. Flusswasser ist trotz Selbstreinigungsvorgängen nur gereinigt und aufbereitet verwendbar. Die chemische Industrie benötigt große, jederzeit verfügbare Wassermengen. Daher suchen größere Betriebe mit hohem Energie- und Wasserbedarf die Nähe zu großen Vorflutern. Je nach Anforderungen an das Wasser werden wahlweise Oberflächenwasser, Grundwasser und Trinkwasser eingesetzt. Während Trinkwasser, das meistens aus dem öffentlichen Wasserversorgungssystem bezogen wird, überwiegend für die Produktion von Lebensmittelzusatzstoffen oder direkt für die Belegschaft eines Werkes gebraucht wird, dient Grundwasser nach vorangegangener Aufbereitung zur Herstellung von Pharmaprodukten oder Spezialchemikalien. Oberflächenwasser wird primär genutzt als Kühlwasser, Betriebswasser, Reinigungs- und Lösemittel, aber auch für die Bewässerung von Grünflächen und für sanitäre Einrichtungen.

### Wasserversorgungsanlage

Wasserversorgung

### Wasserversorgungsunternehmen

Wasserversorger

### Wasserverteilungsanlage

System bestehend aus Rohren, Formstücken, Verbindungen, Armaturen und Feuerlöschrichtungen für Versorgungs- und Anschlussleitungen. Wasserverteilungsnetz

**Wasserwirtschaft**

Wasserwirtschaft ist definiert als „zielbewusste Ordnung aller menschlichen Eingriffe auf das ober- und unterirdische Wasser bezüglich Menge, Güte und Ökologie“. In der heutigen Zeit sind zusätzlich die Funktionen des Wassers für Landschaftshaushalt und Lebensraum einzubeziehen.

**Werkstoff**

Zusammenfassende Bezeichnung für diejenigen Rohstoffe, Halbfertig- und Fertigfabrikate, die als Ausgangs- und Grundstoffe in Enderzeugnisse einzugehen bestimmt sind. Werkstoffe zählen zu den elementaren Produktionsfaktoren. Sie werden nach der in der Produktion erfolgten Veränderung der Form oder Substanz oder durch den Einbau in andere Fertigungserzeugnisse Bestandteil neuer Produkte.

**Wohl der Allgemeinheit**

s. Gemeinwohl

**Zeitstands-Innendruckversuch**

Haltbarkeitsprüfung an Rohren unter Berücksichtigung der plastischen Verformung (Kriechen) und eines mehrachsigen Spannungszustands bei ruhender Beanspruchung. Geprüft wird ein Rohrstück mit erhöhtem Innendruck, meist auch erhöhter Temperatur, um in kurzer Zeit Festigkeitsaussagen zu bekommen. Durch Extrapolieren kann man auf längere Zeit Voraussagen über die Haltbarkeit bei Normaldruck und -temperatur treffen (Zeitstandsfestigkeit).

**Zeitstandsfestigkeit**

Auf der Grundlage von langjährigen Prüfwerten im Zeitstandverhalten und Alterungsuntersuchungen unter extremen Bedingungen lassen sich verlässliche Aussagen über die zu erwartende Lebensdauer eines Kunststoffrohres machen. Aus diesen Erfahrungswerten werden sog. Zeitstandskurven extrapoliert, die den Zusammenhang zwischen dem normierten Innendruck (Vergleichsspannung) und der Standzeit des Rohres bei verschiedenen Betriebstemperaturen darlegen (Zeitstands-Innendruckversuch).

**Zementmörtelauskleidung**

Die Zementmörtelauskleidung hat folgende Aufgaben:

- Aufbringen eines Innenschutzes zum Schutz von Rohren aus Eisenwerkstoffen gegen Korrosion
- Abdichtung vorhandener Leckagen
- Verhinderung von Inkrustationen

- Verbesserung der hydraulischen Eigenschaften

**Zertifizierung**

- 1 Unter Zertifizierung wird die Überprüfung einer Sache oder eines Systems nach festgelegten Normen durch eine qualifizierte, unabhängige Instanz verstanden. (Zertifikat: Bestätigung)
- 2 Der Begriff Zertifizierung wird vor allem im Zusammenhang mit der Vergabe des EMAS-Zeichens für Umweltmanagementsysteme gemäß EG-Öko-Audit-VO verwendet, das ein Unternehmen nach der erfolgreichen Erarbeitung eines Öko-Audits erhält. Der zertifizierte Betrieb erhält eine Eintragung ins Register der EU/IHK. In diesem Zusammenhang ist auch die Norm zu berücksichtigen. Zertifizierung bedeutet letztendlich das Feststellen eines öffentlich anerkannten genormten Qualitätsstandards und die Registrierung in einem öffentlich zugänglichen Standort/Organisationskataster. Im Falle der Norm wird diese Zertifizierung weltweit anerkannt, im Falle der EG-Öko-Audit-VO wird die Zertifizierung innerhalb der EU anerkannt.
- 3 Besondere Bedeutung hat die Zertifizierung von Qualitätsmanagementsystemen erlangt. Grundlage dafür ist die international anerkannte Normenreihe. Das Zertifikat bestätigt dem überprüften Unternehmen, daß Zuständigkeiten und Abläufe aller qualitätssichernden Maßnahmen in Übereinstimmung mit diesem Regelwerk sind. Dem Kunden wird damit nachgewiesen, daß der Lieferant ein Qualitätsmanagementsystem betreibt, was immer mehr zu einer wichtigen Grundlage für Aufträge und die vertrauensvolle Zusammenarbeit zwischen Lieferanten und Kunden wird.
- 4 Auch im ökologischen Bereich spielt die Zertifizierung eine Rolle. Wälder werden bei Erfüllung bestimmter Nachhaltigkeitskriterien zertifiziert. Dies bedeutet, dass ein Siegel nur vergeben wird, wenn die Aufforstung bzw. die Bewirtschaftung nach bestimmten Vorgaben erfolgt (z. B. sind bestimmte ökonomische, ökologische und soziale Kriterien zu berücksichtigen).

**zustandsbedingte Netzanalyse**

Untersuchung des Netzzustandes nach Schwachstellen, Schadensraten und Wasserverlusten .



## Gesetze und Richtlinien

**AVBWasserV**

Verordnung über Allgemeine Bedingungen für die Versorgung mit Wasser

**EU-WRRL**

Europäische Wasserrahmenrichtlinie

**KTW-Richtlinie**

KTW-Empfehlung

**RSA**

Richtlinie für die Sicherung von Arbeitsstellen an Straßen

**RStO**

Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaues von Verkehrsflächen

**StVO**

Straßenverkehrsordnung

**StVZO**

Straßenverkehrs-Zulassungs-Ordnung

**WHG**

Wasserhaushaltsgesetz

**ZTV Beton-StB**

Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für den Bau von Fahrbahndecken aus Beton

# Abkürzungsverzeichnis

## AZ

Asbestzement

## DIN

- 1 Deutsche Industrie-Norm
- 2 Deutsches Institut für Normung e.V. Die ursprüngliche Abkürzung für Deutsche Industrie Norm; auch als „Das ist Norm“ verwendet. DIN sind Standards mit empfehlendem Charakter.

## DN

- 1 Abkürzung für Diameter nominal. Internationale Bezeichnung für Nennweite (NW) oder lichte Weite (LW).
- 2 Unter der Bezeichnung „DN“ versteht man in der Pumpentechnik die ungefähre lichte Weite oder Nennweite der Rohrleitung. Die wirkliche lichte Weite oder der exakte innere Durchmesser einer Rohrleitung hängt ab vom Außendurchmesser und von der Wandstärke und ist den Rohrleitungstabelle zu entnehmen.
- 3 Denitrifikation

## DVGW

Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e.V.

## EU-WRRL

Europäische Wasserrahmenrichtlinie

## FZ

Faserzement

## GFK

glasfaserverstärkte Kunststoffrohre

## GG

- 1 Grundgesetz der Bundesrepublik Deutschland
- 2 Grauguss

## GGG

duktils Gusseisen

## GIS

Geographisches Informationssystem

## HDPE

HDPE bedeutet High Density Polyethylen also Polyethylen hoher Dichte. Ein sehr steifes Material, meist über 2 mm Dicke. Farbe in der Regel schwarz, Verwendung meist im Deponiebau oder in Kläranlagen.

## MRS

Minimum Required Strength (erforderliche Mindestfestigkeit, Mindestlangzeitfestigkeit)

## PC

Polymerbeton

## PE

Polyethylen

## PE-HD

Polyethylen hoher Dichte (HDPE)

## PE-LD

Polyethylen mit niedriger Dichte

## PEX

vernetztes Polyethylen, siehe PEX-Rohr

## PE-X

PEX

## PE-Xb

Rohre aus PE mit einer Schutzschicht aus silanvernetztem Polyethylen

## PE-Xa

Rohre aus peroxidisch vernetztem Polyethylen

## PMMA

Polymethylmethacrylat

## PN

- 1 Nenndruck
- 2 Abkürzung für Pressure nominal. Internationale Bezeichnung für Druckstufen von Rohrleitungen und Flanschen die angibt, bis zu welchen Drücken sie belastet werden dürfen. Die gebräuchlichsten Stufen sind: DN6, DN10 und DN16. Die Zahlenangaben beziehen sich auf die maximal zulässigen Betriebsdrücke in bar.

## PP

Polypropylen

## ppm

parts per million

## PVC

Polyvinylchlorid

## PVC-U

Polyvinylchlorid ohne Weichmacher

## SLM-Rohr

Safety-Line-Mantelrohr

## Stz

Steinzeug

## uVEA

unterirdische Ver- und Entsorgungsanlagen

## VC

Vinylchlorid

## Stichwortverzeichnis

- Abdichtungsverfahren 302  
Abflusswert 377  
Abminderungsfaktoren 36  
Abnutzung 58, 377  
Abnutzungsvorrat 58, 280, 377  
Abrieb 377  
Absperrbake 377  
Absperrzaun 377  
Abwasser 377  
Abwasserabgabengesetz 377  
Abwasserableitung 377  
Abwasseranfall 377  
Abwasserbehandlung 377  
Abwassereinleitung 378  
Abwasserentsorgung 5, 47  
Abwasserschächte 282  
Abweichung 58, 378  
Additive 378  
aktiver Korrosionsschutz 83, 378  
allgemeine bauaufsichtliche Prüfzeugnisse 287  
allgemeine bauaufsichtliche Zulassungen 286  
Alterungsbeständigkeit 378  
Altlast 378  
Anode 378  
Anschleuderverfahren (Beschichtungsverfahren) 307  
Anschluss- und Benutzungszwang 378  
Anschlussdichte 378  
Anschlussstutzen (Sanierung) 302  
Anspritzverfahren 308  
anthropogen 378  
Antistatika 378  
Aquädukt 378  
Arbeitssicherheit 230, 378  
Asbestzementrohre 87  
Asphalt 378  
Asphaltdecke 22  
Asphaltstraße 10  
Auflagerwinkel 37  
Ausfall 58, 378  
Ausgrabung 42  
Auskleidung mit montierten Einzelelementen 310  
Auskleidung mit örtlich hergestellten Rohren 317  
Auskleidung mit örtlich hergestellten und erhärtenden Rohren 318  
Auskleidung mit Rohren 311  
Auskleidung mit vorgefertigten Rohren 311  
Auskleidungsverfahren 308, 378  
Ausladung 37  
AVBWasserV 399  
AZ 400
- Baulänge 379  
bauliche Sanierung 294, 324  
bauliche Schäden 281  
Baumschutz 10  
Bauverfahren für Abwassersammler 5  
Bauzustand 62  
Belästigung 379  
Bersten 15  
Berstlining 115, 323, 379
- Beschichtung 379  
Beschichtungsverfahren 304, 379  
Bestandskarte 102, 379  
Bestandsplan 379  
Betonrohre 87  
Betonstraße 10  
Betriebsdruck 379  
betriebswirtschaftliche Nutzungsdauer 60, 242, 379  
Bettungsmörtel 21  
Bettungsschicht 18  
Bewitterungstest 379  
Bitumen 379  
Blasensetztechnik 232  
Blasverfahren 379  
Bodenart 379  
Bodengruppen 33  
Bodeninjektion 299  
Bodenmörtel 24  
Boden-Mörtel-Verfahren 31  
Bohrvortriebsverfahren 379  
Brauchwasser 379  
Brunnen 380
- chemische Beständigkeit 380  
Cholera 380  
Close-fit 380  
Co-Extrusion 380
- Daseinsvorsorge 380  
Dichtheitsprüfung 380  
DIN 400  
Diocetylphthalat 380  
Direkteinleiter 380  
DIN-Normung 380  
DN 400  
Doppelrohrsystem 380  
Drainage 380  
Dränage 380  
Dränmatte 380  
Dränrohr 380  
Dreifach-Injektionspacker 300  
Druckrohr 380  
Druckschlauch 380  
Druckstufe 380  
Druckverlust 381  
Druckwasserversorgung 4  
Düker 381  
Duktiles Gusseisen (Rohre) 87  
Duktilgussrohre 83  
Durchschlagfestigkeit 381  
Durchsickerung 21  
Duroplast 381  
DVGW 400
- Einbautiefe 381  
Einfahrverfahren 317  
Einschubverfahren 317  
Eintrittswahrscheinlichkeit 218, 381  
Einzelrohr-Lining 316  
Einziehverfahren 316  
Elastomer 381



- elektrische Isolationseigenschaften 381  
 Elektroenergieversorgung 49  
 Elektroschweißverbindung 381  
 Entsorgung 381  
 Entsorgungsunternehmen 381  
 Entwässerung 381  
 Epidemie 381  
 Epoxydharz 381  
 Erddruckverhältnis 36  
 Erdgas 6, 55, 381  
 Erlaubnis 381  
 Erneuerung 2, 60, 322, 381  
 Erneuerungszeitpunkt 57  
 Europäische Wasserrahmenrichtlinie 381  
 EU-WRRL 399, 400  
 Exfiltration 281, 381  
 Extruder 381  
 Extrudieren 382  
 Extrusion 81, 382  
 Extrusionsblasen 382  
  
 Fahrdambbreite 8  
 Fäkalien 382  
 Faulgas 382  
 Fehler 58, 382  
 Ferngas 6, 55, 382  
 Fernkälteanlage 52  
 Fernsehen 51  
 Fernsprechen 50, 382  
 Fernwärmeversorgung 48, 382  
 filmbildende Beschichtungen 306  
 Filterrohr 382  
 Flächenkorrosion 83, 382  
 fließfähige Verfüllmaterialien 29  
 Flutungsverfahren 299  
 Folgeschaden 7, 41, 382  
 Freispiegelleitung 382  
 Frostschäden 22  
 Frostschutzschicht 21  
 Frosttiefe 96  
 Fugenband 23  
 Fugenverfüllung 21  
 Funktionsfähigkeit 58, 60, 382  
 FZ 400  
  
 Gas 382  
 Gasaustritt 224  
 Gasfernversorgung 6  
 Gasrohr 382  
 Gasrohrleitungen 55, 87, 115  
 Gasversorgung 5, 46, 382  
 Gasverteilungsnetz 60, 382  
 Gaswerk 5  
 Gebühr 382  
 Gefährdungspotenzial 382  
 Gehbahnen 10  
 Gemeinwohl 383  
 Genehmigung 383  
 Geosynthetics 383  
 Geotextilien 383  
 Gewässergüte 383  
 Gewebemanschetten 296  
 Gewebeschlauch-Relining 115, 383  
 GFK 400  
 GG 400  
 GGG 400  
 GIS 400  
  
 Glasfaser 383  
 Gleitmittel 383  
 grabenlose Bauverfahren 2, 14  
 grabenlose Verlegetechnik 383  
 Graphitierung 86, 383  
 Graugussprogramm 6  
 Graugussrohre 86  
 Grundleitung 383  
 Grundschutz (Löschwasserbereitstellung) 383  
 Grundwasser 383  
 Gütegemeinschaft 384  
 Gütesicherung 384  
  
 Haltung 384  
 Hausanschluss 384  
 Hausentwässerung 384  
 Haushaltsabwasser 384  
 HDD-Bohrspülung 15  
 HDPE 400  
 Hohlrauminjektion 299  
 Holzrohrleitungen 3  
 Hutprofilverfahren 303  
 Hydrant 4, 384  
 hydraulisch verdichtende Verfüllmaterialien 30  
 hydraulische Leitfähigkeit 384  
 hydraulische Sanierung 293  
  
 IKT-Warentest 287  
 Inbetriebnahme 58, 384  
 Indirekteinleiter 384  
 Industrieabwasser 384  
 Infiltration 281, 384  
 Infrastruktur 1, 385  
 Injektion 385  
 Injektion von Außen 298  
 Injektion von Innen 299, 303  
 Injektion von Rohrverbindungen 300  
 Injektionsmittel 297  
 Injektionsverfahren 297  
 Inliner 385  
 Innenmanschetten in nicht begehbaren Kanälen 296  
 Insitu 385  
 Insituform-Verfahren 319  
 Inspektion 58, 60, 287, 385  
 Instandhaltung 60, 385  
 Instandsetzung 58, 60, 230, 385  
 Istzustand 58, 114, 385  
 Istzustandsabweichung 58, 385  
 Istzustandserfassung 287  
 Istzustandsparameter 115  
  
 Kalk-Kohlensäure-Gleichgewicht 385  
 Kanalabdichtung 302  
 Kanalisation 5, 385  
 Kanalnetzüberlastung 283  
 Kanalprofil 5  
 KA-TE System 295  
 Kathode 385  
 kathodischer Korrosionsschutz 83, 385  
 Kellerentwässerung 43  
 Kiesweg 9  
 Kläranlage 385  
 Klassifizierungs- und Bewertungsmodelle (Kanalzustand) 288  
 Klebemuffe 385  
 Kleinsteinpflaster 9  
 Kloake 386

- KM-Berstlining 323  
KM-Part-Liner 296  
Kohlendioxid 386  
Kohlenmonoxid 386  
Kohlensäure 386  
Kohlenwasserstoff 386  
Kontamination 386  
konventionelle Rohrstrangverfahren 312  
Korrosion 83, 386  
Krankheitserreger 386  
KTW-Empfehlung 386  
KTW-Richtlinie 399  
Kunststoff 386  
Kurzrohr 387  
Kurzrohr-Relining 387
- Landesbauordnungen 286  
Langrohr-Relining 387  
Längs- und Querrisse 107  
Langzeittest 387  
Lebensdauer 326  
Lebenszyklus 326  
Leckgröße 225  
Leckklasse 225, 387  
Leckmenge 225  
Leckstelle 61, 387  
Leckstellenhäufigkeit 60, 387  
Leistungsphasen (HOAI) 292  
Leistungsabschnitt 60, 387  
Leitungsalter 60, 387  
Leitungsgraben 18  
Leitungsgruppe 60, 387  
Leitungszone 8, 18, 94, 387  
Lining Techniques 387  
Lochkorrosion 83, 107, 387  
Löschwasserbedarf 387  
Löschwasserversorgung 4
- Mangel 62  
Methan 387  
Mindestlangzeitfestigkeit 387  
Mindestweite 387  
Mischsystem 388  
Mischverfahren 5, 43, 388  
Mischwasser 388  
Mischwasserkanal 388  
mittlere Nutzungsdauer 60, 388  
mittleres Leitungsalter 60, 388  
modifiziertes Mischverfahren 5, 388  
modifiziertes Trennverfahren 5, 388  
Monomer 388  
montierte Einzelelemente (Auskleidung mit ~) 310  
Mörtelbeschichtung 304  
MRS 400  
Muffe 388  
Muldenkorrosion 83, 388  
Mülltransportsystem 52
- Nassspritzverfahren 308  
Nenndruck 388  
Nennweite 388  
Netzanalyse 60, 388  
Netzgestaltung (Wasserversorgung) 4  
Netzspülungen 53  
Netzzustand (Gasrohrleitungen) 55  
nicht begehbaren Kanäle (Reparatur) 296  
Niederschlag 388
- Niederschlagswasser 388  
Normung 285, 388  
Nutzungsdauer 54, 326  
– geschätzt 250  
Nutzungsvorrat 58, 388
- Objektschutz (Löschwasserbereitstellung) 388  
offene Bauverfahren 14  
optische Inspektion 288  
örtlich erhärtende, reaktionsharzgetränkte Gewebemanschetten 296  
örtlich hergestellte Rohre (Auskleidung mit ~) 317  
örtlich hergestellte und erhärtende Rohre (Auskleidung mit ~) 318
- passiver Korrosionsschutz 83, 389  
PC 400  
PE 400  
PE-HD 400  
PE-LD 400  
Penetryn-Verfahren 301  
Permeabilität 389  
PE-X 400  
PEX 400  
PE-Xa 400  
PE-Xa-Rohre 239  
PE-Xb 400  
PEX-Rohr 389  
Pflasterdeckenaufbau 21  
Phosphat 389  
pH-Wert 389  
physiologische Unbedenklichkeit 389  
Plankammerdaten 114  
Planung 292  
Plattenbelag 10  
PMMA 400  
PN 400  
Polyethylen 389  
Polyethylen-Rohre 116  
Polykondensation 389  
Polymer 389  
Polymerisation 389  
Polyolefin 390  
Polypropylen 390  
Polyurethan 390  
Polyurethanbeschichtung 306  
Polyvinylchlorid 390  
PP 400  
ppm 400  
PVC 400  
PVC-U 400
- qualitative Netzanalyse 60, 391  
Qualitätssicherung 391  
quantitative Netzanalyse 60, 391
- Radweg 10  
Reduktionsfaktor 36  
Reduktionsverfahren (Rohrstrangverfahren) 314  
Reflexionsriss 23  
Regentlastungsanlage 391  
Regenrückhaltebecken 391  
Regenwasser 391  
Rehabilitation 5, 53, 60, 391  
Rehabilitationsrate 60, 391  
Rehabilitationsverfahren 5, 227  
Reibungswinkel 35  
Relining 391

- Renovierung 62, 304, 391  
 Reparatur 60, 102, 295, 391  
 Reparaturverfahren 229  
 RIB-LOC-Expanda-Pipe-Verfahren 318  
 RIB-LOC-Relining-System 317  
 Ringraum 391  
 Ringraum (Rohrstrangverfahren mit ~) 312  
 Ringraum (Rohrstrangverfahren ohne ~) 313  
 Risiko 218, 391  
 Rissinjektion 300  
 Robotersysteme 296  
 Rohr 392  
 Rohrleitungsbeanspruchungen 95  
 Rohrmaterialien 4  
 Rohrpost 52, 392  
 Rohrrelining 311  
 Rohrstrang-Lining 312  
 Rohrstrangverfahren (konventionell) 312  
 Rohrstrangverfahren (Weiterentwicklungen) 313  
 Rohrstrangverfahren mit Ringraum 312  
 Rohrstrangverfahren ohne Ringraum 313  
 Rohrtragfähigkeitsberechnung 33  
 Rohruntersuchung 117  
 Rohrvortrieb 322  
 Rohwasser 392  
 Rolldown-Verfahren 314  
 RSA 399  
 RStO 399
- Sanierung 5, 60, 279  
 Sanierungszeitpunkt 57  
 Schaden 58, 60, 217, 392  
 Schadensarten 55, 229  
 Schadensbegriffe 218  
 Schadensbericht 102  
 Schadensfunktionen  
   – Trends 250  
 Schadensrate 60, 392  
 Schadenstelle 59  
 Schadensursachen 54, 114  
 Schadstoff 392  
 Schlackenweg 9  
 Schlauchverfahren 318  
 Schwachstelle 58, 60, 392  
 Schwachstellenanalyse 61, 392  
 Schwemmkanalisation 393  
 Selbstreinigung 393  
 Selbstreinigungskraft 393  
 Selbstreinigungsvermögen 393  
 selbstverdichtende Füllmaterialien 29  
 Senkungsmulde 22  
 Setzungsrisse 24  
 Seuche 393  
 Sicherheitsbegriff 217  
 Sickerrohr 393  
 Sickerwasser 393  
 SLM-Rohr 400  
 Sollweite 393  
 Sollzustand 58, 393  
 Sollzustandabweichung 58, 393  
 soziale Kosten 55, 393  
 Spannungsriss 24  
 Spongiose 83, 86, 393  
 Sprüh-Schleuderverfahren 308  
 Spurrillenbildung 22  
 Stabilisator 393  
 stabilisierte Sandmischung 30
- Stadtgas 6, 55, 393  
 Stadtrohrnetz 4  
 Stadttechnik 1, 393  
 Stahlrohre 87  
 Stand der Technik 393  
 Standsicherheit von Bäumen 11  
 Steckmuffe 394  
 Steinpflasterbahn 9  
 Steinschlagbahn 9  
 Stickstoff 394  
 Stillsetzung 58, 394  
 Störung 58, 394  
 Straßenaufbau 18  
 Straßenbahn 10  
 Straßenbau 9  
 Straßenoberbau 22  
 Straßenquerschnitt 8  
 StVO 399  
 StVZO 399  
 Stz 400  
 Sumpfgas 394  
 Suspension 394  
 Swagelining-Verfahren 315
- technische Infrastruktur 1, 394  
 technische Nutzungsdauer 60, 95, 394  
 technische Sicherheit 394  
 technische Versorgung 1  
 Teer 394  
 teilgefüllte Kanäle (Inspektion) 289  
 Temperaturbeständigkeit 394  
 Temperaturschwankung 24  
 Teppichsonde 226  
 Thermoline-Verfahren 314  
 Thermoplast 394  
 Toleranz 394  
 Tragschicht 22  
 Trennsystem 394  
 Trennverfahren 5, 43, 394  
 Trinkwasser 395  
 Trinkwassergüte 106, 395  
 Trinkwasserleitung 395  
 Trinkwasserqualität 395  
 Trinkwasserverordnung 395  
 Trinkwasserversorgung 395  
 Trockenwetterabfluss 395  
 TV-Inspektion 395
- Überfahren 322  
 Überflutung 283  
 Überwachung 395  
 U-Liner 395  
 U-Liner-Verfahren 316  
 Umweltbelastung 395  
 umweltrelevante Sanierung 294  
 Umweltverträglichkeitsprüfung 395  
 Undichtigkeiten 281  
 unterirdischer Bauraum 1  
 uVEA 400
- VC 400  
 Verfahrenswahl (Sanierung) 324  
 Verformungsmodul 35  
 Verformungsverfahren (Rohrstrangverfahren) 316  
 Füllmaterialien 30  
 Versickerung 396  
 Versorgungsdruck 4



- 
- Versorgungsleitungen 1, 41  
Versorgungssicherheit 396  
Versorgungsunternehmen 396  
Vinylchlorid 396  
Vorfluter 396  
vorgefertigte Rohre (Auskleidung mit ~) 311
- Wanddicke 396  
Wandreibungswinkel 35  
Wärmeleitfähigkeit 396  
Wartung 58, 60, 396  
Wasser 396  
Wasserbedarf 396  
Wasserepidemie 396  
Wassergewinnung 397  
Wassergüte 397  
Wasserhaushalt 397  
Wasserhaushaltsgesetz 397  
Wasserqualität 397  
Wasserressource 397  
Wasserverlust 106, 397  
Wasserversorger 397  
Wasserversorgung 4, 46, 397  
Wasserversorgungsanlage 397  
Wasserversorgungsleitungen 57
- Wasserversorgungsunternehmen 397  
Wasserverteilungsanlage 60, 397  
Wasserwirtschaft 398  
Weimarer Boden-Mörtel (WBM) 30, 34  
Werkstoff 398  
Werkstoffbeanspruchung 284  
WHG 399  
Wickelrohrverfahren 317  
Wirtschaftlichkeit 326  
Wohl der Allgemeinheit 398  
Wurzeleinwuchs 282  
Wurzelschutz 12
- Zeitstandsfestigkeit 86, 398  
Zeitstands-Innendruckversuch 398  
Zementbetondecke 24  
Zementmörtelauskleidung 398  
Zertifizierung 398  
ZTV Beton-StB 399  
zustandsbedingte Netzanalyse 60, 398  
Zustandsbewertung 54, 62  
Zustandsbildkatalog Abwasserschächte 282  
Zustandserfassung 62, 288  
Zustandsklassifizierung 62, 288
-

