

Energieoptimierung in Krankenhäusern

**Qualität und Quantität des Energiebedarfs von
Krankenhäusern unter
besonderer Berücksichtigung des Einflusses
des architektonischen
und baukonstruktiven Entwurfes**

Dissertation

zur Erlangung des akademischen Grades

Doktor-Ingenieur

an der Fakultät Architektur

der

Bauhaus-Universität Weimar

vorgelegt von

Stefan Holeck

geb. 17. März 1960

Weimar, den 15. Juni 2007

Tag der Disputation: 24. Januar 2008

**„Die Luft ist kostbar für den roten Mann - denn alle
Dinge teilen denselben Atem - das Tier, der Baum, der
Mensch - sie alle teilen denselben Atem.
Was immer den Tieren geschieht, geschieht bald auch
den Menschen.**

Alle Dinge sind miteinander verbunden.

**Lehrt Eure Kinder, was wir unsere Kinder lehrten:
Die Erde ist unsere Mutter.
Was die Erde befällt, befällt auch die Söhne der Erde.
Wenn die Menschen auf die Erde spucken, bespeien
sie sich selbst. Denn das wissen wir, die Erde gehört
nicht den Menschen, der Mensch gehört zur Erde –
das wissen wir.**

**Alles ist miteinander verbunden,
wie das Blut, das eine Familie vereint.**

Alles ist verbunden.¹“

¹ Häuptling See-at-la (Seattle), Häuptling der Hopi-Indianer, in seiner Rede vor dem Präsidenten der Vereinigten Staaten von Amerika im Jahre 1855

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	10
1. Einleitung	12
2. Zielsetzung und Abgrenzung	14
3. Strukturanalyse Krankenhäuser	17
3.1 Aufgaben, Aufgaben, Problemstellungen	17
3.2 Operationsabteilung	33
3.2.1 Funktionen, Ausstattung, Allgemeines	33
3.2.1.1 Laststruktur Grundlagen	49
3.2.2. OP-Saal	53
3.2.2.1 Energieverbrauch OP-Saal	53
3.2.2.2 Energieverbrauch OP-Saal bei ungünstigen Installationsverhältnissen	77
3.2.2.3 Auswertung	79
3.2.3 OP-Nebenräume	85
3.2.3.1 Laststruktur	85
3.2.3.2 Referenz-OP-Abteilung	90
3.2.3.3 Energieverbrauch OP-Nebenräume	94
3.2.3.4 Energieverbrauch OP-Nebenräume bei ungünstigen Installationsverhältnissen	99
3.2.3.5 Referenz-OP-Abteilung mit solaren Einträgen	101
3.2.3.6 Energieverbrauch OP-Nebenräume mit solaren Einträgen	108
3.2.3.7 Auswertung	116
3.2.4 Zusammenfassung und Beurteilung	119
3.3 Intensivstationen	122
3.3.1 Funktionen, Ausstattung, Allgemeines	122
3.3.2 Laststruktur	134
3.3.3 Referenz-Intensivstation	135
3.3.4 Energieverbrauch Intensivstation	140
3.3.5 Energieverbrauch Intensivstation bei ungünstigen Installationsverhältnissen	145
3.3.6 Energieverbrauch Intensivstation bei Nord-Süd-Orientierung	147
3.3.7 Auswertung	151

3.4	Röntgendiagnostik	155
3.4.1	Funktionen, Ausstattung, Allgemeines	155
3.4.2	Laststruktur	161
3.4.3	Referenz-Röntgenadiagnostik	163
3.4.4	Energieverbrauch Röntgendiagnostik	169
3.4.5	Energieverbrauch Röntgendiagnostik bei nutzraumintegrierten Technikbereichen	180
3.4.6	Auswertung	184
3.5	Pflegestationen	188
3.5.1	Funktionen, Ausstattung, Allgemeines	188
3.5.2	Laststruktur	197
3.5.3	Referenz-Pflegestation	198
3.5.4	Energieverbrauch Pflegestation	200
3.5.5	Energieverbrauch Pflegestation mit RLT-Anlage	208
3.5.6	Energieverbrauch Pflegestation mit RLT-Anlage und solaren Einträgen bei ungünstigen Installationsverhältnissen	213
3.5.7	Auswertung	215
3.6	Sonstige Bereiche und Verallgemeinerung	219
3.7	Zusammenfassung	227
4.	Strukturanalyse Krankenhäuser – Gesamtentwurf	239
4.1	Allgemeines	239
4.2	Referenzkrankenhaus	248
4.3	Energetische Bewertung von zwei Entwurfstypen / dimensionslose Energieaufwandszahlen	255
4.3.1	Mehrfach-H-Typ	255
4.3.2	Breitfußtyp	264
4.4	Auswertung	272
5.	Strukturanalyse Krankenhäuser – bestehende Gebäude	276
5.1	Johannes- Hospital, Dortmund (Joho)	276
5.1.1	Allgemeines	276
5.1.2	Energetische Struktur	283
5.1.3	Dimensionslose Energieaufwandszahlen	290
5.1.4	Auswertung	291
5.2	St.-Franziskus-Hospital, Münster (SFH)	292
5.2.1	Allgemeines	292
5.2.2	Energetische Struktur	298
5.2.3	Dimensionslose Energieaufwandszahlen	306
5.2.4	Auswertung	307
5.3	Zusammenfassung	307

6.	Strategien zur Reduzierung des Energiebedarfs	309
7.	Zusammenfassung, Ausblick, Tendenzen	316
	Quellenverzeichnis	323
	Abbildungsverzeichnis	326
	Abkürzungsverzeichnis	331
	Anhang	335

Vorwort

Energie – dieses Wort hat eine fast magische, auf jeden Fall aber eine äußerst vielseitige Bedeutung. Energie beschäftigt den Menschen nicht erst, seit er fossile Brennstoffe verwendet. Sie macht die Existenz von Leben gleich welcher Art und Form erst möglich. Ohne Energie gäbe es im wörtlichen Sinne nichts, weder das Weltall noch unser Sonnensystem noch unsere Erde noch uns. Bereits für unsere Urahnen war Energie (über-)lebenswichtig. Sie musste nicht selten unter Lebensgefahr gewonnen werden, wenn es etwa galt, Jagdbeute zu machen, um sich und seiner Sippe das Überleben zu sichern. Und aus demselben Grund verteidigte er sein Revier gegen jeden Konkurrenten.

Wir glauben, der moderne und aufgeklärte Mensch des 21. Jahrhunderts ist über solche Verhaltensweisen hinaus? Vielleicht sollten wir einen Moment darüber nachdenken.

Werden nicht auch heute noch Reviere verteidigt und neue Reviere erobert, um das Überleben des Clans zu sichern? Vielleicht heißen die Jagdreviere heute ja Kohlereviere, Ölfelder oder Uranminen!! Und vielleicht heißen die Clans ja heute Volkswirtschaften, Arbeitsplätze, Wohlstand und sozialer Frieden!! Eines der wichtigsten Ziele des Feldzuges gegen die Sowjetunion im 2. Weltkrieg war die Eroberung der Kohlereviere im Donezkbecken. Es ist ein kaum noch verhülltes Geheimnis, dass der Krieg gegen den Irak im Jahre 2002 vor Allem aus geostrategischen Überlegungen heraus geführt wurde, um die Versorgung mit dem wichtigsten Rohstoff unserer Tage zu sichern: Erdöl.

Und trotzdem gehen wir heute mit Energie sorgloser und rücksichtsloser um als jemals zuvor. Offenbar orientiert sich das Bewusstsein über den Wert von Energie heute weitgehend an finanziellen und volkswirtschaftlichen Fragen. Dabei sind damit auch und vielleicht mehr als jemals zuvor ethische Fragen und die Frage nach dem Überleben auf der gesamten Erde verbunden. Der Treibhauseffekt zeigt, dass die Verwendung von Energie nicht nur ökonomische Aspekte für einzelne Nationen hat, sondern globale Auswirkungen verursacht. Hier stehen wir voraussichtlich erst am Anfang einer Entwicklung, deren Ende nicht absehbar ist und dramatische Auswirkungen auf jegliches Leben haben wird.

Energie begegnet uns überall. Sie ist für jeden von uns allgegenwärtig. Wir schalten ohne darüber nachzudenken, das Licht ein. Wir fahren mit dem Auto in jedem Jahr zigtausende Kilometer für alle möglichen Zwecke. Captain Kirk befiehlt seinem leitenden Bordingenieur Scotti „Energie“, wenn er sich auf einen anderen Planeten beamen lässt. Wir heizen unsere Gebäude mit Energie und bezahlen die Gas- und Stromrechnung.

Wie wichtig Energie ist, wird uns jedoch erst klar, wenn sie nicht oder nur eingeschränkt zur Verfügung steht. Ein Stromausfall hat gravierende Auswirkungen für alle Bereiche unseres Alltagslebens. Ohne Benzin erlahmt praktisch jegliche Mobilität. Eine Unterbrechung der Gasversorgung führt zum Ausfall von vielen tausenden Gebäudeheizungen. Unser gesamtes Leben ist vollständig von einer sicheren Energieversorgung abhängig.

Vor diesem Hintergrund ist die Rede des Häuptlings See-at-la vor mehr als 150 Jahren ein geradezu prophetischer Appell, sich das Bewusstsein für seine natürlichen Grundlagen zu erhalten. Jede monozentrische Sicht- und Handlungsweise, die dies vergisst, kehrt sich letztlich gegen einen selbst. Jeder Einzelne ist aufgerufen, sich darüber klar zu werden und danach verantwortungsbewusst zu handeln. Der Verbrauch von Energie ist daher ständig zu überwachen und ihre Verwendung kritisch zu hinterfragen.

Die vorliegende Arbeit soll dazu einen kleinen Beitrag leisten. Sie soll das Bewusstsein dafür schärfen, dass der Energieverbrauch eines Gebäudes niemals losgelöst von den anderen Aspekten beim Entwurf und Betrieb eines Krankenhauses betrachtet werden kann. Es bestehen Wechselwirkungen, die zu jeder Zeit beachtet werden müssen, oder, wie See-at-la sagt: „Alle Dinge sind miteinander verbunden.“

Weimar, im Februar 2007

Stefan Holeck

1. Einleitung

Die Bundesrepublik Deutschland ist eine der größten Industrienationen der Welt. Sowohl ihre wirtschaftliche Leistungsfähigkeit als auch ihr technologischer Entwicklungsstand haben trotz aller Probleme des Wirtschaftsstandortes Deutschland nach wie vor einen hohen Stellenwert. Neben anderen Faktoren ist Energie eine wesentliche Grundlage hierfür und ihre sichere Verfügbarkeit sowie sinnvolle Verwendung sind von großer Bedeutung für die Sicherung des technologischen Fortschritts.

Insbesondere die Erkenntnis, dass die fossilen Brennstoffe nur noch zeitlich begrenzt und nur zu steigenden Kosten verfügbar sein werden, war bereits in den 70er Jahren des letzten Jahrhunderts der Anlass, erste Anstrengungen zur Einsparung von Energie zu unternehmen. Bis dahin erfolgte die Bereitstellung von Energie nahezu ausschließlich unter dem Gesichtspunkt, den vorhandenen Bedarf an thermischer, elektrischer und kinetischer Energie zu decken. Mit der Verknappung und Verteuerung der zur Verfügung stehenden Energie setzten dann jedoch intensive Bemühungen zur Reduktion des Energiebedarfs, also der Lasten, und zur Verbesserung der Effizienz, also zur Wirkungsgradoptimierung ein.

Einen weiteren Schub erhielten diese Bemühungen durch die Erkenntnis, dass die Freisetzung großer Mengen von Kohlendioxid durch die Verbrennung fossiler Brennstoffe offenbar zur Erwärmung der Erdatmosphäre führt. Dies wird drastische Auswirkungen auf das globale Klima und die Lebensbedingungen für die Menschen, die Fauna und die Flora auf der Erde haben². Die Anstrengungen zur Reduzierung des CO₂-Ausstoßes lösten einen großen Technologieschub in der Verwendung und Erzeugung jeglicher Art von Energie aus. Einige Beispiele machen dies deutlich:

- Der Heizwärmebedarf von Wohngebäuden ist durch die Verbesserung des Wärmeschutzes und der Luftdichtigkeit erheblich gesunken. Während er bei Einfamilienhäusern, die vor etwa 1980 errichtet wurden, noch bei ca. 210 kWh/(m²a) – ohne Warmwasserbereitung - lag, werden bei Passivhäusern heutigen Standards etwa 40 kWh/(m²a) erreicht³.
- Die Nutzungsgrade der Heizkesselanlagen wurden erheblich verbessert. Heutige Heizkessel können ohne Probleme als Brennwertkessel konzipiert werden und die im Abgas enthaltene Restwärme nutzen. Alte Heizkessel konnten dies nicht. Die Jahresnutzungsgrade der Wärmeerzeugung konnten so von ca. 60 % oder deutlich weniger auf 95 %, teilweise auch mehr, verbessert werden⁴. Die Ausnutzung der im Heizkessel freigesetzten thermischen Energie wurde also um 50 - 70% gesteigert.

² <http://www.umweltbundesamt.de/dux/kl-inf.htm>

³ [www.viessmann.de/.../de-publish.nsf/AttachmentByTitle/ppr-vitodens-343.pdf/\\$FILE/ppr-vitodens-343.pdf](http://www.viessmann.de/.../de-publish.nsf/AttachmentByTitle/ppr-vitodens-343.pdf/$FILE/ppr-vitodens-343.pdf)

⁴ www.stadtwerke-karlsruhe.de/download/pdf/brennwert-heizkessel.pdf

- Die Einführung von Mikrocomputern ermöglicht es, Mess-, Steuer- und Regelanlagen (MSR-Anlagen) für gebäudetechnische Anlagen zu konzipieren, die nur genau diejenige Energiemenge bereitstellen, die für die jeweilige Regelaufgabe benötigt wird. Bereitstellungsverluste werden auf diese Art drastisch minimiert.
- Die Wirkungsgrade der Erzeugung elektrischer Energie wurden wesentlich verbessert. Während der Wirkungsgrad von Kondensationskraftwerken 1970 bei ca. 33 % lag, werden heute Werte von bis zu 58 % erreicht⁵. Durch Einsatz von Kraftwärmekopplung können die Wirkungsgrade noch erheblich gesteigert werden.
- Die Berechnungs- und Dimensionierungsverfahren wurden wesentlich besser und präziser. Dies wurde insbesondere durch die fortschreitende wissenschaftliche Erkenntnis und den Einsatz von leistungsfähigen EDV-Systemen möglich. Die Auslegung von technischen Anlagen und Bauteilen davon ist daher wesentlich genauer und früher übliche Sicherheitszuschläge können nahezu vollständig entfallen.

Diese kurze Zusammenstellung beinhaltet nur einige Faktoren, die bei der Reduktion des Energieverbrauches von Gebäuden von Bedeutung sind und ließe sich noch beliebig verlängern. Die Bemühungen zur Energieeinsparung zeigen durchaus große Erfolge. Der Primärenergieverbrauch in Deutschland ist zwischen 1990 und 2000 um 5 % gesunken, während das Bruttoinlandsprodukt um 11 % gestiegen ist⁶. Der Energieverbrauch einschließlich regenerativer Energien in der Bundesrepublik ist von 484,6 Mio tSKE im Jahre 1999 auf 488,4 Mio tSKE im Jahre 2002 gestiegen⁷. Das Bruttoinlandsprodukt (BIP) stieg von 1.980 Mrd € im Jahre 1999 auf 2.145 Mrd € im Jahre 2002^{8,9}. Der relative Energieverbrauch ist somit von 244.748 t SKE / 1 Mrd BIP auf 2274692 t SKE / 1 Mrd BIP zurück gegangen.

Trotzdem ist es eine bleibende Aufgabe für die Bundesrepublik Deutschland, den Energieverbrauch weiter zu senken, um eine größere Unabhängigkeit zu erreichen und die CO₂-Emissionen zu reduzieren.

Das Kyoto-Protokoll¹⁰ gibt hierfür die Richtschnur und fordert die Reduktion des Energieverbrauches um mindestens 5 % gegenüber dem Niveau von 1990. Deutschland muss seine CO₂-Emissionen bis 2010 um 21 % senken. In Anbetracht des enormen Verbrauches ist es jedoch offensichtlich, dass das größte Potential in diesem Zusammenhang nach wie vor darin besteht, den Verbrauch so weit wie möglich einzuschränken und Energie zu sparen.

⁵ <http://www.stmwivt.bayern.de/energie/bescheidwissen/verwendung/html>

⁶ <http://upi-institut.de/energieverbrauch.htm>

⁷ <http://upi-institut.de/energieverbrauch.htm>

⁸ <http://www.destatis.de/indicator/d/vgr111dd.htm#>

⁹ <http://www.destatis.de/presse/deutsch/pm2000/p0130121htm>

¹⁰ <http://bundesregierung.de/Politikthemen/Umwelt-,12011/Kyoto-Protokoll-allgemein.htm>

2. Zielsetzung und Abgrenzung

Krankenhäuser sind hochkomplexe bauliche Anlagen, die in großem Maße nach funktionalen Gesichtspunkten konzipiert und errichtet werden bzw. wurden. Mit dem baulichen Entwurf wird der Energieverbrauch entscheidend beeinflusst und für die gesamte Lebensdauer des Gebäudes festgelegt.

Die energetische Qualität ist dabei ein zunehmend wichtiger Faktor zur Beurteilung der Wirtschaftlichkeit und der Ökologie eines Gebäudes. Krankenhäuser sind Gebäude mit einem sehr hohen Energiebedarf und –verbrauch. Die Energiekosten haben zwar an den Gesamtbetriebskosten des Krankenhauses einen relativ kleinen Anteil. Die Energie- und Instandhaltungskosten übersteigen jedoch über die gesamte Lebensdauer des Gebäudes die Kosten für seine Errichtung um ein Mehrfaches.

Die Personalkosten stellen die größten Blöcke in der Kostenstruktur eines Krankenhauses dar und sind als Fixkosten zu sehen. Die Sachkosten beinhalten die Aufwendungen für medizinischen und Wirtschaftsbedarf, Wasser, Energie, Lebensmittel, Verwaltungsbedarf und Sonstiges. Sie betragen ca. 33,6 % der Gesamtkosten und sind größtenteils als variable Kosten einzustufen, da sie direkt von der Auslastung abhängen¹¹. Der Anteil für Energie hiervon liegt bei ca. 6,5 %. Die Energiekosten machen somit zwar nur einen kleinen Teil der Gesamtkosten aus. Sie sind jedoch ein erheblicher Anteil der beeinflussbaren Aufwendungen des Krankenhauses. Der Energieverbrauch wird aber im Wesentlichen durch den Entwurf des Gebäudes geprägt.

Der Architekt beeinflusst deshalb mit dem Entwurf entscheidend die energetische und ökologische Qualität und damit die Wirtschaftlichkeit des Gebäudes über seine gesamte Lebensdauer.

Die üblichen Verfahren zur Bestimmung des Energieverbrauches von Gebäuden und technischen Anlagen setzen einen bereits sehr weit entwickelten Entwurf und genaue Vorstellungen der Abläufe und des Betriebes voraus. Es müssen sehr viele und detaillierte Daten erhoben werden. Ergibt sich dann die Notwendigkeit zu grundlegenden Änderungen, um die energetische Qualität zu verbessern, muss wieder sehr weit vorne am Planungsprozess angesetzt werden, was zeit- und kostenintensiv ist und dem Bauherrn in der Regel nicht vermittelt werden kann.

Für den Architekten ist es daher wichtig, bereits bei den ersten Entwürfen energetische Gesichtspunkte zu berücksichtigen. Ziel der vorliegenden Arbeit ist es deshalb, die Kriterien in Krankenhäusern zu bestimmen, die in diesem Zusammenhang von Bedeutung sind.

In den frühen Planungsphasen fehlen eine Vielzahl von technischen, bauphysikalischen und Betriebsparametern, die erst im weiteren Verlauf der Planung

¹¹ Deutsche Krankenhausgesellschaft: Zahlen, Daten, Fakten 2003, S. 19, deutsche Krankenhaus Verlagsgesellschaft mbH

festgelegt werden. Die Beurteilung der energetischen Qualität des Gebäudes in diesem Stadium setzt daher Vereinfachungen und Annahmen voraus. Es ist deshalb nicht möglich, präzise Aussagen zur absoluten Höhe des zu erwartenden Energieverbrauches zu machen. Es ist aber möglich, die Strukturen und die Verbrauchsschwerpunkte aufzuzeigen. Auf dieser Grundlage können Veränderungen und Wechselwirkungen dargestellt werden, die sich durch Veränderungen des Entwurfes ergeben. Darüber hinaus können Parameter und Kriterien bestimmt werden, um die relative energetische Qualität zu ermitteln.

In der vorliegenden Arbeit werden deshalb mit Hilfe von Modellbetrachtungen diejenigen spezifischen Faktoren und Kriterien bestimmt, die die Energieströme und -verbräuche von Krankenhäusern oder deren Teilbereichen im wesentlichen beeinflussen.

Darüber hinaus sollen die Zusammenhänge und Wechselwirkungen mit dem Energieverbrauch aufgezeigt werden, die sich aus dem Entwurf des Architekten und den notwendigen gebäudetechnischen Anlagen ergeben.

Um den Einfluss der maßgeblichen Faktoren abzubilden, werden flächenbezogene Energieaufwandszahlen gebildet. Damit wird es möglich, einfach und unkompliziert die energetische Qualität des Entwurfes des Krankenhauses oder seiner Teilbereiche zu beurteilen. In der Konzeptionsphase der Planung kann dann sehr schnell eine Beurteilung durch den Architekten erfolgen, an welchen Stellen der größte Energieverbrauch zu erwarten ist und in welchem Umfang durch den Architekten noch Einfluss genommen werden kann.

Damit kann eine Aussage zur energetischen Qualität erreicht werden. Es ist jedoch nicht zu erwarten, dass die auf diese Weise gewonnenen Daten zum Energieverbrauch nach der Realisierung eines Projektes auch exakt erreicht werden. Die exakte Bestimmung von bauphysikalischen Daten sowie der thermischen, hygrischen und anderen Lasten in späteren Planungsphasen kann damit nicht ersetzt werden. Ebenso muss auf der Grundlage dieser Lasten eine präzise Auslegung der gebäudetechnischen Anlagen erfolgen. An dieser Stelle sei bereits darauf hin gewiesen, dass jede Überdimensionierung von technischen Anlagen zu unnötigen Energieverlusten führt. So wie der Energieverbrauch durch den Entwurf des Architekten beeinflusst wird, kommt dem Planer der gebäudetechnischen Anlagen an dieser Stelle eine besondere Verantwortung zum energiebewussten Handeln zu.

In der Arbeit werden nur die krankenhausspezifischen Bereiche betrachtet. Hierzu zählen vor allem die Operationsabteilungen, die Intensivtherapie, die Röntgendiagnostik sowie die Pflegebereiche. Auf dieser Grundlage erfolgt eine Übertragung der ermittelten Daten auf weitere Abteilungen, Stationen, Funktionsbereiche und -stellen.

Für die Abläufe innerhalb des Krankenhauses sind gut funktionierende Versorgungsbetriebe, insbesondere die Küche, RDS (Reinigung/Desinfektion/Sterilisation), Wäscherei, Apotheke, Bettenaufbereitung und Werkstätten unerlässlich.

Diese Einrichtungen erfüllen häufig Aufgaben für mehrere Krankenhäuser oder andere Einrichtungen an einem Standort und werden zentralisiert. Sie müssen auch nicht zwingend in einem Krankenhaus liegen oder von Krankenhauspersonal betrieben werden. So wird beispielsweise die Wäscheaufbereitung für mehrere Krankenhäuser, Altenheime, Hotels u.ä. in Dortmund in einer Zentralwäscherei durchgeführt¹².

Ähnliches gilt für die Speisenversorgung, die Versorgung mit sterilen Instrumenten und die Krankenhausapotheke. Es ist deshalb nicht möglich, den Energieverbrauch dieser Betriebe einem einzelnen Krankenhaus zuzuordnen. Darüber hinaus bestehen hier für den Architekten im Rahmen des Entwurfes nur relativ geringe Einflussmöglichkeiten auf den Energieverbrauch, der im wesentlichen aus den für den Betrieb und die Produktion notwendigen prozesstechnischen Anlagen herrührt. Aus diesen Gründen sind diese Wirtschaftsbetriebe nicht Gegenstand der Untersuchungen dieser Arbeit.

Neben der Beurteilung der einzelnen Teilbereiche ist auch die energetische Qualität des Krankenhauses als Ganzes und im Zusammenhang der verschiedenen Teilbereiche von Bedeutung. Dies hängt wiederum mit dem Gesamtentwurf zusammen. Aus diesem Grund werden im zweiten Teil der Arbeit zwei konzeptionell unterschiedliche Entwürfe behandelt, deren energetische Qualität ermittelt und miteinander verglichen. Die Anwendbarkeit der erarbeiteten Ergebnisse und Verfahren wird an den Entwürfen zweier bestehender Krankenhäuser aufgezeigt.

Abschließend werden Maßnahmen und Kriterien vorgestellt, mit dem der Architekt in der Konzeptions- und Vorentwurfsphase die energetische Qualität seines Entwurfes beurteilen kann oder deren Berücksichtigung einen energetisch optimierten Entwurf erwarten lassen.

¹² <http://www.zwl.de>

3. Strukturanalyse Krankenhäuser

3.1 Aufgaben, Funktionen, Problemstellungen

Die Krankenhäuser stellen neben den niedergelassenen Ärzten die wichtigste Säule der medizinischen Versorgung in der Bundesrepublik Deutschland dar. Sie haben die Aufgabe, kranke Menschen zu behandeln und zu pflegen. Zielstellung ist es dabei immer, den Kranken zu heilen, also die vollständige Wiederherstellung der Gesundheit zu erreichen. Wenn dies nicht möglich ist, sollen die Gesundheit des Kranken soweit wie möglich hergestellt, die Beschwerden des Patienten soweit wie möglich gelindert, oder dem Patienten ein menschenwürdiges Sterben ermöglicht werden.

In jedem Fall ist es hierfür notwendig, den Patienten zunächst zu untersuchen, um eine Diagnose stellen zu können. Auf dieser Grundlage wird dann eine Behandlung, also eine medizinische Therapie durchgeführt.

Viele Behandlungsmethoden ziehen für den Patienten Unannehmlichkeiten und z. T. erhebliche Nebenwirkungen nach sich und der Erfolg ist nicht gesichert. Die Frage, ob eine Behandlung die Heilung, die Verbesserung des Zustandes oder ein würdiges Sterben zum Ziel haben kann, wird daher nicht vom Arzt allein, sondern gemeinsam mit dem Patienten bzw. dessen Angehörigen beantwortet.

Die Aufgabenschwerpunkte der Krankenhäuser haben sich mit dem Fortschritt der medizinisch-wissenschaftlichen Erkenntnis, aber auch mit dem technischen Fortschritt verändert. Früher stand der pflegerische Aspekt sehr stark im Vordergrund. Dem Patienten wurde es im Krankenhaus ermöglicht, sich unter geschützten Bedingungen von seiner Krankheit zu erholen. Die Behandlungs- und Diagnoseverfahren waren relativ beschränkt und wurden vielfach am Patientenbett durchgeführt. Für die Konzeption und die Funktionen des Krankenhauses bedeutete dies, dass die Pflegebereiche den Schwerpunkt bildeten. Darüber hinaus wurden noch Einrichtungen zur Ver- und Entsorgung, insbesondere eine Küche und eine Wäscherei, benötigt. Spezielle Behandlungsbereiche, z.B. Operationsbereiche, Abteilungen zur Physiotherapie o.ä., wurden nur insoweit vorgesehen, wie sie der medizinische Fortschritt notwendig bzw. möglich machte.

Hier hat in den letzten Jahrzehnten ein enormer Wandel stattgefunden, der insbesondere auf große Fortschritte der Diagnose- und Therapieverfahren zurückzuführen ist und unter anderem durch den Fortschritt in der Medizintechnik ermöglicht wurde. Um eine gezielte und erfolgreiche Therapie durchführen zu können, muss eine möglichst genaue Diagnose gestellt werden, wofür sehr häufig eine umfangreiche medizintechnische Ausstattung notwendig ist. Der Aufgabenschwerpunkt der Krankenhäuser liegt deshalb heute wesentlich stärker im Bereich von Diagnose und Therapie und der Anteil der pflegerischen Aufgaben ist deutlich zurückgegangen.

Die Entwicklung von weniger belastenden Therapieverfahren und der zunehmende Kostendruck zogen eine drastische Reduktion der Patientenverweilzeiten

nach sich. Während noch vor wenigen Jahren für eine Blinddarmoperation (Appendektomie) ein mehrwöchiger Krankenhausaufenthalt erforderlich war, verlassen die Patienten das Krankenhaus heute bereits nach wenigen Tagen. Ein Kaiserschnitt (Sectio caesarea) erfordert heute nur wenige Tage stationäre Behandlung. Die durchschnittliche Verweildauer ist von 13,7 Tagen im Jahre 1990 auf 9,3 Tage im Jahre 2001 zurück gegangen¹³.

In den Krankenhäusern können somit heute bei gleicher Bettenzahl wesentlich mehr Patienten behandelt werden als früher. Die Aufgaben eines Krankenhauses lassen sich deshalb wie folgt darstellen:

- Bereitstellung der medizinisch-technischen und sonstigen Einrichtungen für präzise Diagnoseverfahren.
- Bereitstellung der medizinisch-technischen und sonstigen Einrichtungen, die eine gezielte, effiziente und patientenschonende Therapie ermöglichen.
- Bereitstellung der medizinisch-technischen und sonstigen Einrichtungen, die eine Pflege ermöglichen, durch die der Patient so früh wie möglich wieder entlassen werden kann, um die weitere Behandlung an niedergelassene Ärzte zu übergeben.

Der Wandel der Aufgabenschwerpunkte zieht eine Veränderung der Entwurfskonzeption der Krankenhäuser nach sich. Die Entwicklung von Einrichtungen, die speziell für die Pflege und Behandlung von Kranken geschaffen wurden, begann in Europa im Mittelalter. Ausgangspunkt waren die Forderungen des Christentums nach Nächstenliebe und Barmherzigkeit, die zu Hospitälern und Seuchenhäusern unter der Leitung und Aufsicht vornehmlich von Mönchen führte¹⁴. Die Pflege und Behandlung einschließlich chirurgischer Eingriffe fand in erster Linie im Krankensaal bzw. am Patientenbett statt.

¹³ Deutsche Krankenhausgesellschaft: Zahlen, Daten, Fakten 2003, S. 19, deutsche Krankenhaus Verlagsgesellschaft mbH

¹⁴ Vom Armenhospital zum Großklinikum, Axel Hinrich Murken, Ausgabe 1988, S. 13-18.



Abbildung 3.1/1: Blick in einen Krankensaal um 1560 mit verschiedenen chirurgischen Eingriffen. Holzschnitt von Jost Amann, um 1566. Herzog August Bibliothek, Wolfenbüttel¹⁵

Eine wesentliche Weiterentwicklung setzte im 18. Jahrhundert ein. Die ursprünglichen Krankensäle wichen kleineren Einheiten zur Unterbringung und Pflege der Kranken. Die Abteilungen waren räumlich voneinander getrennt und erhielten vorgelagerte Flure bzw. Erschließungswege. In separaten Operationssälen konnten vielfältige chirurgische Eingriffe durchgeführt werden. Die 1727 eröffnete Berliner Charité war wegweisend. Die allgemeinen Räumlichkeiten für Verwaltung und Personal waren im Erdgeschoss untergebracht, während sich die Krankenabteilungen im ersten und zweiten Stock befanden. Im dritten Geschoss wurde der Operationssaal eingerichtet.

¹⁵ Vom Armenhospital zum Großklinikum, Axel Hinrich Murken, Ausgabe 1988, S. 16.

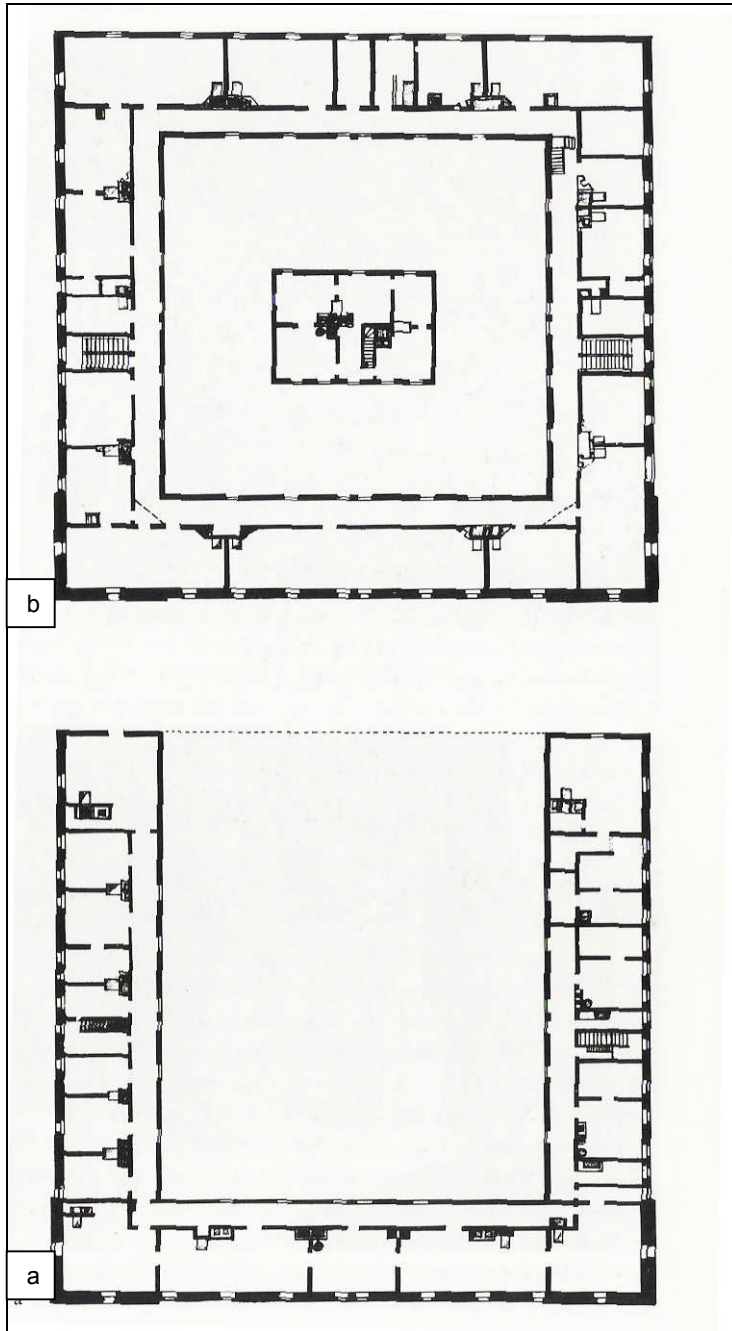


Abbildung 3.1/2: Die Charite in Berlin. a) Grundriss vom zweiten und b) vom dritten Geschoss¹⁶.

Es findet sich eine relativ klare Trennung von Pflegebereichen, die in verschiedene Abteilungen getrennt waren. Dadurch war es möglich, Spezialabteilungen zu bilden, z. B. für ansteckende Krankheiten oder Knochenbrüche. Weiter konnte durch die Schaffung von separaten Operationssälen die Anzahl der chirurg-

¹⁶ Vom Armenhospital zum Großklinikum, Axel Hinrich Murken, Ausgabe 1988, S. 23.

gischen Eingriffe wesentlich erhöht, die Qualität verbessert und das Spektrum erweitert werden.

Die Spezialisierung setzte sich fort und erhielt insbesondere im 20. Jahrhundert durch die rasant fortschreitende Entwicklung der medizinischen wissenschaftlichen Erkenntnis und der Medizintechnik enorme Impulse. Es wurde notwendig, große Raumbereiche für die Unterbringung der technischen Geräte und Anlagen zu schaffen. Spezialabteilungen für die verschiedenen medizinischen Fachrichtungen, z. B. Radiologie, Neurologie, Onkologie, Kinderheilkunde, Urologie, Zentrallabor, wurden eingerichtet. Parallel dazu wuchs auch der Bedarf an gebäudetechnischen Anlagen. Dementsprechend vergrößerte sich der Anteil der hierfür notwendigen Flächen an den Gesamtflächen der Krankenhäuser. Als Beispiel dient das Zentralklinikum der Universitätsklinik Münster. Die Pflegestationen sind in zwei Bettentürmen untergebracht, die in jeder Etage zwei runde Pflegeeinheiten mit jeweils 30 Betten beinhalten. Jeder Bettenturm hat 10 Pflegeebenen. Die Diagnose-, Funktions-, Behandlungs- und Technikbereiche sind in einem ausgedehnten Flachbereich unter den Bettentürmen zusammen gefasst. Es gibt drei Nutzebenen im Flachbereich, die jeweils durch ein Technikgeschoss getrennt sind. Der Flachbereich umfasst eine Gesamtfläche von 87.242 m² BGF, während die Pflegebereiche der Bettentürme 49.203 m² BGF beinhalten.

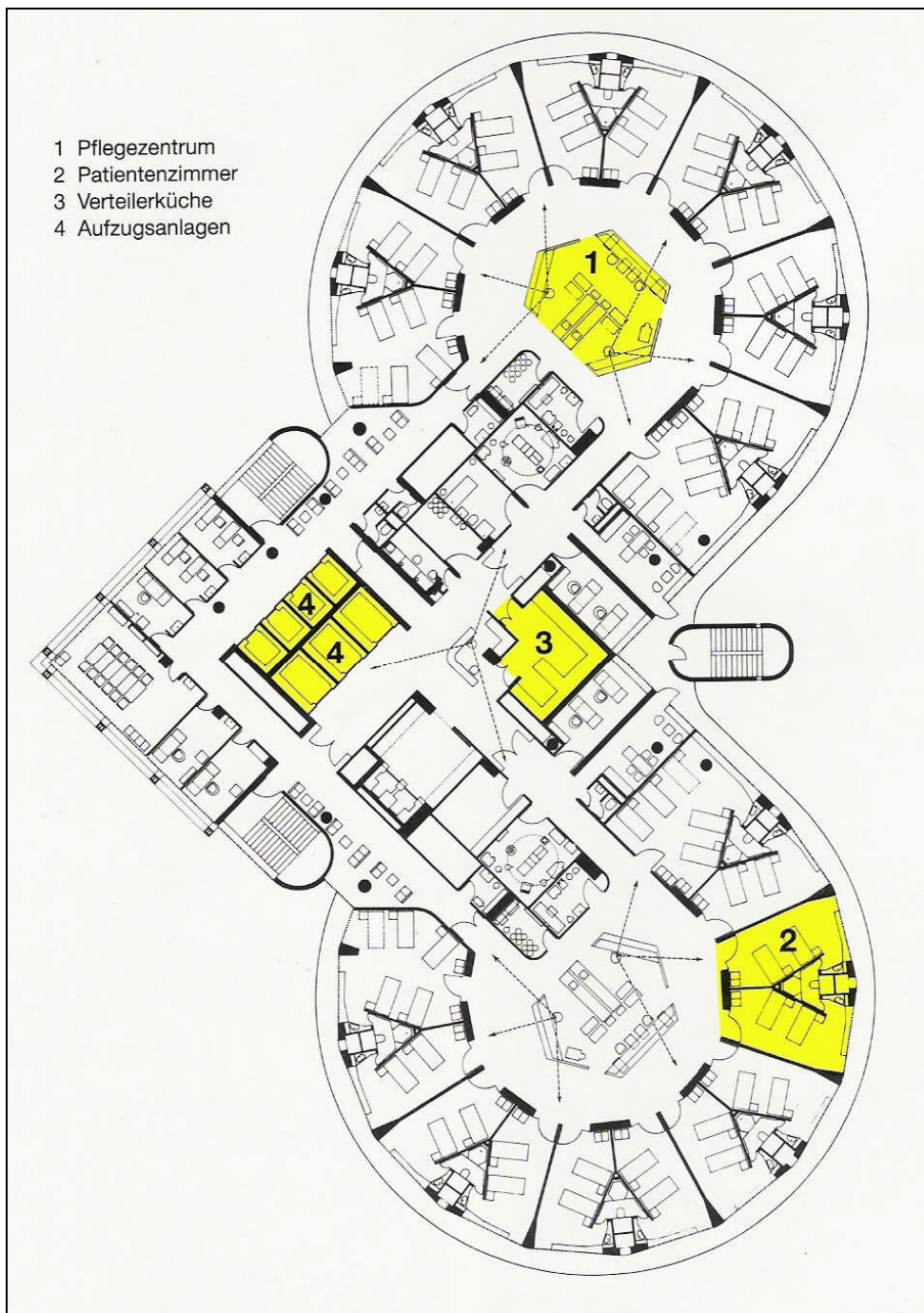


Abbildung 3.1/3: Universitätsklinik Münster, Zentralklinikum, Bettenturm, Regelgrundriss¹⁷

¹⁷ Broschüre „Zentralgebäude der medizinischen Einrichtungen der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster“, 1986, Seite 20

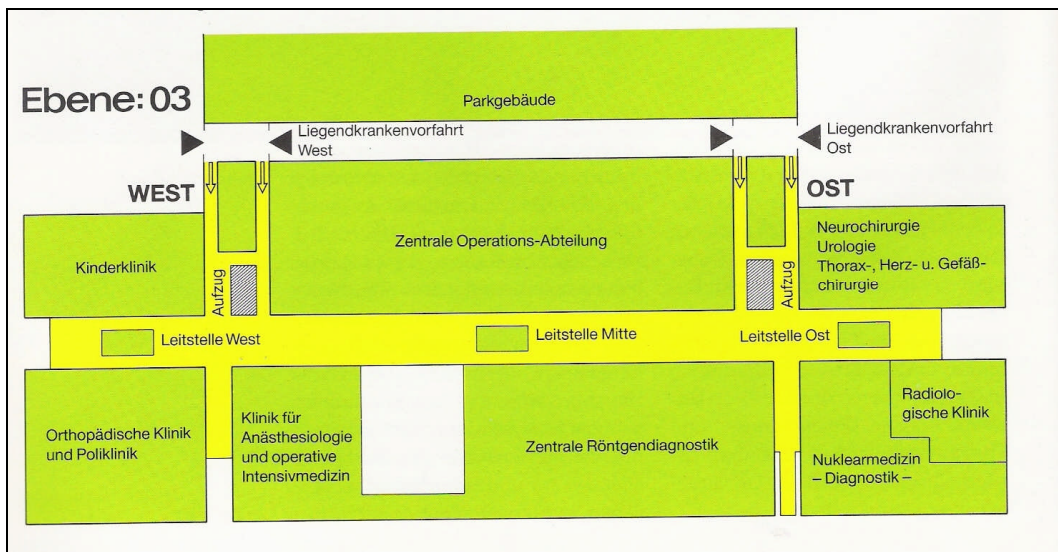


Abbildung 3.1/4: Universitätsklinik Münster, Zentralklinikum, Flachbereich Ebene 03¹⁸

In heutigen Krankenhäusern finden sich somit große Diagnose- und Funktionsbereiche, während die Pflegebereiche einen wesentlich kleineren Anteil als früher einnehmen. Die Diagnose- und Therapieverfahren in den Krankenhäusern erfordern eine umfangreiche und sehr spezielle medizintechnische Ausstattung. Hierfür sind häufig ebenso spezielle Raumkonzepte sowie eine sehr genau auf diese Medizintechnik abgestimmte Gebäudetechnik erforderlich.

Als Beispiel kann die Einrichtung eines Magnetresonanztomographen dienen. Es handelt sich um ein medizintechnisches Großgerät zur sehr genauen Diagnose von Erkrankungen im Körperinneren. Der Aufstellraum des MRT's muss groß genug sein, um das Gerät einbringen zu können und ausreichend Bewegungsfläche um das Gerät bieten. Darüber hinaus muss eine Abschottung der MRT-Aufstellräume in Form eines Faraday'schen Käfigs an allen Umfassungsflächen möglich sein.

¹⁸ Broschüre „Zentralgebäude der medizinischen Einrichtungen der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster“, 1986, Seite 16

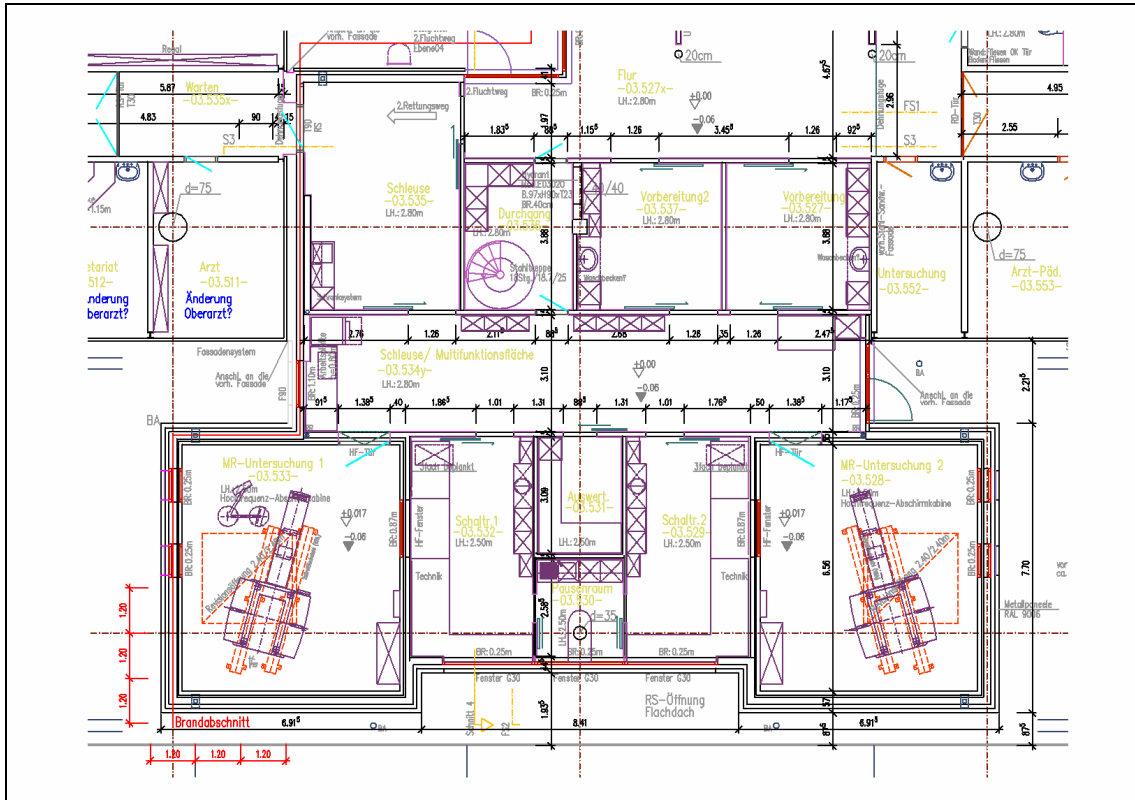


Abbildung 3.1/5: Grundriss MRT-Bereich Universitätsklinikum Münster, Zentralklinikum, Ebene 03¹⁹

In zunehmendem Maße muss deshalb zwingend beim Entwurf von Krankenhäusern oder Teilen davon die Integration und Koordination der sehr speziellen und komplexen gebäude- und medizintechnischen Anlagen berücksichtigt werden. Die häufig geforderte Flexibilität in der Raumnutzung wird dadurch erheblich eingeschränkt. Darüber hinaus muss der Entwurf vor Allem die vorgesehenen Funktionen und Abläufe ermöglichen und sicherstellen, dass die verschiedenen Anforderungen in größtmöglichem Maße realisiert werden können. Folgende Anforderungen treffen beim Entwurf von Krankenhäusern in unterschiedlicher Gewichtung aufeinander und sind zu koordinieren:

- medizinische Funktion
- hygienische Anforderungen
- wirtschaftliche Arbeitsabläufe
- Patientenfreundlichkeit
- Brandschutz
- Sicherheit und Arbeitsschutz
- Akustik
- Belichtung
- Belüftung/Klimatisierung
- Kosten

¹⁹ BLB NRW Münster, Planarchiv

In der Regel liegt der Entwurfsschwerpunkt bei der Erfüllung der medizinischen Funktionen, der Hygiene sowie der Wirtschaftlichkeit der Abläufe. Die übrigen Anforderungen ergeben sich aus Ersteren, haben ihrerseits wiederum Rückwirkungen darauf und verlangen einen sehr großen Anteil der Entwurfs- und Planungsarbeit, insbesondere der Detailarbeit. Eine der wichtigsten Aufgaben des Architekten liegt daher in der Koordination der sehr unterschiedlichen Interessen aller an der Planung Beteiligten. Je komplexer die Aufgabenstellungen und Funktionen sind, desto aufwändiger und wichtiger ist die Koordinierungsleistung, die in der Regel vom Architekten zu erfüllen ist.

Nur selten ist es möglich, alle Anforderungen zu erfüllen, ohne Zugeständnisse machen und/oder Kompensationsmaßnahmen treffen zu müssen. So erfordert beispielsweise der Brandschutz eine Trennung von eigentlich zusammen hängenden Funktionsbereichen, z.B. in Pflegebereichen²⁰. Daraus ergeben sich dann Wände und Türen mit brandschutztechnischen Anforderungen (F90/T30 T30-RS o. ä.), die auch eine funktionale Trennung nach sich ziehen. Die Koordinierungsaufgabe des Architekten besteht dann darin, eine Lösung zu finden, die den Brandschutz bei bestmöglicher Gewährleistung der Funktionen sicher stellt. Die Forderung nach möglichst wirtschaftlichen Abläufen bedingt auch möglichst niedrige Energiekosten. Unter diesem Gesichtspunkt ist beim Entwurf darauf zu achten, dass soweit wie möglich die natürliche Belichtung und Belüftung genutzt wird, da jede künstliche Form einen höheren Energieeinsatz nach sich zieht.

Die Patientenfreundlichkeit und die Gestaltung haben insbesondere in den Pflegebereichen einen hohen Stellenwert, da die Patienten den größten Teil ihres Aufenthaltes im Krankenhaus in ihren Zimmern verbringen. Daher ist es wichtig, hier eine möglichst angenehme Atmosphäre zu schaffen, die eine positive Einstellung des Patienten fördert, wodurch der Heilungsprozess unterstützt und die Bereitschaft zur Beteiligung an der Therapie gefördert wird.

In den Patientenzimmern werden darüber hinaus nur geringe Anforderungen an medizinische Einrichtungen gestellt, da die Diagnose und wesentliche Teile der Therapie in anderen Krankenhausabteilungen stattfinden. Auch die Anforderungen zur Hygiene sind als durchschnittlich einzustufen.

Ein wichtiges Kriterium beim Entwurf von Pflegestationen ist dagegen die Wirtschaftlichkeit der Arbeitsabläufe. Unter diesem Gesichtspunkt sind vor Allem die Wege des Personals und der Materialfluss von Bedeutung.

Bei der Planung von Pflegestationen liegt deshalb der Anforderungsschwerpunkt bei der Patientenfreundlichkeit und Wirtschaftlichkeit.

Trotzdem orientiert sich der Entwurf von Krankenhäusern oder Teilen davon in erster Linie an den medizinischen Funktionen und den funktionalen Zusam-

²⁰ Verordnung über den Bau und den Betrieb von Krankenhäusern – Krankenhausbauverordnung (KhBauVO) vom 21.2.1978, §10(1)

menhängen zwischen den verschiedenen Abteilungen. Zuerst ist diese oberste Prämisse zu erfüllen und erst dann fließen die weiteren Anforderungen ein. Diese Betrachtung wird durch den zunehmenden Kostendruck bei Bau und Betrieb noch verstärkt.

Es ist daher festzustellen, dass Krankenhäuser in der Regel sehr funktionale Gebäude sind, die einen hohen Energiebedarf haben und sehr stark unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten geführt werden. Der Entwurf von Krankenhäusern oder Teilen davon muss sich daran orientieren und neben der Erfüllung der medizintechnischen und funktionalen Anforderungen auch die wirtschaftlichen Aspekte des Baus und vor allem des Betriebs berücksichtigen. Die Planung erfolgt von innen nach außen. Form und Gestaltung folgen der Funktion²¹.

Dem Zusammenhang zwischen baulichem Entwurf und dem Energieverbrauch kommt in diesem Zusammenhang eine besondere Bedeutung zu.

Energie in Gebäuden im Allgemeinen und in Krankenhäusern im Speziellen wird von den darin installierten Anlagen der technischen Gebäudeausrüstung verbraucht. Diese Anlagen werden erforderlich, um physikalische Größen in Räumen in vorgegebenen Grenzen zu halten:

- Raumlufttemperatur (Einheit: °C)
- Raumluftfeuchte (Einheit: % relative Luftfeuchtigkeit oder g/kg trockene Luft)
- Partikelzahl der Raumluft (Einheit: n/m³)
- Beleuchtungsstärke (Einheit: Lux)

Die Größe und die Leistung der technischen Anlagen ist direkt davon abhängig, welcher Aufwand zur Einhaltung der physikalischen Größen erforderlich ist, wie groß also die Belastung ist. Je geringer die Last ist, desto kleiner sind die zu installierenden Leistungen und desto geringer ist der Energieverbrauch. Gelingt es nun, die Lasten durch den Entwurf zu reduzieren, so wird auch der Energieverbrauch minimiert. Dieser Grundsatz gilt zunächst vor Allem für die Heiz- und Kühllasten. Bei transparenten Außenflächen ist die Himmelsrichtung zu beachten. Eine Orientierung nach Süden, Westen oder Osten verursacht oft eine erhebliche Kühllast, reduziert allerdings auch den Aufwand für künstliche Beleuchtung. Eine Orientierung nach Norden bedeutet, dass nur geringe solare Wärmegewinne entstehen, jedoch relativ große Wärmeverluste im Heizfall. Hier ist also eine Einzelfallbetrachtung und eine Bestimmung der Lasten erforderlich. In jedem Fall ziehen aber hohe externe solare Lasten eine Vergrößerung der technischen Anlagen, die diese abführen müssen, nach sich.

Bestimmte physikalische Größen können ohne z. T. sehr aufwändige technische Anlagen nicht in den notwendigen Grenzen gehalten werden. Dies hat dazu geführt, dass diese Anlagen aufgrund von gesetzlichen Vorschriften, Verordnungen, Normen und anderen Richtlinien zwingend vorgeschrieben sind und sehr

²¹ „The tall office building artistically considered“, Louis Sullivan, 1896

detaillierte Dimensionierungsvorschriften haben. So ist beispielsweise für Operationsräume aufgrund der Krankenhausbauverordnung eine Raumluftechnische Anlage erforderlich, da die Einhaltung bestimmter Raumlufzustände gefordert wird²². Die Dimensionierung richtet sich weitgehend nach DIN 1946/4, die als anerkannte Regel der Technik anzuwenden ist. Dem Planer stellt sich hier also nicht mehr die Frage, ob er diese RLT-Anlage installieren möchte oder nicht, sondern sie ist zwingend vorzusehen. Der Energieverbrauch der Anlage kann jedoch maßgeblich durch den Entwurf beeinflusst werden, wenn es etwa gelingt, externe Lasten, z.B. durch Sonneneinstrahlung zu reduzieren oder ganz zu vermeiden.

Diesem Aspekt kommt unter dem Gesichtspunkt der Lebensdauer eines Krankenhauses und seiner Bestandteile eine ganz besondere Bedeutung bei. Mit dem ersten Entwurf werden in aller Regel die grundlegenden Strukturen eines Krankenhauses für seine gesamte Lebensdauer, also bis zum Abbruch oder seiner Stilllegung festgelegt. Auch wenn sich sehr häufig Teile des Krankenhauses im Umbau, in Sanierung oder Erweiterung befinden, wird die Struktur kaum verändert werden können, da dann die Funktionen und Abläufe des Krankenhauses als Ganzes berührt werden. Unter diesem Gesichtspunkt ist auch der Energieverbrauch zu betrachten. Werden z. B. Pflegebereiche so konzipiert, dass sie hohe externe Lasten haben und künstlich belüftet werden müssen, etwa wegen der Gebäudehöhe, so gilt diese Festlegung für die gesamte Lebensdauer dieses Gebäudeteils. Die nachträgliche Veränderung und ggfs. Verlegung des Pflegebereichs wird kaum möglich sein, ohne die funktionale Anbindung an das übrige Krankenhaus zu gefährden.

Als Beispiel kann hier auch das Zentralklinikum der Universitätsklinik Münster dienen, vgl. Abbildung 3.1/3 und 3.1/4. Die Pflegestationen in den Bettentürmen sind an den Flachbereich über Aufzugsanlagen angeschlossen. Hierüber erfolgt der gesamte Personal- und Materialverkehr. Die Verlegung eines Teils oder eines ganzen Bettenturmes in einen anderen Teil des Universitätsklinikums würde bedeuten, dass die gesamte Logistik und medizintechnische Anbindung verloren ginge und in anderer Form neu aufgebaut werden müsste. Dies ist aus medizinischen, technischen und finanziellen Gründen nicht realisierbar.

Die Betrachtung der Betriebskosten über die gesamte Lebensdauer wird durch die Erneuerungszyklen des Gebäudes ergänzt. Hierbei können keine einheitlichen Zeiten angesetzt werden, weil sich die Abnutzung und der Erneuerungsbedarf der verschiedenen Bauteile und -elemente eines Gebäudes stark unterscheiden und von vielen Faktoren abhängig sind. Normwerte gibt es dafür nicht. Mit der VDI-Richtlinie VDI 2067 (09/2000) kann die Wirtschaftlichkeit gebäudetechnischer Anlagen berechnet werden. In Blatt 1, Tabelle A2, sind u. a. auch Angaben über

²² Verordnung über den Bau und den Betrieb von Krankenhäusern – Krankenhausbauverordnung (KhBauVO) vom 21.2.1978, §22(1)

die rechnerische Nutzungsdauer angeben²³. Auszugsweise sind nachfolgend einige Werte wiedergegeben:

Anlagenkomponente	Rechn. Nutzungsdauer in Jahren
1 Heizung	
Stahlradiatoren	20
Thermostatventile	10
Umwälzpumpen	20
1.2.6 Rohrleitung aus gezogenen oder gewalzten Rohren nach DIN für	
Warmwasser-Heizung	40
Dampf	40
1.3.7 Bauliche Anlagen	
Baukosten allgemein	50
2 Raumlufttechnik	
Luftdurchlaß-Deckenluftdurchlaß	20
Wärme-Lufterhitzer, Indirekt-dezentral	20
Wärmerückgewinner, Kreislauf-Wärmetauscher	20
Kälte-Luftkühler, Wasser	20
Befeuchter, Verdunstung	15
Luftförderung, Ventilator, radial, Schaufeln rückwärts gekrümmt	12
Luftführung-Luftkanäle, Niederdruck-Luftkanal	20
Verteilung, Kaltwasser, Rohrleitungen	40
Verteilung, Kaltwasser, Pumpen	10
Verteilung, Kaltwasser, Armaturen	20
Erzeugung, Kälte, Kältemaschine, indirekt, Kompressions-Kälteprozeß, Kältedampfmaschine	15
3 Erwärmtes Trinkwasser	
Armaturen, Absperr- und Drosselarmaturen	15
Rohrleitungen, Rohrleitungen für Kaltwasser	40
Rohrleitungen für Warmwasser	25

Tabelle 3.1/1: Auszug VDI 2067 (09/2000), Blatt1, Tabellen A2, A3, A4

Die Erneuerungszyklen für die verschiedenen Bauteile und -körper sowie gebäudetechnischen Anlagen sind also stark unterschiedlich. In jedem Fall muss jedoch zwischen der tragenden Konstruktion, dem Ausbau und der gebäudetechnischen Ausrüstung differenziert werden. Unzweifelhaft hat die tragende Konstruktion eines Gebäudes in jedem Fall die längste Lebensdauer. In Abhängigkeit von der Konstruktion, den Witterungseinflüssen, dem Pflege- und Instandhaltungsaufwand kann sie von wenigen Jahrzehnten bis zu mehreren tausend Jahren betragen. Bei einem Krankenhaus kann eine realistische Größenordnung von max. ca. 150 Jahren angesetzt werden. Der baukonstruktive Ausbau hat demgegenüber eine deutlich geringere Lebensdauer. Auslöser für Sanierungen ist hier häufig eine

²³ VDI 2067, Blatt 1, Ausgabe 09/2000

geänderte Nutzung, gestiegene hygienische Anforderungen, aber auch Verschleiß. Hier ist ein Zeitraum von längstens ca. 50 Jahren anzusetzen. Er kann jedoch auch deutlich kürzer oder erheblich länger sein. Die kürzesten Lebensdauerzyklen hat sicher die technische Gebäudeausrüstung, wobei auch hier sehr große Unterschiede zwischen den Anlagenkomponenten bestehen. Auslöser für Erneuerungs- und/oder Sanierungsmaßnahmen ist in der Regel der Verschleiß, der einen wirtschaftlichen Betrieb nicht mehr zulässt und eine zu große Störanfälligkeit hervorruft. Ein Zeitraum von 15 – 25 Jahren ist hier als realistisch zu betrachten.

Aus betriebswirtschaftlicher Sicht wird dagegen nicht so stark differenziert. Die steuerlichen Abschreibungszeiten sind erheblich kürzer als die technischen. Bei der Kalkulation von langfristigen Investitionen, wie dies bei Immobilien üblich ist, wird von pauschalen Kalkulationszeiten ausgegangen, über die die Investitionen kalkulatorisch abgeschrieben werden. So wird beispielsweise beim bau- und Liegenschaftsbetrieb NRW mit einem Zeitraum von 25 Jahren kalkuliert, was auch der Lebensdauer der gebäudetechnischen Ausrüstung entspricht. Er ist als der längste Zeitraum anzusehen, mit dem solche Investitionsvorhaben kalkulatorisch betrachtet werden. Längere Kalkulationsfristen beinhalten ein nicht mehr abschätzbares Wagnis.

Die Lebensdauern gestalten sich demnach wie folgt:

Tragende Konstruktion	100 – 150 Jahre
Ausbau	30 – 50 Jahre
Gebäudetechnische Ausrüstung	15 – 25 Jahre
Kalkulatorisch	25 Jahre

Tabelle 3.1/2: Lebensdauer von Bauteilen und –elementen in Krankenhäusern

Über die gesamte Lebensdauer des Krankenhauses wird es also notwendig sein, die technischen Anlagen vier- bis zehnmals zu erneuern, um die Funktionsfähigkeit des Gebäudes zu erhalten. Unter diesem Gesichtspunkt und unter Berücksichtigung der Tatsache, dass ständige Anpassungen des Gebäudes und seiner Strukturen auf Grund des medizinischen Fortschrittes notwendig werden, ist eine vorausschauende Platzplanung zwingend geboten. Flächenreserven sowie Flexibilität ermöglichen spätere Erweiterungen und Veränderungen, ohne die den Krankenhäusern eine Anpassung an veränderte Bedingungen nicht möglich ist.

Dies gilt auch und insbesondere für die Technische Gebäudeausrüstung, die wesentlicher und oftmals bestimmender Faktor für räumliche Veränderungen auf Grund einer Anpassung an den medizinischen und/oder medizinisch-technischen Fortschritt sind. Stehen keine geeigneten Flächen zur Verfügung, um strukturelle Veränderungen durchführen zu können, müssen sie entweder mit viel Aufwand geschaffen oder in andere Bereiche verlagert werden, wodurch ebenfalls höherer Installationsaufwand und erhöhte Folgekosten für Betrieb und Wartung entstehen.

Darüber hinaus erfordern die technischen Anlagen der Heizung, Lüftung/Klimatisierung, Kühlung, Beleuchtung und sonstigen Elektroversorgung über ihre Lebensdauer Energieverbrauchs- und Unterhaltungskosten, die ihre Investitionskosten um ein Mehrfaches überschreiten. Die technische Gebäudeausrüstung hat daher einen wesentlichen Anteil an den baulichen Betriebs- und Unterhaltungskosten über die Lebensdauer des Krankenhauses.

Die Minimierung der Lasten, die durch die Technischen Anlagen abzufahren sind, hat beim Entwurf von Krankenhäusern somit wesentliche Bedeutung für die baulichen Betriebskosten des Gebäudes über seine gesamte Lebenszeit.

In Krankenhäusern ist nach wie vor ein erhebliches Bauvolumen zu bewältigen. Der Neubau von ganzen Krankenhäusern nimmt am gesamten Baugeschehen jedoch einen relativ kleinen Anteil ein. Der Schwerpunkt der Bautätigkeit liegt in der Sanierung, dem Umbau und der Erweiterung von Teilen oder Bereichen des Krankenhauses. Die Gründe, die diese Aktivitäten erfordern, können vielfältig sein:

- Ein Teilbereich ist veraltet. Die vorhandene Bausubstanz und/oder technische Ausrüstung entspricht nicht mehr den aktuellen diagnostischen, therapeutischen, pflegerischen oder hygienischen Anforderungen.
- Die technische und/oder sonstige Ausstattung muss verändert werden, um die Wettbewerbssituation des Krankenhauses zu verbessern. Hier stellt sich insbesondere die Notwendigkeit zur Installation von medizintechnischen Diagnose- und Therapiegeräten, die dem jeweils neuesten Stand der Entwicklung entsprechen.
- Die gebäudetechnische Ausrüstung ist veraltet und erneuerungsbedürftig.

Häufig lassen sich solche Anpassungen an den Bedarf nicht allein im vorhandenen Baubestand lösen, sodass Erweiterungen notwendig werden, die eine funktionale und gebäudetechnische Anbindung an den vorhandenen Bestand benötigen.

Gliederungsschema DIN 13080

Krankenhäuser sind sehr stark an funktionellen Abläufen orientierte und konzipierte Gebäude. Für die Betriebsführung und die Bildung von betriebswirtschaftlichen Vergleichszahlen werden einheitliche Gliederungsschemata benötigt. Die DIN 13080:2003-07 ist hierfür ein geeignetes Hilfsmittel. Sie enthält Regeln zur Gliederung der Teilbereiche eines Krankenhauses nach krankenhausspezifischen Funktionen.

Danach wird zwischen Funktionsbereichen und Funktionsstellen unterschieden. Funktionsbereiche umfassen jeweils ein Aufgabengebiet. Funktionsstellen umfassen jeweils eine fachspezifische Aufgabe²⁴. Tabelle 1 der DIN 13080:2003-07 gibt die entsprechende Gliederung wieder:

²⁴ DIN 13080:2003-07, Nr. 3.5.2

Schlüsselnummer	Benennung ^a	Schlüsselnummer	Benennung ^b
1.00	Untersuchung und Behandlung	3.03	Information und Dokumentation
1.01	Aufnahme und Notfallversorgung	3.04	Bibliothek
1.02	Arztdienst	4.00	Soziale Dienste
1.03	Funktionsdiagnostik	4.01	Serviceeinrichtungen
1.04	Endoskopie	4.02	Seelsorge und Sozialdienst
1.05	Laboratoriumsmedizin	4.03	Personalumkleiden
1.06	Prosektur/Pathologie	4.04	Personalspeisenversorgung
1.07	Radiologische Diagnostik	5.00	Ver- und Entsorgung
1.08	Nuklearmedizinische Diagnostik	5.01	Arzneimittelversorgung
1.09	Operation	5.02	Sterilgutversorgung
1.10	Entbindung	5.03	Geräteversorgung
1.11	Strahlentherapie	5.04	Bettenaufbereitung
1.12	Nuklearmedizinische Therapie	5.05	Speisenversorgung
1.13	Physikalische Therapie	5.06	Wäscheversorgung
1.14	Ergotherapie	5.07	Lagerhaltung und Güterumschlag
1.15	Bereitschaftsdienst	5.08	Wartung und Reparatur
2.00	Pflege	5.09	Abfallbeseitigung
2.01	Allgemeinpflege	5.10	Haus- und Transportdienst
2.02	Wöchnerinnen- und Neugeborenenpflege	6.00	Forschung und Lehre
2.03	Intensivmedizin	6.01	Forschung
2.04	Dialyse	6.02	Lehre
2.05	Säuglings- und Kinderkrankenpflege	6.03	Ausbildung und Schule
2.06	Infektionskrankenpflege	7.00	Sonstiges
2.07	Pflege psychisch Kranker	7.01	Rettungsdienst
2.08	Pflege-Nuklearmedizin	7.02	Limited Care Dialyse
2.09	Aufnahmepflege	7.03	Kinderbetreuung
2.10	Pflege-Geriatrie	7.04	Dienstleistungen nach außen
2.11	Tagesklinik	7.05	Dienstleistungen von außen
3.00	Verwaltung	7.06	Wohnen
3.01	Leitung und Verwaltung		
3.02	Archivierung		
^a	Funktionsbereiche sind fett gedruckt. Funktionsstellen sind mager gedruckt		
^b	Die Benennung der Funktionsstelle mit der Schlüsselnummer 1.06 ist "Prosektur", wenn keine Pathologie vorhanden ist.		

Tabelle 3.1/1: DIN 13080:2003-07, Tabelle 1 – Gliederung des Krankenhauses in Funktionsbereiche und Funktionsstellen

Die Funktionsbereiche 1.00 - Untersuchung und Behandlung - sowie 2.00 – Pflege - beinhalten Funktionen, die ein Krankenhaus kennzeichnen und in jedem Haus vorhanden sein müssen. Alle anderen Funktionsbereiche sind zwar auch krankenhausspezifisch, es werden jedoch oft auch Funktionen und Leistungen erbracht bzw. bezogen, die mehreren Krankenhäusern zugeordnet werden. Der Energieverbrauch, der hier entsteht, kann deshalb auch nicht nur einem Krankenhaus zugeordnet werden. So werden Versorgungsleistungen für Arzneimittel, Sterilgut, Speisen und Wäsche häufig für mehrere Krankenhäuser in einer zugehörigen zentralen Einheit, z.B. Zentralwäscherei oder –küche erbracht (vgl. 2.). Die erstellten Güter, hier also saubere Wäsche oder Speisen werden dann nach extern geliefert. Eine Zuordnung des Energieverbrauches zu dem Krankenhaus, in dem

sich die zentrale Einheit befindet, ist dann nicht möglich. Aus diesem Grund werden diese Funktionsstellen hier nicht betrachtet.

Die Gliederung des Krankenhauses nach DIN 13080:2003-07 richtet sich ausschließlich nach Funktionen und beinhaltet keine organisatorischen Festlegungen. Auch auf die Energieströme oder bauliche Anforderungen wird hier nicht eingegangen. Funktionsstellen mit ähnlichen energetischen Profilen finden sich in verschiedenen Krankenhausbereichen. Das Gliederungsschema der DIN 13080:2003-07 ist daher als Grundlage für energetische Betrachtungen oder für die Festlegung von architektonischen Entwurfsstrukturen nicht geeignet. Es werden deshalb Bereiche mit energetisch ähnlichen Parametern für die Bestimmung der Energieverbräuche und -ströme zusammengefasst.

Trotzdem ist das Gliederungsschema zur Festlegung der in Krankenhäusern vorkommenden und zu beurteilenden Bereiche ein geeignetes Hilfsmittel. Es kann insbesondere für den betriebswirtschaftlichen Vergleich zwischen den Häusern oder Teilbereichen heran gezogen werden.

3.2 Operationsabteilung

3.2.1 Funktionen, Ausstattung, Allgemeines

Die OP-Abteilungen gehören zu den wichtigsten Einrichtungen eines Krankenhauses. Umfang, Anzahl und Ausstattung dieser Funktionsbereiche kennzeichnen in weiten Teilen die Leistungsfähigkeit und beeinflussen maßgeblich die Anzahl und die Art der Operationen, die angeboten werden können. Daraus resultiert das medizinische Profil des Krankenhauses. Darüber hinaus gehören Operationen zu den kostenintensivsten Leistungen, die ein Krankenhaus erbringt. Gleichzeitig werden hier aber auch erhebliche Einnahmen getätigt. Eine funktions- und leistungsfähige OP-Abteilung ist daher für jedes Krankenhaus von lebenswichtiger Bedeutung. In jedem Fall erfordern die OP-Abteilungen eine umfangreiche und hochtechnisierte Ausstattung, ohne die Operationen nach dem heutigen Stand der medizinischen Wissenschaft nicht möglich sind.

Wichtigste Aufgabe der OP-Abteilung ist daher die Bereitstellung der Räumlichkeiten und der technischen Ausrüstung, damit die Operationen durchgeführt werden können und der Behandlungserfolg sicher gestellt wird. Größe, Zuschnitt und Anordnung der OP-Abteilung und seiner Räume richten sich dabei nach den Funktionen und Aufgaben.

Die Funktionsanalyse liefert die Grundlagen. Der Patient wird zunächst in der Bettenstation umgekleidet und dann mit seinem Bett zur OP-Abteilung gebracht. Hier wartet er, bis er über die Umbettschleuse in den hygienischen Teil der OP-Abteilung gelangt, wo er auf eine OP-Platte umgelagert und zum Operationssaal verbracht wird. In einem Vorraum, der Einleitung, wird der Patient auf die Operation vorbereitet und häufig auch bereits anästhesiert. Erst dann wird er in den OP-Saal gebracht, wo die Operation durchgeführt wird. Die Nachbehandlung erfolgt im Ausleitungsraum. Einleitung und Ausleitung haben auch immer eine Pufferfunktion. Nach dem Verlassen der Ausleitung wird der Patient in den Aufwachraum gebracht, wo er unter Überwachung aus der Narkose aufwacht, nachdem er in sein Bett umgelagert wurde. Sofern notwendig, ist vorher der Verband und/oder der Gipsverband angelegt worden. Nach dem Aufwachen wird der Patient wieder zur Station gebracht.

Zur Erfüllung der Funktionen der OP-Abteilung sind demnach eine Reihe von Räumen und Raumgruppen erforderlich.

Operationssaal

Die Operationssäle sind das Herzstück der OP-Abteilung. Hier findet die unmittelbare Arbeit am Patienten, also die Operation statt. Um zu gewährleisten, dass dies möglichst reibungslos erfolgt und der Behandlungserfolg sicher gestellt wird, müssen eine Reihe von technischen Voraussetzungen gegeben sein.

Oberflächen:

Die Oberflächen der Wände des Fußbodens und der Decke müssen möglichst glatt und fugenarm sein. Die Materialien müssen gut zu reinigen und zu desinfizieren und beständig gegen die verwendeten Mittel sein.

OP- Tisch:

Zur Aufnahme und Lagerung des Patienten ist ein spezieller Tisch erforderlich, der höhenverstellbar und drehbar sein muss.

OP-Ampeln:

Während der Operationen werden eine Vielzahl von Überwachungsgeräten benötigt, deren Art und Anzahl sich nach den durchzuführenden Operationen richtet. Die Geräte werden üblicherweise auf speziellen OP-Ampeln untergebracht, die von der Decke abgehängt werden und mit zweidimensional verstellbaren Gelenkarmen bestückt sind. In die Hängeampeln sind hierfür eine große Anzahl elektrischer Anschlussstellen sowie Entnahmestellen für die medizinische Gasversorgung integriert. Da sie ein erhebliches Gewicht von mehreren hundert Kilogramm haben, muss für die Befestigung eine Statik angefertigt werden.

Medizinische Gasversorgung:

In den OP-Sälen müssen jeweils mehrere Anschlussstellen für O₂, N₂, Druckluft und Narkosegas vorhanden sein. Anzahl, Bestückung und Lage der Entnahmestellen sind individuell fest zu legen.

Beleuchtung:

Der OP-Saal erfordert eine hohe Lichtstärke der Allgemeinbeleuchtung. Sie sollte bereichsweise schalt- und dimmbar sein. Darüber hinaus sind spezielle OP-Feldleuchten notwendig, die an dreidimensional verstellbaren Gelenkarmen befestigt sind und direkt über dem OP-Tisch installiert werden. Damit wird das unmittelbare OP-Feld am Patienten blendfrei und mit geringem Schattenwurf ausgeleuchtet.

RLT-Anlage:

Die Raumluftechnische Anlage hat die Aufgabe, eine möglichst keim- und partikelarme Luftqualität im OP-Saal sicherzustellen sowie Raumlufttemperatur und -feuchte in definierten Grenzen zu halten. Hierfür sind

- eine hochgradige endständige Filterung der Zuluft,
- eine hohe Luftwechselzahl,
- eine geeignete Stufung der Drücke,
- geeignete Zuluftdurchlässe, in der Regel Zuluftschirme über den OP-Tischen,
- die thermische und hygri sche Aufbereitung der Zuluft,
- geeignete Abluftdurchlässe und deren richtige Anordnung erforderlich.

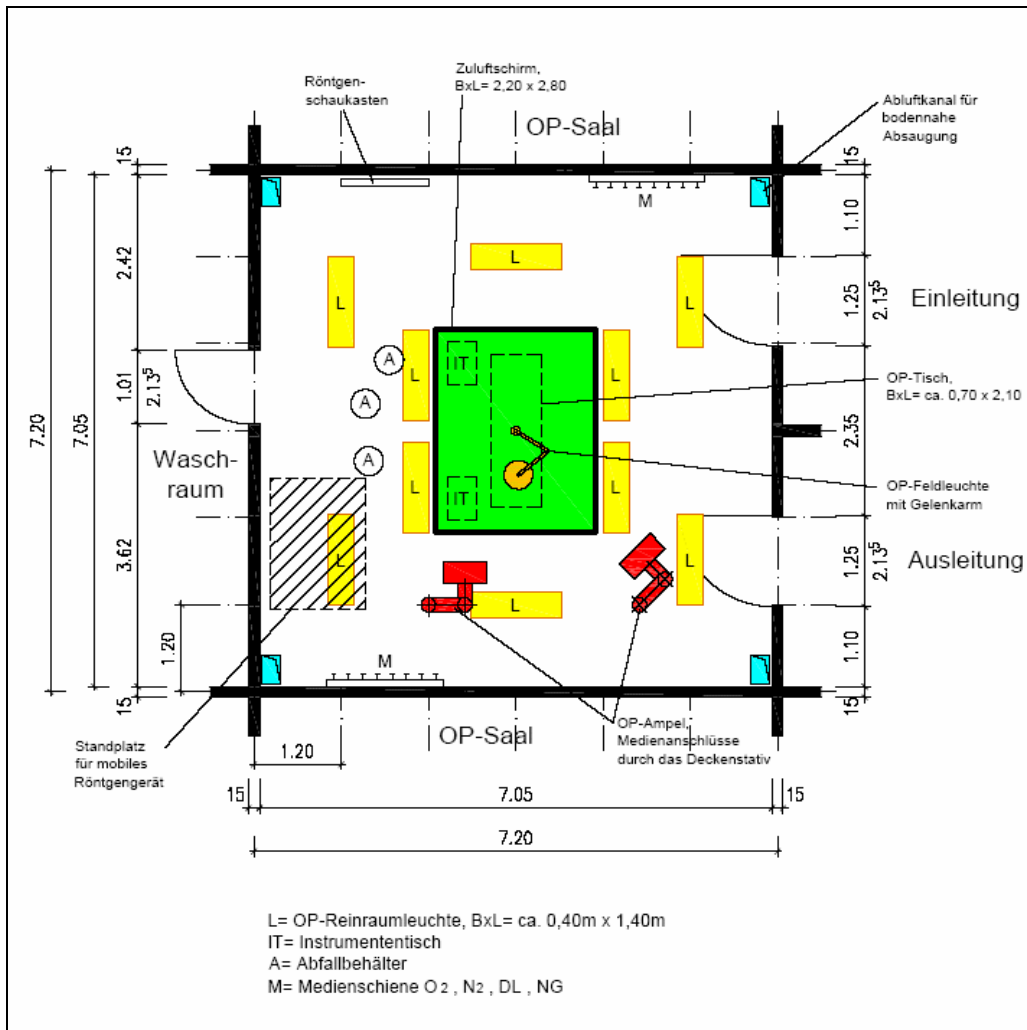


Abbildung 3.2.1/1: OP-Saal mit Einrichtung und Ausrüstung

Neben diesen unabdingbaren Ausstattungen und Einrichtungen sind für den OP-Saal weitere technische Anlagen erforderlich:

- elektrische Türsteuerungen
- Gegensprechanlagen für die Kommunikation innerhalb der OP-Abteilung
- EDV-Anschlüsse
- Telefonanlagen
- Verdunkelungsanlagen, wenn Fenster vorhanden sind
- Röntgenschaukästen
- Brandmeldeanlagen



Abbildung 3.2.1/2: Blick in einen OP-Saal

Aus dieser nicht abschließenden Aufzählung lässt sich erkennen, dass OP-Säle äußerst komplexe Räume im Krankenhaus mit einer sehr hohen und vernetzten gebäudetechnischen Ausrüstung sind. Deren Konzeption und Auslegung richtet sich nach einer Vielzahl von Gesetzen, Verordnungen, Vorschriften, Normen und Richtlinien. In jedem Fall ist eine sehr intensive und detaillierte Planung erforderlich, in die alle Beteiligten so früh wie möglich einzubeziehen sind.



Abbildung 3.2.1/3: Installationsgeschoss über einer OP-Abteilung – Deckendurchführungen (Universitätsklinik Münster, Zentralklinikum, Ebene 04)

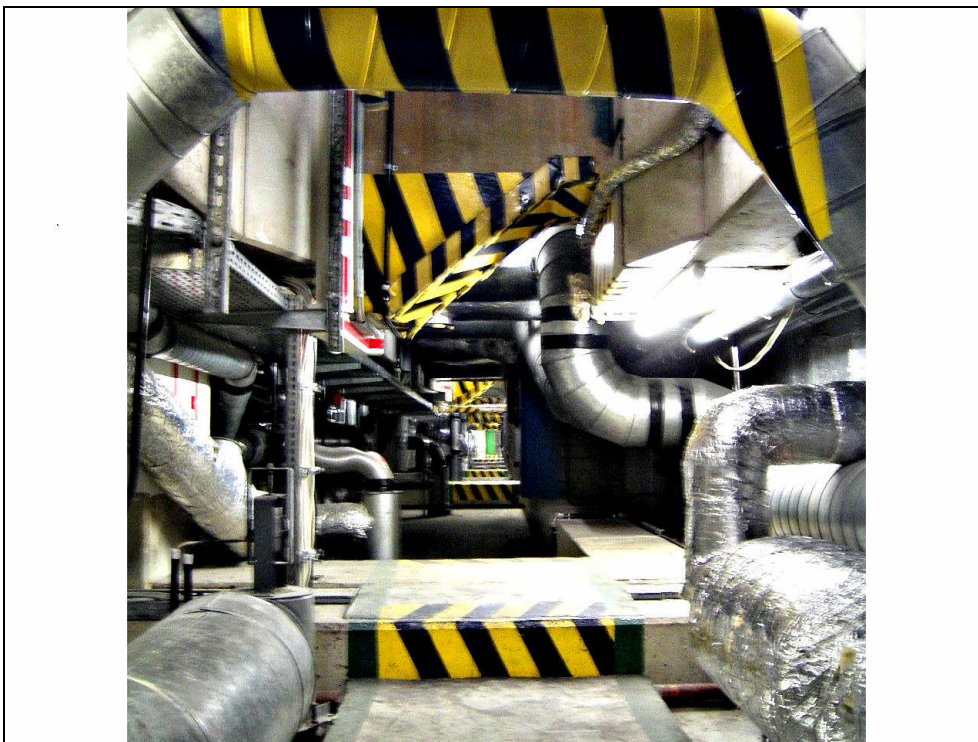


Abbildung 3.2.1/4: Installationsgeschoss über einer OP-Abteilung – Wartungsgang (Universitätsklinik Münster, Zentralklinikum, Ebene 04)

Einleitungs- und Ausleitungsräume

In der Einleitung werden die Patienten auf ihre Operation vorbereitet. Hier wird üblicherweise die Anästhesie durchgeführt oder vorbereitet. Es werden Zugänge zu Blutgefäßen gelegt, es erfolgt eine grundlegende letzte Überwachung vor Beginn der Operation. In der Einleitung werden daher Anschlussmöglichkeiten für die medizinische Gasversorgung (i. d. R. O₂, N₂, Druckluft, Narkosegas) benötigt. Darüber hinaus muss Stauraum für medizinisches Gerät (Spritzen, Pflaster, Kanülen etc.) vorhanden sein. Üblicherweise wird auch eine Spüle benötigt. Wichtig sind ausreichend Bewegungsflächen an allen Seiten des liegenden Patienten.

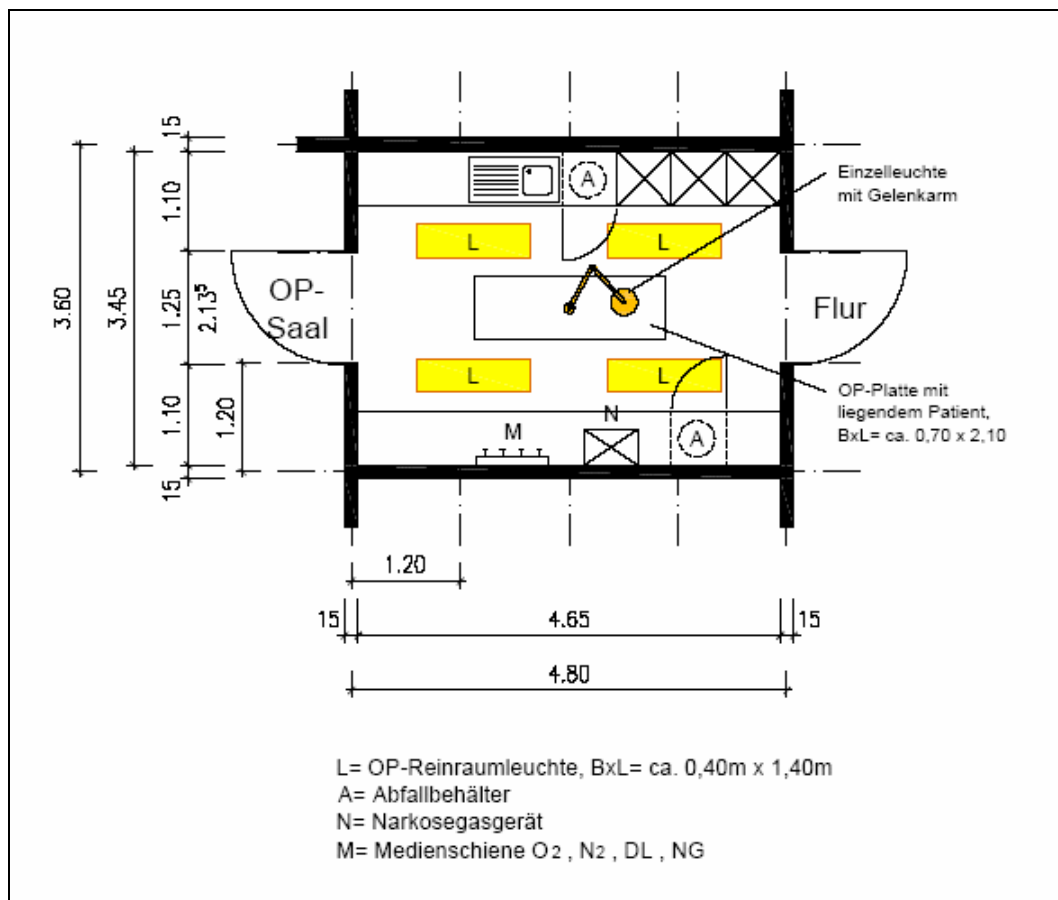


Abbildung 3.2.1/5: Einleitungsraum

Die Ausleitung benötigt im Regelfall keine so aufwendige Ausstattung. Wichtig sind hier jedoch ebenfalls Anschlussmöglichkeiten für die medizinischen Überwachungsgeräte sowie Bewegungsflächen. Darüber hinaus werden Flächen für Entsorgungsbehälter benötigt.

Waschraum

Die Operateure müssen sich vor und nach der Operation aus hygienischen Gründen an Waschanlagen außerhalb des OP-Saales die Hände und Arme waschen. Dauer, Intensität, Seife und Wassertemperatur für den Waschvorgang sind in den Hygienevorschriften des Robert-Koch-Institutes vorgeschrieben. Nach dem Waschen werden die OP-Bekleidung und die OP-Handschuhe angelegt. Erst danach kann der Operateur den OP-Saal betreten und am Patienten arbeiten.

Um diesen wichtigen hygienischen Schritt vollziehen zu können müssen spezielle Waschräume mit entsprechenden Waschanlagen vorhanden sein. Pro OP-Saal sind i. d. R. drei Waschgelegenheiten als Einzel- oder Reihenwaschanlage ausreichend. An jedem Waschstand müssen eine Uhr zur Kontrolle der Waschzeit, Seifen- und Desinfektionsmittelspender, Papierhandtuchspender und Papierkorb vorhanden sein. Die Waschtischarmaturen sollten berührungslos gesteuert oder mit Armhebelbedienung ausgerüstet sein.

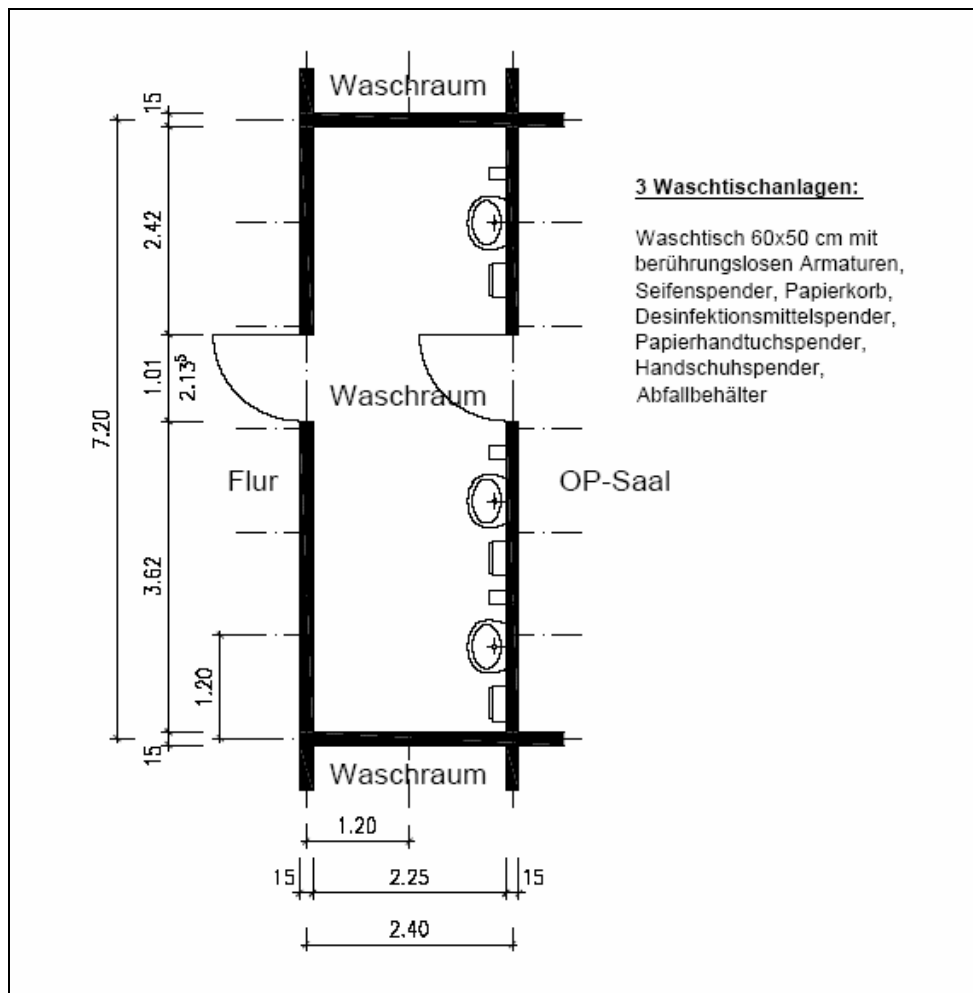


Abbildung 3.2.1/6: Waschraum

Personalschleusen

Neben diesen Räumen der OP-Abteilung, in denen sich die Patienten aufhalten, sind für die korrekten Abläufe weitere Räume erforderlich. Alle Personen, die die OP-Abteilung betreten oder verlassen, müssen eine Schleuse passieren, da die OP-Abteilung ein vom übrigen Krankenhaus und von außen hygienisch getrennter Bereich ist. Nach Betreten der Personalschleuse von außen müssen sich die Personen zunächst entkleiden. Für die Aufnahme der abgelegten Kleidung müssen abschließbare Spinde in ausreichender Anzahl vorhanden sein. Es muss eine Dusche und/oder Waschelegenheit sowie eine Toilette zur Verfügung stehen. Nach dem Waschen wird die OP-Kleidung einschließlich Schuhen angelegt, wofür ausreichend Lagermöglichkeiten für Kleidung und Schuhe erforderlich sind.

Das Verlassen der OP-Abteilung erfolgt in umgekehrter Reihenfolge, wobei die benutzte Kleidung in entsprechende Aufnahmebehälter abgeworfen wird. In manchen Krankenhäusern erfolgt eine Trennung der Räumlichkeiten zum An- bzw. Ablegen der OP-Kleidung einschließlich Vorhalten getrennter Dusch- und Waschbereiche. Die Personalschleusen stellen die erste und wichtigste hygienische Barriere für das Personal dar. Ausreichende Flächen sowie die richtige Ausstattung stellen ihre Funktion sicher.

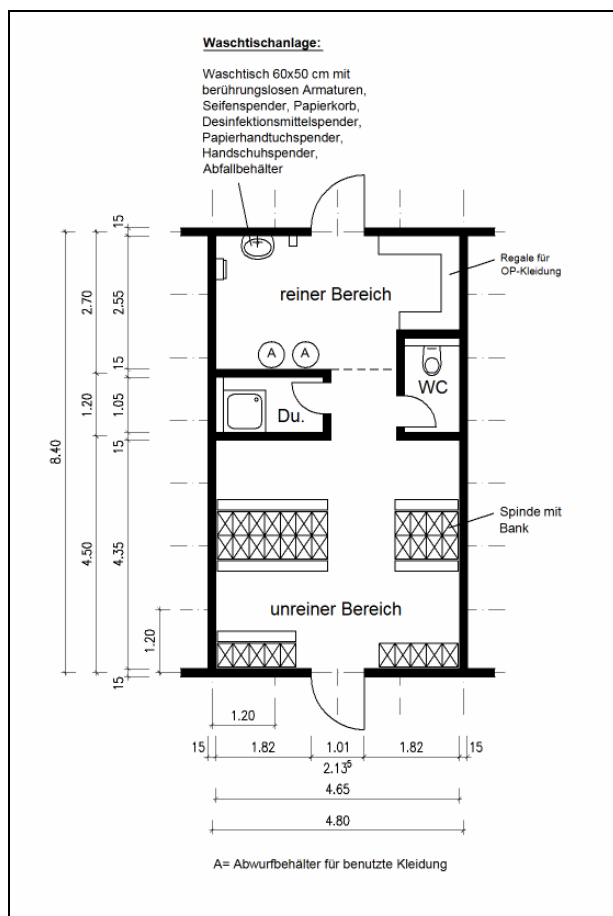


Abbildung 3.2.1/7: Personalschleuse

Sterilgutlager

Das Sterilgutlager hat die Aufgabe, alle sterilen Materialien, die in der OP-Abteilung und insbesondere in den OP-Sälen benötigt werden, aufzunehmen. Dies sind vor allem OP-Instrumente, Medikamente, Spritzen, Kanülen, und Verbandmaterial. Darüber hinaus müssen Bewegungsflächen vorhanden sein, um Material entnehmen und auf Arbeitsflächen oder Rollwagen zusammenstellen zu können.

Alle Oberflächen des Raumes und seiner Einbauten müssen reinigungs- und desinfektionsmittelbeständig sein. Als Material kommt hierfür in erster Linie Edelstahl in Frage.

Geräteräume

Im Geräteraum werden diejenigen Geräte gelagert, die ständig in der OP-Abteilung verbleiben. Dies sind u. a. mobile Röntgengeräte, Überwachungsgeräte, Pumpen, Herz-Lungen-Maschinen, Bildschirme, Geräte zur Reanimation, sowie sonstige elektrische oder druckluftbetriebene Geräte. Der Geräteraum wird häufig geteilt. Im ersten Teil werden benutzte Geräte zunächst gereinigt, desinfiziert und wieder einsatzbereit gemacht. Danach werden sie in den zweiten sterilen Raum gebracht. Von dort werden sie wieder zur Benutzung entnommen. Zum Teil werden die Geräteräume auch jedem OP-Saal einzeln zugewiesen. In diesen Fällen wird der Raum nicht geteilt. Die Nutzung ist dann wegen der geringeren Lagerkapazitäten eingeschränkt und weniger flexibel.

Flure

Die Flure stellen zum Einen die Verbindungswege innerhalb der OP-Abteilung dar. Zum Anderen dienen sie auch als Puffer- und Rangierräume. Darüber hinaus haben sie die niedrigsten Raumdrücke und nehmen deshalb den größten Teil der aus den anderen Räumen überströmenden Luft auf. Die Flure haben eine Breite von 2.40 m oder mehr, da ansonsten die Flächen für das Rangieren mit liegenden Patienten nicht ausreichen.

Schwesternarbeitsplatz, Ärzteraum

Innerhalb der OP-Abteilungen sollten Arbeitsplätze für die OP-Schwester und Ärzte zur Verfügung stehen. Hier werden büroähnliche Tätigkeiten wie die Erstellung von OP-Belegungsplänen, Materialbestellungen, Verfassen von OP-Berichten u. ä. ausgeführt. Die Arbeitsplätze benötigen eine Büroausstattung einschließlich EDV- und sonstiger IT-Ausrüstung. Die Ausstattung und Einrichtung müssen hygienischen Anforderungen genügen. Anzahl und Anordnung der entsprechenden Räume hängen von der Anzahl der Ärzte und Schwestern ab, die in der OP-Abteilung tätig sind.

Ver- und Entsorgungsräume

Die Ver- und Entsorgungsräume haben die Aufgabe, alle Materialien, die in die OP-Abteilung gelangen oder sie verlassen sollen, aufzunehmen. Die Räume haben daher eine Puffer- und Schleusenfunktion. Sie dienen ausdrücklich nicht als Personalschleuse. Wichtigste Anforderung an diese Räume ist daher ausreichend Fläche zur Aufnahme und Zwischenlagerung.

Der Versorgungsraum ist räumlich vom Entsorgungsraum zu trennen und sollte nicht unmittelbar daran grenzen. Der Entsorgungsraum soll nicht in unmittelbarer Nähe von hygienisch sensiblen Räumen und/oder Bereichen liegen, um eine Kreuzkontamination durch Verschleppung zu verhindern.

Beide Räume benötigen Zugänge von innerhalb und von außerhalb der OP-Abteilung. Die Türen sind gegenseitig zu verriegeln. Damit wird ein unbeabsichtigtes Öffnen und ein ungehinderter Durchgang verhindert und die Schleusenfunktion bleibt gewahrt.

RLT-Anlage

Eine der wichtigsten Voraussetzungen für die OP-Abteilung ist ein funktionierendes Hygienekonzept, das sich nur mit einer richtig konzipierten, bemessenen, einregulierten und instand gehaltenen RLT-Anlage realisieren lässt. Sie hat zwei Hauptaufgaben:

- Ableitung der in den Räumen entstehenden bzw. freigesetzten Partikel und Keime. Dies wird mit einer mehrstufigen, hochgradigen Filterung der Zuluft in Verbindung mit hohen Luftwechselzahlen erreicht.
- Einhaltung der geforderten thermischen und hygri-schen Raumkonditionen, wofür eine angepasste thermodynamische Luftaufbereitung notwendig ist.

Für die Konzeption und die Dimensionierung der RLT-Anlage bildet die DIN 1946 (03/1999), Blatt 4, die Grundlage. In Tabelle 2, „Anforderungen an die Lüftung in Krankenhäusern“ sind die einzuhaltenen Raumluftkonditionen sowie Mindest-Außenluftströme angegeben. Generell sind dort für alle Bereiche des Krankenhauses Hinweise und Vorschriften enthalten, ob Räume mit RLT-Anlagen auszustatten sind und welche Anforderungen dann gelten.

Den OP-Räumen ist wegen der besonders hohen hygienischen Anforderungen ein eigener Abschnitt gewidmet. Der Zuluft-Volumenstrom für OP-Räume wird nach DIN 1946/4 (03/1999), Abschnitt 6.6.2 dimensioniert. Die dort angegebene Berechnungsvorschrift definiert einen Bezugs-Zuluftvolumenstrom, der von definierten Schadstoffemissionen abhängig ist und für Luftführungssysteme mit Mischströmung gilt.

Heute werden dagegen in der Regel Luftführungssysteme mit turbulenzarmer Verdrängungsströmung eingesetzt. Dabei handelt es sich um Zuluftschirme, die über dem OP-Tisch angebracht sind. Sie sind unterseitig mit einem Kunstfasergewebe bespannt, durch das die Zuluft in den Raum geblasen wird. Die aufberei-

tete Zuluft strömt auf der ganzen Fläche des Schirmes mit gleichmäßiger, sehr geringer Geschwindigkeit von 0,2 m/s bis 0,25 m/s aus. Sie strömt als Kolbenströmung mit nahezu laminarem Strömungsprofil auf den OP-Tisch einschließlich aller sich unter dem Schirm befindlichen Personen und Gegenstände herunter, die dadurch vollständig von keim- und partikelarmer Luft umhüllt sind. Auf diese Weise wird ein Höchstmaß an Keimfreiheit im relevanten Bereich erreicht. Der Zuluftschirm muss so groß sein, dass alle Gegenstände und Personen, die sich am Patienten befinden, darunter Platz haben. Dies sind mindestens der Patient, der oder die Operateure, die OP-Schwester bzw. -Pfleger und der Instrumententisch.

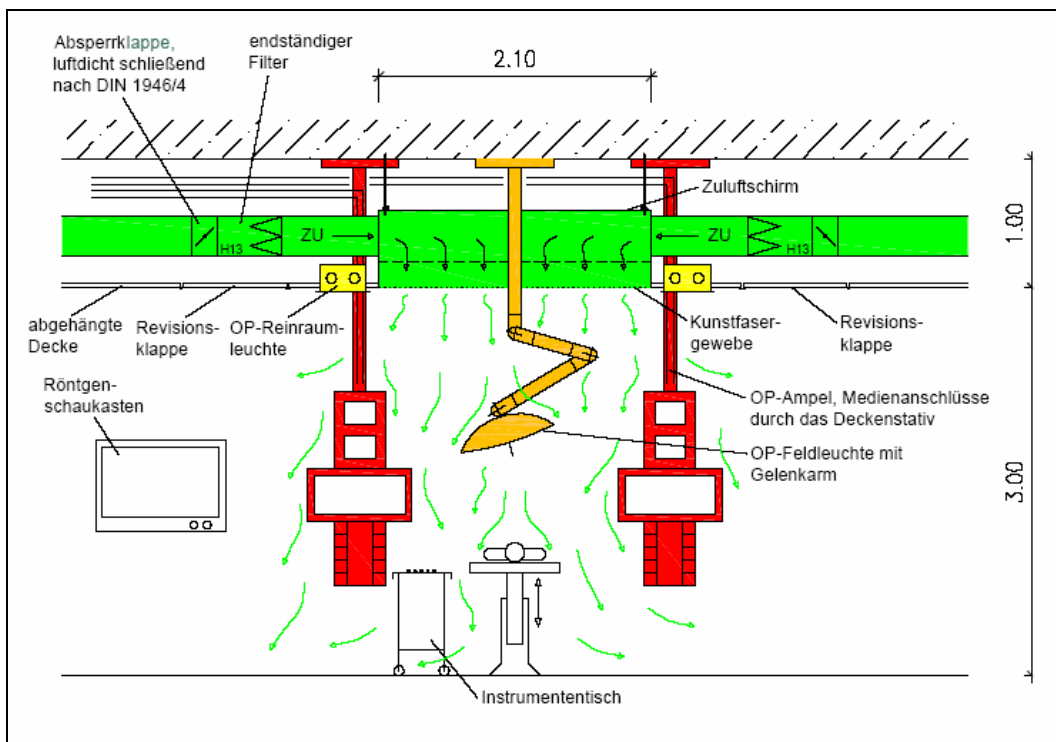


Abbildung 3.2.1/8: OP-Zuluftschirm mit OP-Tisch

Vorraussetzung für das Funktionieren der Verdrängungsströmung ist, dass die Zulufttemperatur ca. 2 – 3 K unter der Raumtemperatur liegt. Bei einer zu geringen Unter- oder Übertemperatur entsteht in Verbindung mit der geringen kinetischen Energie des Luftstrahls eine Umkehrung der Kolbenströmung, sodass sie nicht den Schutzbereich erreicht und sich an die Decke anlegt.

Die Zuluft des OP-Raumes wird ausschließlich über den Schirm eingebracht. Zuluftauslässe, die eine induktive Strömung erzeugen, würden die Kolbenströmung unter dem Zuluftschirm stören und Partikel in den Schutzbereich eintragen. Der Zuluftvolumenstrom bestimmt sich aus der Ausblasgeschwindigkeit und der Auslassfläche des Zuluftschirmes.

Der Verwendung von Umluft sind sehr enge Grenzen gesetzt. Da die Abluft Stäube, Fasern, Keime und sonstige Partikel enthält, würde ein Teil des Zuluft-

systems hiermit belastet werden. Diese Belastungen würden vollständig erst an den endständigen Schwebstofffiltern beseitigt, die dadurch kurze Wechselintervalle benötigen würden. Dies bedeutet Beeinträchtigungen des OP-Betriebes. Darüber hinaus besteht die Gefahr, dass pathogene Keime aus den OP-Sälen in die Zuluft gelangen, wenn an den Schwebstofffiltern ein Defekt vorliegt, sie durchschlagen oder Leckluftmengen beim Filterwechsel entstehen. Dies muss unter allen Umständen vermieden werden. Darüber hinaus ist die Abluft im OP-Betrieb oft mit Narkosegas belastet und müsste stark mit unbelasteter Außenluft verdünnt werden, um als Umluft verwendet werden zu können.

Somit müssten erhebliche anlagentechnische Voraussetzungen geschaffen und betriebliche Beeinträchtigungen in Kauf genommen werden, wenn Umluftbetrieb gefahren werden soll. Aus diesen Gründen werden die Anlagen nur in Ausnahmefällen mit Umluftanteil konzipiert und gefahren. Aus energetischen Gründen wäre dies in jedem Fall sinnvoll, insbesondere dann, wenn große Luftmengen erforderlich sind.

Um jedoch die Betriebskosten für die Luftaufbereitung zu begrenzen, können die Luftmengen in betriebsfreien Zeiten, z. B. nachts und an Wochenenden, reduziert werden. Die vollständige Abschaltung der RLT-Anlage ist nicht möglich, da ansonsten die Druckstufen zwischen den Räumen nicht gehalten werden, was zur Kontamination von hygienisch sensiblen Räumen führt. Darüber hinaus würde die reine, raumseitige Fläche der Schwebstofffilter vom Raum her kontaminiert, was ebenfalls unter hygienischen Gesichtspunkten inakzeptabel ist. Die RLT-Anlagen der OP-Abteilungen werden deshalb üblicherweise in betriebsfreien Zeiten mit 50 % der Normalluftmenge gefahren.

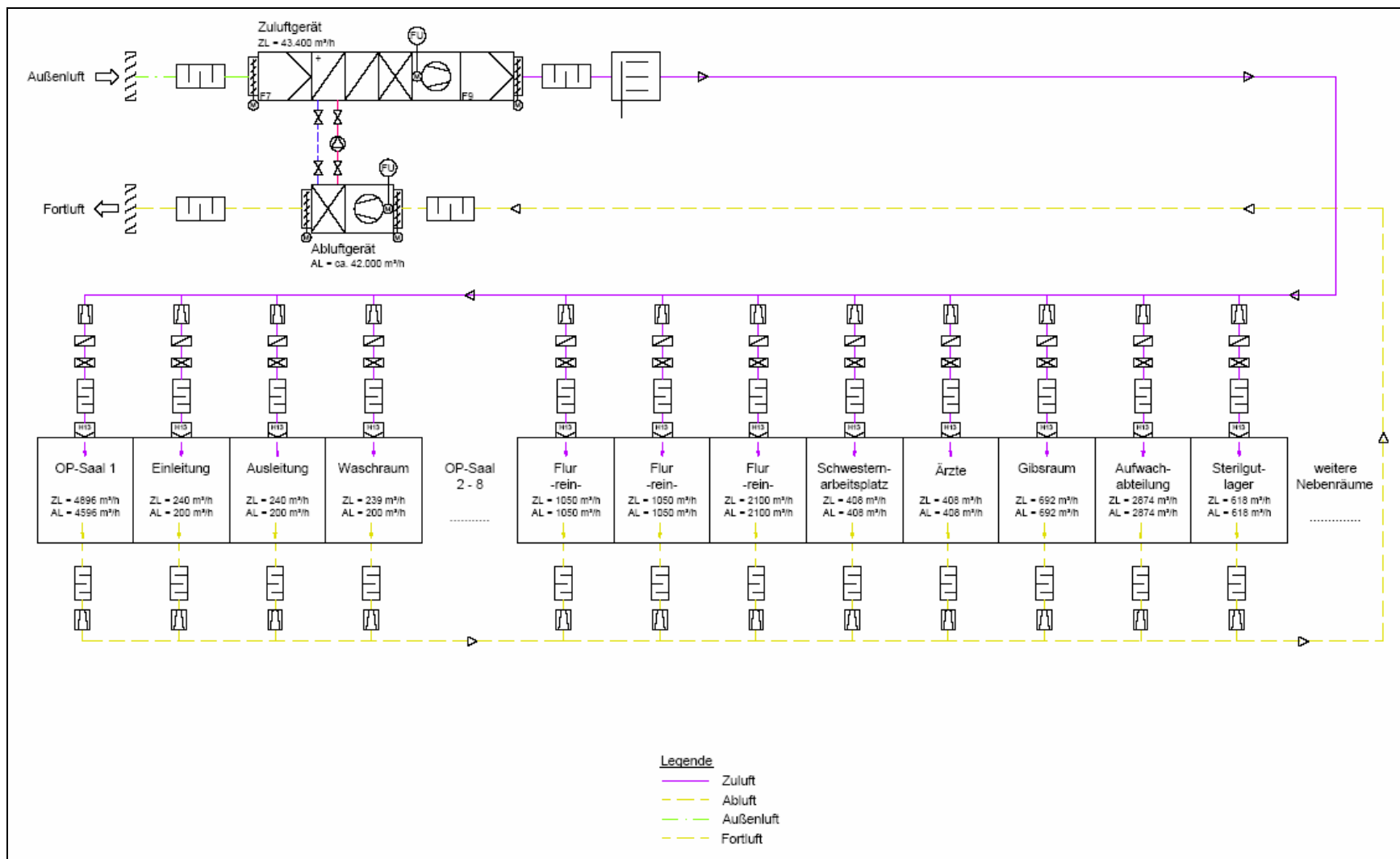


Abbildung 3.2.1/9: Schema einer RLT-Anlage einer OP-Abteilung

Für die übrigen Räume der OP-Abteilung und des Krankenhauses gelten im Wesentlichen nachfolgend aufgeführte Mindest-Außenluft-Volumenströme und Zuluftkonditionen nach DIN 1946/4(03/1999). Die RLT-Anlagen dieser Räume sind danach auszulegen.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Nr.	Krankenhausbereich Raumgruppe Raumart	Raum- klasse	RLT-Anlagen unentbehrlich ¹⁾		Hygieni- scher Mindest- Außenluft- volumen- strom ²⁾ m ³ /(m ² h)	Raumluft- Zustände ^{3,4)}			Richtwerte für den maximalen Anlagen- Schallpegel ⁶⁾ dB(A)
			Klima- physio- logisch	Infektions- prophylaxe		Tempe- raturen		Feuchte ⁵⁾	
					min. °C	max. °C			
1	Untersuchungs- und Behandlungsbereiche								
1.1	OP-Abteilungen								
1.1.1	OP-Räume Typ A oder B, einschließlich Unfall- und Entbindungs-OP-Räume	I	+	+	siehe 6.6	22 ⁷⁾	26 ⁷⁾	+	40
1.1.2	Versorgungsflure- oder Versorgung lager für Sterilgut, Waschräume, Ein- und Ausleitungsräume, gegebenenfalls Geräteräume	I	+	+	15	⁸⁾	⁸⁾	+	40
1.1.3	Aufwachräume ⁹⁾	I	+	+	30	22 ⁷⁾	26 ⁷⁾		
1.1.4	Sonstige Räume, Flure	I	+	+	15	⁸⁾	⁸⁾	+	40
1.2	Entbindung								
1.2.1	Entbindungsräume	II			15	24			40
1.2.2	Sonstige Räume, Flure	II			10				40
1.3	Endoskopie								
1.3.1	Eingriffsräume (z. B. Arthroskopie, Thorakoskopie oder Medistinoskopie)	I		+	30				40
1.3.2	Untersuchungsräume (aseptisch, septisch)	II			30				40
1.3.3	Sonstige Räume, Flure ⁴⁾	II			10				40
1.4	Physikalische Therapie								
1.4.1	Wannenbäder, Bewegungsbäder, Schwimmbäder	II	+		¹⁰⁾ 10	¹¹⁾	¹¹⁾		50 45
1.4.2	Sonstige Räume, Flure ⁴⁾	II							
1.5	Sonstige Bereiche								
1.5.1	Räume für kleine Eingriffe ¹²⁾	II							
1.5.2	Aufwachräume außerhalb der OP-Abteilung	II	+ ¹³⁾		30		26	+	35
1.5.3	Sonstige Räume und Flure ⁴⁾ ,								
1.5.3.1	Röntgendiagnostik	II	¹⁴⁾		15			¹⁴⁾	40
1.5.3.2	Untersuchungsräume	II			15				40
2	Pflegebereiche								
2.1	Intensivmedizin								
2.1.1	Bettzimmer, gegebenenfalls einschließlich Vorraum								
2.1.1.1	für Intensivtherapie (infektionsgefährdete oder infektionsgefährdende Patienten) ¹⁵⁾	I	+	+	30	24	26	+	30
2.1.1.2	für Intensivbeobachtung (übrige Patienten)	II	+ ¹⁶⁾		15	24	26	+	30
2.1.2	Notfallraum	I	+	+	30 ¹⁷⁾	24	26	+	40
2.1.3	Sonstige Räume, Flure ⁴⁾	II			15	⁸⁾	⁸⁾		40
2.2	Spezialpflege¹⁸⁾								
2.2.1	Bettzimmer	I	+	+	30	24	26	+	30
2.2.2	Notfallraum	I	+	+	30 ¹⁷⁾	24	26	+	40

2.2.3	Sonstige Räume, Flure ⁴⁾	II			15	⁸⁾	⁸⁾		40
2.3	Infektionskrankenpflege¹⁹⁾								
2.3.1	Bettzimmer, gegebenenfalls einschließlich Vorraum	II		²⁰⁾	10				35 ²¹⁾
2.1.3	Sonstige Räume, Flure ⁴⁾	II			10				40
2.4	Frühgeborenenpflege								
2.4.1	Bettzimmer	II		⁺²²⁾	15	24 ⁸⁾	26 ⁸⁾	⁺²³⁾	35 ²¹⁾
2.4.2	Sonstige Räume, Flure	II			10				40
2.5	Neugeborenen-, Säuglings- und Allgemeinpflege								
2.5.1	Bettzimmer	II			10				35 ²¹⁾
2.5.2	Sonstige Räume, Flure ⁴⁾	II			10				40
2.6	Sonstige Bereiche	II			10				

1)	Außer den hier genannten klimaphysiologischen und infektionsprophylaktischen Gründen können RLT-Anlagen auch aus anderen, in Abschnitt 4 im 2. Absatz genannten Gründen notwendig werden.
2)	Aus den den im Abschnitt 4 im 1. und 2. Absatz genannten Gründen können im Einzelfall auch höhere Luftvolumenströme erforderlich werden
3)	Soweit hier keine Angaben enthalten sind, gelten die Werte nach DIN 1946-2; vergleiche 5.1.1 bis 5.1.3.
4)	Siehe Anhang C, Erläuterungen zu Tabelle 2.
5)	+ bedeutet, daß die in DIN 1946-2 genannten Grenzwerte einzuhalten sind.
6)	Diese Werte gelten nur für Räume, die dem ständigen Aufenthalt von Personen dienen.
7)	Ganzjährig von min. bis max. frei wählbar, zusammenhängend mit den zugehörigen Räumen der OP-Abteilung. Für die Bemessung der Kälteanlage kann eine Außentemperatur zugrunde gelegt werden, die um 4 K niedriger liegt als in VDI 2078 angegeben. Für OP-Räume gelten die Temperaturen für das Operationsfeld
8)	Gleiche Zulufttemperatur und Zuluftfeuchte wie für OP-Räume bzw. Bettzimmer.
9)	Wenn in OP-Abteilung integriert.
10)	Festlegungen müssen nach Erträglichkeit und bauphysikalischen Anforderungen erfolgen.
11)	Raumtemperatur 2 bis 4 K über Wassertemperatur bis zu einer Raumtemperatur von 28°C. Bei Wassertemperatur ab 28°C sollten beide Temperaturen gleich sein.
12)	Zur Definition der "kleinen Eingriffe" siehe RKI-Richtlinie Krankenhaushygiene und Infektionsprävention, Anlage zu Ziffern 5.1 und 4.3.3
13)	Auch aus Gründen der Narkosegasabführung.
14)	In Einzelfällen können medizinisch-technische Geräte den Einsatz von RLT-Anlagen und die Einhaltung bestimmter Feuchtwerte erforderlich machen.
15)	Entsprechend der RKI-Richtlinie Krankenhaushygiene und Infektionsprävention.
16)	Für einzelne Bettzimmer darf auf RLT-Anlagen verzichtet werden, nicht jedoch für die für Patienten mit Herz-, Kreislauf- und Atemwegserkrankten bestimmten.
17)	In Bereitschaftszeit nur 15 m ³ /(m ² h).
18)	Für immunsupprimierte (abwehrgeschwächte) Patienten.
19)	Siehe auch Abschnitt 1, letzter Satz.
20)	Es ist vom Hygieniker zu entscheiden, ob für bestimmte aerogen übertragbare Krankheiten aus infektionsprophylaktischen Gründen eine RLT-Anlage unentbehrlich ist.
21)	Nachtwerte etwa 5 dB niedriger in Verbindung mit Senkung des Luftvolumenstromes, jedoch nicht unter 50 m ³ /(h· Person).
22)	RLT-Anlagen dürfen entfallen, wenn alle Frühgeborenen in Inkubatoren untergebracht sind.
23)	Mindestfeuchte 45 % relative Feuchte.

Tabelle 3.2.1/1: Auszug DIN 1946/4 (03/1999), Tabelle 2²⁵

²⁵ DIN 1946/4 (03/1999), Tabelle 2

Beleuchtung

Für die Beleuchtung gelten im Wesentlichen die Anforderungen der DIN EN 12464/1:2003-03 „Licht und Beleuchtung - Beleuchtung von Arbeitsstätten, Teil 1; Arbeitsstätten in Innenräumen“. Darin sind in Abschnitt 5, Tabelle 5.7, die Anforderungen von Räumen in Gesundheitseinrichtungen im Allgemeinen und unter Nr. 7.10 in Operationsbereichen im Speziellen angeführt.

Ref. Nr.	Art der Räume, Aufgabe oder Tätigkeit	E_m	Bemerkungen
7.10.1	Vorbereitungs- und Aufwachräume	500 lx	
7.10.2	Operationsräume	1.000 lx	
7.10.3	Operationsfeld		E_m : 10.000 bis 100.000 lx

Tabelle 3.2.1/2: Auszug DIN 12464/1: 2003-03, Tab. 5.7,
Beleuchtungsstärken in Operationsbereichen²⁶

Die geforderten Beleuchtungsstärken sind den medizinisch-pflegerischen Notwendigkeiten angepasst. Neben einer Grundbeleuchtung wird bei speziellen Anforderungen eine individuelle Ausleuchtung notwendig.

Darüber hinaus wird nach DIN 5035 (09/1988), Teil 3, Nr. 3.4.1, in einer Fläche von mindestens 3,0 m x 3,0 m um den OP-Tisch die Nennbeleuchtungsstärke E_n von 1000 lx als untere Grenze in 1 m über dem Boden angegeben. Als Ziel ist jedoch eine Nennbeleuchtungsstärke von $E_n = 2000$ lx anzustreben. Dieser Wert sollte auch in jedem Fall erreicht werden, da im Operationssaal an die Sehaufgaben sehr hohe Anforderungen gestellt werden, die nur mit einer sehr guten Beleuchtung erfüllt werden können. Darüber hinaus werden auf diese Weise Sichteinschränkungen durch Unterschiede in den Beleuchtungsstärken reduziert. Für die weiteren Betrachtungen wird daher eine Nennbeleuchtungsstärke von 2000 lx zu Grunde gelegt.

In Ein-, Ausleitungs- und Aufwachräumen sind die Anforderungen an die Sehaufgaben wesentlich geringer, sodass hier auch geringere Beleuchtungsstärken installiert werden können. Für sonstige Räume in OP-Abteilungen sind keine speziellen Anforderungen formuliert, sodass hier Werte für ähnliche Räume bzw. Sehaufgaben aus anderen Bereichen übertragen werden können.

Auf dieser Grundlage wird die erforderliche Anzahl und der Typ der Leuchten ermittelt, aus der sich die elektrische Anschlussleistung für die Allgemeinbeleuchtung ergibt. Für die OP-Feld-Beleuchtung kommen Spezialleuchten zum Einsatz, die relativ geringe elektrische Leistungen haben. Der für die Beleuchtung erforderliche elektrische Strom wird vollständig in Wärme umgewandelt und wirkt als thermische Last.

²⁶ DIN 12464/1: 2003-03, Tab. 5.7

3.2.1.1 Laststruktur Grundlagen

Die gebäudetechnischen Anlagen in OP-Abteilungen werden benötigt, um die thermischen und hygienischen Raumkonditionen einzuhalten und um die Anforderungen an die Beleuchtung zu erfüllen. Darüber hinaus werden technische Geräte für die medizinisch-pflegerischen Aufgaben benötigt.

Alle technischen Anlagen und Geräte verbrauchen Energie. Alle Wärmequellen innerhalb der OP-Abteilung verursachen eine thermische Last. Außerhalb können durch solare Strahlung und hohe Außentemperaturen ebenfalls Wärmequellen entstehen, die eine thermische Last in den Räumen hervorrufen. Wenn die Temperatur außerhalb niedriger als innerhalb ist, verlieren die Räume Wärme, was ebenfalls eine thermische Last darstellt.

Hygrische Lasten entstehen, wenn die feuchtigkeitsemitternden Quellen innerhalb der Räume weniger oder mehr Feuchtigkeit frei setzen, als zur Einhaltung der geforderten Luftfeuchtigkeit benötigt wird. Als Feuchtigkeits-Emittenten in der OP-Abteilung kommen nur Personen und Reinigungsvorgänge in Frage, sodass nur wenig Feuchtigkeit in den Räumen frei gesetzt wird. Lasten entstehen also immer, wenn vorgegebene physikalische Größen innerhalb von Räumen in festen Grenzen gehalten werden. Als allgemeine Definition gilt:

- Heizlast: Durch die inneren und äußeren Wärmequellen wird weniger Wärme in die Räume abgegeben, als von ihnen nach außen abgegeben wird.
- Kühllast: Durch die inneren und äußeren Wärmequellen wird mehr Wärme in die Räume abgegeben, als von ihnen nach außen abgegeben wird.
- Befeuchtungslast: Die von den Feuchtigkeitsquellen innerhalb der Räume abgegebene Feuchtigkeit ist kleiner als zur Einhaltung der geforderten Feuchtigkeit der Raumluft benötigt wird.
- Entfeuchtungslast: Die von den Feuchtigkeitsquellen innerhalb der Räume abgegebene Feuchtigkeit ist größer als zur Einhaltung der geforderten Feuchtigkeit der Raumluft benötigt wird.

Alle Lasten müssen durch gebäudetechnische Anlagen ausgeglichen werden.

Die Räume verlieren nur durch Diffusion über die Umfassungsfläche Feuchtigkeit. Dieser Anteil ist jedoch vernachlässigbar klein. Wenn also in den Räumen keine Feuchtigkeitsemitternden sind, sind Zuluft-, Raum- und Abluftfeuchte gleich. Die Befeuchtungslast ist dann null. In der OP-Abteilung treten somit keine relevanten Befeuchtungslasten auf, wohl jedoch Entfeuchtungslasten, wenn sich Feuchtigkeitsemitternden in den Räumen befinden.

In der OP-Abteilung können statische Heizflächen in Form von Heizkörpern aus hygienischen Gründen nur sehr eingeschränkt, möglichst jedoch gar nicht,

eingesetzt werden, weil die Reinigung schwierig ist. Da alle Räume an eine RLT-Anlage angeschlossen sein müssen, müssen alle Lasten von der RLT-Anlage durch eine angepasste Konditionierung der Zuluft ausgeglichen werden.

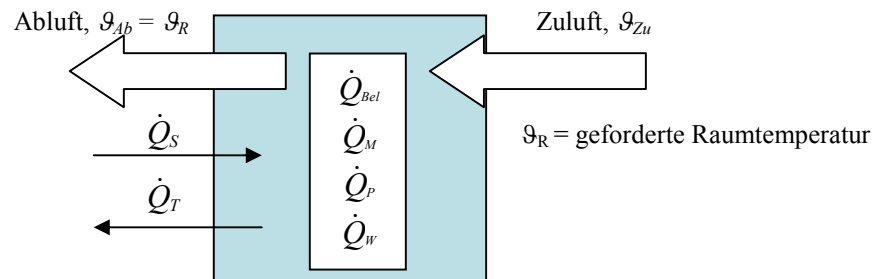
Folgende Wärme- und Feuchtigkeitsquellen beeinflussen somit das Raumklima und erzeugen thermische und/oder hygrische Lasten:

Transmission über äußere Umfassungsflächen (Wände, Fenster, Türen, Decken, Fußböden)	Thermische Last	\dot{Q}_T
Solare Wärmegewinne über transparente Umfassungsflächen (Fenster, Türen)	Thermische Last	\dot{Q}_S
Beleuchtung (Allgemeinbeleuchtung, Speziabeleuchtung)	Thermische Last	\dot{Q}_{Bel}
Geräte, Maschinen	Thermische Last	\dot{Q}_M
Personen	Thermische Last, Hygrische Last	\dot{Q}_P X_P
Reinigungsarbeiten mit Wasser	Thermische Last, Hygrische Last	\dot{Q}_W X_W

Tabelle 3.2.1.1/1: Lastquellen in OP-Abteilungen

\dot{Q}_T und \dot{Q}_S sind äußere Lasten. \dot{Q}_{Bel} , \dot{Q}_M , \dot{Q}_P , X_P , \dot{Q}_W und X_W stellen innere Lasten dar. Damit ergeben sich folgende Energie- bzw. Feuchtigkeitsflussbilder entsprechend den auftretenden Lastfällen:

Heizlast

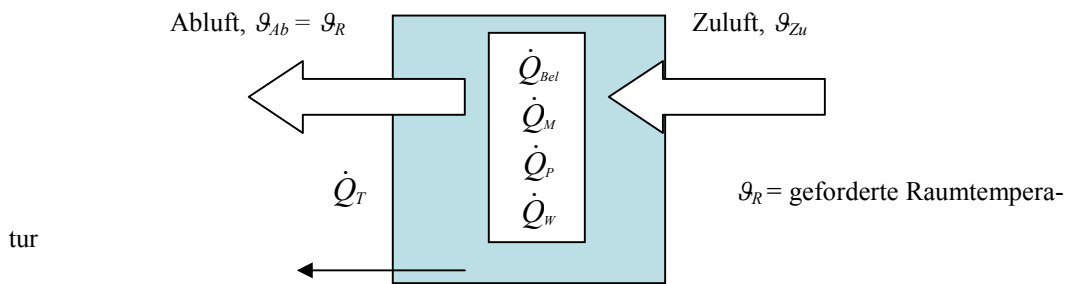


$$\Sigma(\dot{Q}_{Bel}, \dot{Q}_M, \dot{Q}_P, \dot{Q}_W, \dot{Q}_S) < \dot{Q}_T$$

$$g_{Zu} > g_R$$

$$g_{Au} < g_R$$

Kühllast:

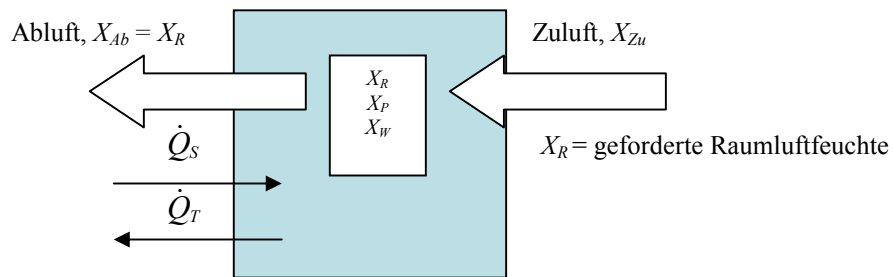


$$\sum(\dot{Q}_{Bel}, \dot{Q}_M, \dot{Q}_P, \dot{Q}_W, \dot{Q}_S) > \dot{Q}_T$$

$$g_{Zu} < g_R$$

$$g_{Au} < \text{oder} \geq g_R$$

Entfeuchtungslast



$$\sum(X_P, X_W) = X_R = X_{Zu}$$

Abbildung 3.2.1.1/1: Energieflussbilder der thermischen und hygrischen Lasten in der OP-Abteilung

Zum Ausgleich dieser Lasten müssen somit die Zuluftzustände beeinflusst werden. Die Lasten selbst sind Energie- bzw. Stoffströme. Die Beleuchtungs-, Geräte- und Maschinenlasten stellen direkte Energieverbräuche dar. Daneben wird jedoch von der RLT- Anlage Energie in erheblichem Umfang verbraucht, da die Anlage für die OP-Abteilung i. W. mit Außenluft betrieben wird und sich die Außenluftzustände i. d. R. wesentlich von den erforderlichen Zuluftzuständen unterscheiden. Die Außenluft muss somit thermisch und hygrisch aufbereitet werden. Wie noch zu zeigen ist, überschreitet der hierfür erforderliche energetische Aufwand die in den Räumen entstehenden Lasten u. U. um ein Mehrfaches.

Bezüglich der Struktur des Energieverbrauches muss grundlegend zwischen den OP-Sälen einerseits und den OP-Nebenräumen andererseits unterschieden werden, da die thermischen Bedingungen erheblich voneinander abweichen:

	OP-Saal	OP-Nebenräume
Außenluftmenge	Sehr hoch	Hoch
Luftwechselrate	Sehr hoch	Durchschnittlich
Zuluftvolumenstrom	Sehr hoch	Durchschnittlich
Beleuchtungsstärke	Sehr hoch	Hoch
Maschinen- und Geräteabwärme	Hoch	Durchschnittlich
Personenwärme	Gering	gering
Solare Lasten	Gering	z. T. sehr hoch
Hygrische Lasten	Gering	z. T. sehr hoch

Tabelle 3.2.1.1/1: Qualitative Bewertung der lufttechnischen Daten und Lasten in OP-Sälen und OP-Nebenräumen

Nachfolgend werden die Strukturen des Energieverbrauches für OP-Säle und OP-Nebenräume getrennt aufgezeigt. Die Ergebnisse werden zusammengefasst und gemeinsam bewertet.

3.2.2 OP-Saal

3.2.2.1 Energieverbrauch OP-Saal

Um zu einer allgemeinen Aussage zu gelangen, ist es zunächst notwendig, einen Referenz-OP-Saal einschließlich seiner technischen und bauphysikalischen Daten zu definieren. Er dient dazu, die energetischen Strukturen abzubilden und aufzuzeigen und ist ein Muster für häufig anzutreffende OP-Säle. Als Referenz-Grundriss dient Abb. 3.2.1/1.

Der Raum ist quadratisch, innen liegend und hat keine Außenfenster. Raumluft-Sollzustand während des Betriebes nach DIN 1946/4 (03/1999), Tab. 2, Zeile 1.1:

$$\vartheta_R = 22 \text{ °C} - 26 \text{ °C}$$

$$\varphi_R = \text{max. 65 \% relative Luftfeuchtigkeit}$$

$$X_R = \text{max. 11,5 g/(kg trockene Luft) absolute Luftfeuchtigkeit}$$

Für die weiteren Betrachtungen wird angesetzt:

Raumtemperatur	$\vartheta_R = 24 \text{ °C}$
Relative Luftfeuchtigkeit im Raum	$\varphi_R = 50 \text{ \%}$
Absolute Luftfeuchtigkeit im Raum	$X_R = 9,8 \text{ g/(kg trockene Luft)}$
Spezifische Enthalpie der Raumluft	$h_R = 49,0 \text{ kJ/kg}$
Raumtemperatur der Umgebungsräume	$\vartheta_{RU} = 15 \text{ °C}$
Raubbreite	$b_R = 6,67 \text{ m}$
Raumlänge	$l_R = 6,67 \text{ m}$
Raumhöhe	$H_R = 3,00 \text{ m}$
Fläche des Raumes	$A_R = 44,5 \text{ m}^2$

Der Raum hat drei Türen zu Nachbarräumen,

Türgröße: $b_{IT} \times H_{IT} = 1,25 \text{ m} \times 2,10 \text{ m}$

Heizkörper sind nicht vorhanden.

Heizlast

Wärmedurchgangszahl Innenwände	$U_{IW} = 1,4 \text{ W/(m}^2\text{K)}$
Wärmedurchgangszahl Fußboden	$U_{FB} = 1,2 \text{ W/(m}^2\text{K)}$
Wärmedurchgangszahl Decke	$U_{DE} = 1,2 \text{ W/(m}^2\text{K)}$
Wärmedurchgangszahl Türen	$U_{IT} = 2,0 \text{ W/(m}^2\text{K)}$

Die Transmissionslast ist die Summe des Wärmeverlustes über die Umgebungsflächen des Raumes:

$$\dot{Q}_T = \dot{Q}_{IW} + \dot{Q}_{IT} + \dot{Q}_{DE} + \dot{Q}_{FB}$$

(1)

$$\dot{Q}_{IW} = \text{Heizlast über die Innenwände}$$

$$\dot{Q}_{DE} = \text{Heizlast über die Decken}$$

$$\dot{Q}_{IT} = \text{Heizlast über die Innentüren}$$

$$\dot{Q}_{FB} = \text{Heizlast über die Fußböden}$$

$$\dot{Q}_{IW} = (4 \cdot l_R \cdot H_R - 3 \cdot b_{IT} \cdot H_{IT}) \cdot U_{IW} \cdot (\vartheta_R - \vartheta_{RU})$$

$$\dot{Q}_{IW} = 895 \text{ W}$$

$$\dot{Q}_{IT} = 3 \cdot b_{IT} \cdot H_{IT} \cdot U_{IT} \cdot (g_R - g_{RU})$$

$$\dot{Q}_{IT} = 142 \text{ W}$$

$$\dot{Q}_{DE} = \dot{Q}_{FB} = \dot{Q}_{DE/FB} = 2 \cdot A_R \cdot U_{DE/FB} \cdot (g_R - g_{RU})$$

$$\dot{Q}_{DE/FB} = 961 \text{ W}$$

$$\dot{Q}_T = Q_{IW} + Q_{IT} + Q_{DE/FB}$$

$$\underline{\dot{Q}_T = 1.998 \text{ W}}$$

Diese Heizlast muss über die RLT-Anlage gedeckt werden, solange kein Ausgleich durch innere Wärmequellen erfolgt.

Beleuchtung – Allgemeinbeleuchtung

Zur Bestimmung der durch die Beleuchtung verursachten thermischen Belastung des OP-Saales muss die Anzahl der Leuchten und deren elektrische Leistung ermittelt werden. Hierzu wird eine Beleuchtungsberechnung für die Allgemeinbeleuchtung auf der Grundlage von DIN 5035/4 (09/1988) durchgeführt.

Ausgangsdaten:

Raumhöhe $H_R = 3,00 \text{ m}$

Fläche des Raumes $A_R = 44,5 \text{ m}^2$

Höhe der Bewertungsebene $e = 0,85 \text{ m}$

Nennbeleuchtungsstärke nach DIN 5035 /3 (09/1988), Nr. 3.4.1 $E_n = 2.000 \text{ lx}$

Grundfläche: Nach DIN 5035/3 (09/1988), Nr. 3.4.1 soll die Nennbeleuchtungsstärke in einer Fläche von mindestens 3,0 m x 3,0 m um den OP-Tisch erreicht werden.

Gewählt: $A_G = 4,0 \text{ m} \times 4,0 \text{ m} = 16,0 \text{ m}^2$

Referenzleuchte: Reinraumleuchte der Fa. TRILUX, Typ 7204T/3x18

Anzahl der Lampen je Leuchte $Z = 3$

Elektrische Leistung je Lampe $P_{ell} = 18 \text{ W}$

Lichtstrom je Lampe (lampenspezifisch) $\Phi = 1.200 \text{ lm}$

Reflexionsgrad (leuchtenspezifisch) $\eta_B = 0,7 = 70 \%$

Multiplikator (leuchtenspezifisch) $M = 1,61$

Verminderungsfaktor (leuchtenspezifisch) $v = 0,8$

Anzahl der Leuchten:

$$n = \frac{E_n \cdot A_G \cdot 100 \% \cdot v}{Z \cdot \Phi \cdot \eta_B \cdot M} \quad (2)$$

$$n = \frac{500 \text{ lx} \cdot 16,0 \text{ m}^2 \cdot 100 \% \cdot 0,8}{3 \cdot 1.200 \text{ lm} \cdot 70 \% \cdot 1,61}$$

$$n = 9,85$$

gewählt: $n = 10$

Im OP-Saal werden 10 Leuchten benötigt, um die erforderliche mittlere Beleuchtungsstärke zu erreichen. Unter Berücksichtigung der Alterung der Leuchten wird durch Umstellen von Gl. (2) die mittlere Nennbeleuchtungsstärke ermittelt:

$$E = \frac{n \cdot Z \cdot \Phi \cdot \eta_B \cdot M \cdot v}{A_G \cdot 100 \%}$$

$$E = \frac{10 \cdot 3 \cdot 1.200 \text{ lm} \cdot 70 \% \cdot 1,61 \cdot 0,8}{16 \text{ m}^2 \cdot 100 \%}$$

$$\underline{E = 2.028,6 \text{ lx}}$$

Die mittlere Nennbeleuchtungsstärke im Umfeld um den OP-Tisch wird auch bei maximaler Leuchtminderung durch Alterung erreicht. Die elektrische Anschlussleistung für die Allgemeinbeleuchtung beträgt:

$$P_{elA} = n \cdot Z \cdot P_{elL}$$

$$P_{elA} = 10 \cdot 3 \cdot 18 \text{ W}$$

$$\underline{P_{elA} = 540 \text{ W}}$$

Beleuchtung – OP-Feldbeleuchtung

Die OP-Feldbeleuchtung wird mit Spezialleuchten über dem OP-Tisch realisiert. Die Leuchte ist an dreidimensional verstellbaren Gelenkarmen an einem Stativ befestigt, das den Zuluftschirm durchdringt und an der statisch tragenden Decke befestigt ist. Die Leuchte kann dadurch sehr genau auf das OP-Feld ausgerichtet werden. Es handelt sich um hocheffiziente Leuchten, die eine relativ geringe Anschlussleistung haben, z. B. Hersteller/Typ: Trumpf / Helion L.

Elektrische Anschlussleistung:

$$P_{elOP} = 180 \text{ W}$$

$$\underline{P_{elOP} = 200 \text{ W (gerundet)}}$$

Geräte

Die elektrischen Anschlussleistungen der eingesetzten Geräte und Apparate sind sehr unterschiedlich. Es werden kleine Geräte zur Überwachung einzelner Funktionen mit nur sehr geringen Leistungen bis hin zu großen Monitoren, die mehrere hundert Watt elektrische Leistung haben, verwendet. Nicht alle Geräte sind bei allen Operationen im Einsatz. Die Belastung des Raumes durch Geräte und Apparate ist dadurch ebenfalls sehr unterschiedlich. Für die weiteren Betrachtungen wird deshalb von einer pauschalisierten Belastung ausgegangen.

$$\underline{P_{el} = 2.000 \text{ W}}$$

Personen

Die im OP-Saal anwesenden Personen verursachen ebenfalls eine thermische Belastung. In VDI 2078 (02/2003), Tab. A1 wird für 24 °C Raumtemperatur eine Gesamtwärmeabgabe von 115 W/Person und eine trockene Wärmeabgabe von 75 W/Person angegeben. Die Personen halten sich jedoch nicht konstant während der

gesamten Betriebszeit im OP-Saal auf, sodass die Wärmeabgabe der Personen nicht kontinuierlich entsteht. Die Anzahl der Personen ist unterschiedlich und hängt von der Art der Operation ab.

Es wird deshalb von durchschnittlich 6 Personen ausgegangen, von denen jede eine durchschnittliche Wärmeabgabe von 60 W verursacht, gesamt also

$$\dot{Q}_{iP} = 360 \text{ W}$$

Zuluftvolumenstrom

Der Zuluftvolumenstrom für den OP-Saal bestimmt sich aus der Größe des Zuluftschirmes und der Ausblasgeschwindigkeit der Luft. Der Zuluftschirm muss so groß sein, dass er den OP-Tisch und die am Patienten arbeitenden Personen einschließlich des Instrumententisches abdeckt:

Länge des Zuluftschirmes:	$l_{Sch} = 2,80 \text{ m}$
Breite des Zuluftschirmes:	$b_{Sch} = 2,20 \text{ m}$
Ausblasgeschwindigkeit:	$v = 0,22 \text{ m/s}$

Damit ergibt sich der Zuluftvolumenstrom wie folgt:

$$\dot{V} = l_{Sch} \cdot b_{Sch} \cdot v \quad (5)$$

$$\dot{V} = l_{Sch} \cdot b_{Sch} \cdot v = 2,80 \text{ m} \cdot 2,20 \text{ m} \cdot 0,22 \text{ m/s}$$

$$\dot{V} = 1,36 \text{ m}^3/\text{s} = 4,896 \text{ m}^3/\text{h}$$

Die Luftwechselzahl des OP-Saales beträgt dann

$$LW = \frac{4,896 \text{ m}^3/\text{h}}{44,5 \text{ m}^2 \cdot 3,0 \text{ m}} = 36,67 \text{ h}^{-1}$$

$$\underline{LW = 37 \text{ h}^{-1}}$$

Solche Luftwechselzahlen werden auch in realen Anlagen von OP-Räumen gefahren. Sie liegen in der Regel über 30 h^{-1} , um eine intensive Raumdurchspülung und ausreichende Ableitung von Schadstoffen, Partikeln und Keimen zu gewährleisten. So hohe Luftwechselzahlen lassen sich zugfrei nur realisieren, wenn die Zuluft mit nahezu laminarer Strömung in den Raum eingebracht wird. Mit turbulenten Induktionsströmungen kann dies nicht geleistet werden.

Mit den so bestimmten Ausgangsdaten kann der thermische und elektrische Energieverbrauch des OP-Saales bestimmt werden. Die hier entwickelten und angewendeten Verfahren lassen sich auf die Bestimmung des Energieverbrauches in anderen Teilen des Krankenhauses übertragen.

Energieverbrauch für die thermische Luftaufbereitung

Ausgangspunkt ist zunächst die Heizlast bei einer Norm-Ausstemperatur von $\vartheta_{Au} = -12 \text{ °C}$ (s. o.).

$$\dot{Q}_{TI2} = 1.998 \text{ W}$$

Die Heizlast wird bei steigenden Außentemperaturen geringer. Dieser Umstand wird berücksichtigt, indem die Norm-Heizlast mit dem Verhältnis der Differenz zwischen Raum- und beliebiger Außentemperatur sowie der Differenz zwischen Raum- und Norm-Außentemperatur multipliziert wird. Dadurch ergibt sich die Heizlast bei beliebiger Außentemperatur.

Tagbetrieb

$$\dot{Q}_{T9AUT} = \dot{Q}_{TI2} \cdot \frac{\vartheta_{RT} - \vartheta_{AUT}}{\vartheta_{RT} - (-12 \text{ °C})} \quad (6)$$

Nachtbetrieb

$$\dot{Q}_{T9AUN} = \dot{Q}_{TI2} \cdot \frac{\vartheta_{RN} - \vartheta_{AUN}}{\vartheta_{RN} - (-12 \text{ °C})} \quad (7)$$

In einem weiteren Schritt sind die inneren Kühllasten zu bestimmen, da sie die Heizlast des Raumes vermindern. Sie betragen (s. o.):

Innere Kühllasten Tagbetrieb

Allgemeine Beleuchtung	$\dot{Q}_{ielBa} =$	540 W
OP-Feld-Beleuchtung	$\dot{Q}_{ielBOP} =$	150 W
Geräte/Maschinen	$\dot{Q}_{ielM} =$	2.000 W
Personen	$\dot{Q}_{iP} =$	360 W
Summe Innere Kühllasten Tagbetrieb	$\dot{Q}_{KiT} =$	<u>3.050 W</u>

Äußere Kühllasten treten nicht auf, da der Raum innen liegend ist. Im Nachtbetrieb fallen ebenfalls keine inneren Kühllasten an, weil dann der OP-Betrieb ruht und keine Geräte und Beleuchtungen in Betrieb sind.

Die flächenbezogenen spezifischen inneren Kühllasten betragen im

Tagbetrieb	Nachtbetrieb
$q_T = \frac{3.050 \text{ W}}{44,5 \text{ m}^2} = 68,5 \text{ W/m}^2$	$q_N = 0 \text{ W/m}^2$

Weitere wesentliche Bestimmungsfaktoren sind die Betriebszeiten der RLT-Anlage. Hier muss zwischen Tag- und Nachtbetrieb differenziert werden, da die Luftmengen reduziert werden, wenn der OP-Saal nicht benutzt wird. Als Nachtbetrieb werden alle Zeiten, in denen der OP-Betrieb ruht, definiert, also auch Wochenenden und Feiertage. Für den Tagbetrieb sind die Anzahl der monatlichen

Arbeitstage und die arbeitstägliche Betriebszeit maßgeblich. Folgende Arbeits- und Kalendertage werden angesetzt:

	Anzahl der Kalendertage $\frac{n}{1/\text{Mo}}$	Stunden pro Kalendertag $\frac{t_d}{\text{h/d}}$	Gesamtstunden pro Monat $\frac{t_{Mo}}{\text{h/Mo}}$	Anzahl der Arbeitstage pro Monat $\frac{n_{Arb}}{1/\text{Mo}}$	Nutzungszeit pro Arbeitstag $\frac{t_{dT}}{\text{h/n}_{Arb}}$	Nutzungszeit pro Monat Tagbetrieb $\frac{t_{TMo}}{\text{h/Mo}}$	Nutzungszeit pro Monat Nachtbetrieb $\frac{t_{NMo}}{\text{h/Mo}}$
Januar	31	24	744	21	12	252	492
Februar	28	24	672	20	12	240	432
März	31	24	744	23	12	276	468
April	30	24	720	20	12	240	480
Mai	31	24	744	19	12	228	516
Juni	30	24	720	21	12	252	468
Juli	31	24	744	22	12	264	480
August	31	24	744	22	12	264	480
September	30	24	720	22	12	264	456
Oktober	31	24	744	21	12	252	492
November	30	24	720	21	12	252	468
Dezember	31	24	744	20	12	240	504
Summe	365 d/a		8.760 h/a			3.024 h/a	5.736 h/a

Tabelle 3.2.2.1/1: Arbeits- und Nutzungszeiten OP-Saal

Nutzungszeit Tagbetrieb

$$t_T = \sum(n_{Arb} \cdot t_{dT}) \quad (8)$$

Nutzungszeit Nachtbetrieb

$$t_N = \sum(n \cdot t_d) - \sum(n_{Arb} \cdot t_{dT}) \quad (9)$$

Anlagen-Betriebszeit: 6:00 Uhr – 18:00 Uhr = 12 Stunden

Zuluftvolumenstrom Tagbetrieb

$$\dot{V}_{ZUT} = 4.896 \text{ m}^3/\text{h} = 1,36 \text{ m}^3/\text{s}$$

Zuluftvolumenstrom Nachtbetrieb

$$\dot{V}_{ZUN} = 0,5 \cdot \dot{V}_{ZUT} = 0,5 \cdot 4.896 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\dot{V}_{ZUN} = 0,68 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\rho_{ZUT} = 1,165 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho_{ZUN} = 1,160 \text{ kg/m}^3$$

Die Lastbilanz des Raumes ist die Differenz zwischen der Heiz- und Kühllast.

Lastbilanz Tagbetrieb

$$\dot{Q}_{KT} = \dot{Q}_{T9AUT} - \dot{Q}_{KiT} \quad (10)$$

Lastbilanz Nachtbetrieb

$$\dot{Q}_{KN} = \dot{Q}_{T9AUN} - \dot{Q}_{KiN} \quad (11)$$

Die im Raum anliegende Last muss von der RLT-Anlage ausgeglichen bzw. abgeführt werden. Hierfür gilt:

$$\dot{Q}_K = \dot{m}_{ZU} \cdot (h_R - h_{ZU}) = \dot{V}_{ZU} \cdot \rho_{ZU} \cdot (h_R - h_{ZU})$$

Durch Auflösen und Umstellen ergibt sich die erforderliche Enthalpiedifferenz zwischen Zuluft und Raumluft.

$$\boxed{h_{ZU} = h_R - \frac{\dot{Q}_K}{\dot{V}_{ZU} \cdot \rho_{ZU}}} \quad (12)$$

und

$$\Delta h = \frac{\dot{Q}_K}{\dot{V}_{ZU} \cdot \rho_{ZU}}$$

Tagbetrieb

$$\Delta h_T = \frac{\dot{Q}_{KT}}{\dot{m}_{ZUT}} = \frac{\dot{Q}_{KT}}{\dot{V}_{ZUT} \cdot \rho_{ZUT}}$$

Nachtbetrieb

$$\Delta h_N = \frac{\dot{Q}_{KN}}{\dot{m}_{ZUN}} = \frac{\dot{Q}_{KN}}{\dot{V}_{ZUN} \cdot \rho_{ZUN}}$$

Heizleistung zur Erwärmung des Zuluftvolumenstromes

Tagbetrieb

$$\dot{Q}_{HZUT} = \dot{m}_{ZUT} \cdot \Delta h_T = \dot{m}_{ZUT} \cdot (h_{ZUT} - h_{AUT}) = \dot{V}_{ZUT} \cdot \rho_{ZUT} \cdot (h_{ZUT} - h_{AUT})$$

Nachtbetrieb

$$\dot{Q}_{HZUN} = \dot{m}_{ZUN} \cdot \Delta h_N = \dot{m}_{ZUN} \cdot (h_{ZUN} - h_{AUN}) = \dot{V}_{ZUN} \cdot \rho_{ZUN} \cdot (h_{ZUN} - h_{AUN})$$

Erforderliche Heizenergie

Tagbetrieb

$$Q_{UT} = \dot{Q}_{HZUT} \cdot t_T \cdot \psi$$

Nachtbetrieb

$$Q_{UN} = \dot{Q}_{HZUN} \cdot t_N \cdot \psi$$

ψ = Rückwärmefaktor

Mit diesen Ausgangsgrößen kann die Grundgleichung zur Ermittlung des Energieverbrauches für die thermische Aufbereitung der Zuluft bestimmt werden. Der Energieverbrauch ist das Produkt aus dem Zuluftmassenstrom, der Enthalpiedifferenz zwischen dem Außen- und Zuluftzustand, der Betriebszeit und dem Rückwärmefaktor.

$$Q_U = \dot{V}_{ZU} \cdot \rho \cdot (h_{ZU} - h_{Au}) \cdot t \cdot \psi$$

Durch Einsetzen von Gl. (12) erhalten wir

$$Q_U = \dot{V}_{ZU} \cdot \rho_{ZU} \cdot \left(\left(h_R - \frac{\dot{Q}_K}{\dot{V}_{ZU} \cdot \rho_{ZU}} \right) - h_{Au} \right) \cdot t \cdot \psi$$

Weiter wird die im Raum anliegende Last \dot{Q}_K als Differenz zwischen Heizlast \dot{Q}_{T9AU} und der inneren Kühllast \dot{Q}_{Ki} abgebildet, da die Heizlast durch die Kühllast reduziert wird (vgl. Gl. (10), (11)).

$$Q_U = \dot{V}_{ZU} \cdot \rho_{ZU} \cdot \left(\left(h_R - \frac{\dot{Q}_{T9AU} - \dot{Q}_{Ki}}{\dot{V}_{ZU} \cdot \rho_{ZU}} \right) - h_{Au} \right) \cdot t \cdot \psi$$

Die Heizlast \dot{Q}_{T9AU} ist jedoch von der Außentemperatur abhängig, da die Räume bei steigenden Außentemperaturen weniger Wärme verlieren. Wenn ϑ_R und ϑ_{AU} gleich sind, ist die Heizlast Null, sodass dann nur noch Kühllast anliegt. Durch Einsetzen der allgemeinen Form von Gleichung (10) oder (11) für \dot{Q}_{T9AU} wird dieser Umstand abgebildet. Er beinhaltet eine Ungenauigkeit, da die Heizlast nicht ausschließlich von der Außentemperatur abhängig ist. Die Gewichtung der Heizlast \dot{Q}_{T9AU} bei der Bestimmung des Energieverbrauches für die Luftaufbereitung ist jedoch, wie sich zeigen wird, sehr gering, sodass der damit verbundene Fehler vernachlässigt werden kann. Damit ergibt sich die Grundgleichung zur Bestimmung des Energieverbrauches für die thermische Luftaufbereitung:

$$Q_U = \dot{V}_{ZU} \cdot \rho_{ZU} \cdot \left(h_R - \frac{\dot{Q}_{T12} \cdot \frac{\vartheta_R - \vartheta_{AU}}{\vartheta_R - (-12\text{ °C})} - \dot{Q}_{Ki}}{\dot{V}_{ZU} \cdot \rho_{ZU}} \right) - h_{AU} \cdot t \cdot \psi \quad (13)$$

Es muss zwischen Tag- und Nachtbetrieb unterschieden werden:

Tagbetrieb

$$\begin{aligned} \dot{V}_{ZUT} &= 1,36 \text{ m}^3/\text{s} & \vartheta_{RT} &= 24\text{ °C} \\ \rho_{ZUT} &= 1,165 \text{ kg/m}^3 & \dot{Q}_{KiT} &= 3,05 \text{ kW} \\ h_{RT} &= 49 \text{ kJ/kg} & \psi &= 0,5 \\ \dot{Q}_{T12} &= 1,998 \text{ kW} \end{aligned}$$

$$Q_{UT} = \dot{V}_{ZUT} \cdot \rho_{ZUT} \cdot \left(h_{RT} - \frac{\dot{Q}_{T12} \cdot \frac{\vartheta_{RT} - \vartheta_{AUT}}{\vartheta_{RT} - (-12\text{ °C})} - \dot{Q}_{KiT}}{\dot{V}_{ZUT} \cdot \rho_{ZUT}} \right) - h_{AUT} \cdot t_T \cdot \psi \quad (14)$$

Nachtbetrieb

$$\begin{aligned} \dot{V}_{ZUN} &= 0,68 \text{ m}^3/\text{s} & \vartheta_{RN} &= 20\text{ °C} \\ \rho_{ZUN} &= 1,160 \text{ kg/m}^3 & \dot{Q}_{KiN} &= 0,00 \text{ kW} \\ h_{RN} &= 35 \text{ kJ/kg} & \psi &= 0,5 \\ \dot{Q}_{T12} &= 1,998 \text{ kW} \end{aligned}$$

$$Q_{UN} = \dot{V}_{ZUN} \cdot \rho_{ZUN} \cdot \left(h_{RN} - \frac{\dot{Q}_{T12} \cdot \frac{\vartheta_{RN} - \vartheta_{AUN}}{\vartheta_{RN} - (-12\text{ °C})} - \dot{Q}_{KiN}}{\dot{V}_{ZUN} \cdot \rho_{ZUN}} \right) - h_{AUN} \cdot t_N \cdot \psi \quad (15)$$

Mit spezifischen monatlichen Durchschnittswerten für die Temperatur und die absolute Feuchtigkeit der Außenluft nach DIN 4710 (11/1982) werden die Enthalpien für Tag- und Nachtbetrieb bestimmt und die durchschnittlichen Monatsverbräuche ermittelt. Referenzort ist Essen.

	Tagbetrieb					Nachtbetrieb				
	Außen- luft- tem- peratur	relative Luft- feuch- tig- keit	Außen- luft- thalpie	Be- triebs- zeit	Energie- ver- brauch therm. Luft- auf- bereitung	Außen- luft- tem- peratur	relative Luft- feuch- tig- keit	Außen- luft- thalpie	Be- triebs- zeit	Energie- ver- brauch therm. Luft- auf- bereitung
	°C	%	$\frac{\text{kJ}}{\text{kg tr. Luft}}$	h/Mo	kWh/Mo	°C	%	$\frac{\text{kJ}}{\text{kg tr. Luft}}$	h/Mo	kWh/Mo
Januar	1,95	84	10,9	252	7.836	1,45	85	10,9	492	4.411
Februar	2,64	79	11,8	240	7.297	1,88	82	11,8	432	3.845
März	5,93	72	16,3	276	7.432	4,58	87	16,3	468	3.503
April	10,17	64	22,9	240	5.236	7,33	77	22,9	480	2.650
Mai	14,27	62	30,5	228	3.628	11,93	74	30,5	516	1.335
Juni	17,48	62	37,8	252	2.575	14,00	78	37,8	468	97
Juli	18,53	63	41,3	264	1.973	15,38	81	41,3	480	-467
August	18,24	62	41,2	264	1.992	15,13	83	41,2	480	-433
September	16,02	70	36,5	264	2.958	13,13	84	36,5	456	244
Oktober	11,72	77	28,5	252	4.391	9,8	86	28,5	492	1.590
November	6,28	82	18,8	252	6.289	5,38	87	18,8	468	2.961
Dezember	3,08	84	13,5	240	6.976	2,49	86	13,5	504	4.197
Summe					58.583					23.933

Tabelle 3.2.2.1/2: Energieverbrauch für die thermische Luftaufbereitung, durchschnittliche monatliche Außenlufttemperaturen, relative Luftfeuchtigkeiten, und –enthalpien für Essen, bestimmt nach DIN 4710 (11/1982)²⁷

Die Summierung ergibt den Gesamt-Jahresenergieverbrauch für die thermische Aufbereitung der Zuluft. Er liegt bei $Q_{UH} = 82.516 \text{ kWh/a}$.

Einflussfaktoren hierauf, die durch den baulichen Entwurf bestimmt oder verändert werden können, sind die Heizlast \dot{Q}_{T12} und die Gesamtkühlleistung \dot{Q}_K . Liegt der OP-Saal an einer Außenwand oder hat er transparente Außenflächen, durch die solare Gewinne in die Raumbilanz eingehen, verändern sich die Ausgangswerte entsprechend. Transparente Außenflächen haben neben der Erhöhung der Kühlleistung auch funktionale Nachteile. Die gleichmäßige Ausleuchtung des OP-Saales wird durch direkte Sonneneinstrahlung beeinträchtigt. Es entstehen Helligkeitskontraste, die die Konzentrationsfähigkeit des Personals beeinträchtigen und eine Blendwirkung erzeugen. Diese Faktoren sprechen gegen Außenfenster im OP-Saal.

Andererseits sprechen arbeitsphysiologische Gründe für einen Blickkontakt nach außen. Häufiges und längeres Arbeiten im OP-Saal, wie es bei OP-Personal üblich ist, führt ansonsten u. U. zu Störungen des Biorhythmus. Darüber hinaus kann es für den psychischen Zustand eines wachen Patienten im OP-Saal besser sein, wenn er die Möglichkeit hat, die Außenwelt zu erfassen.

²⁷ DIN 4710, Ausgabe 11/1982

Die Frage, ob Außenfenster vorgesehen werden, sollte deshalb bei der Planung eines OP-Saals unter diesen Aspekten mit dem Nutzer zusammen entschieden werden. Sofern Fenster eingebaut werden, sind auf jeden Fall Verdunkelungs- und Abblendmöglichkeiten erforderlich. Um den Eintrag von solaren Lasten zu vermeiden, können auch Räume mit Durchsichtmöglichkeit zwischengeschaltet werden, z. B. der Waschraum.

In welchem Umfang eine Erhöhung der thermischen Lasten den Energieverbrauch für die thermische Aufbereitung der Zuluft beeinflusst, zeigt die Variation der Parameter. Dabei werden die Parameter \dot{Q}_{T12} und \dot{Q}_K nacheinander und einzeln verändert, wobei der jeweils andere Parameter nicht verändert wird. Mit Gleichung (14) und (15) wird dann der sich jeweils einstellende Gesamt-Jahresenergieverbrauch für die thermische Luftaufbereitung bestimmt. Auf diese Weise kann der Einfluss der Veränderung von \dot{Q}_{T12} und \dot{Q}_K durch den baulichen Entwurf abgebildet werden.

Ausgangswerte für die Berechnung des Gesamt-Jahresverbrauches:

Heizlast $\dot{Q}_{T12} = 1,998 \text{ kW}$

Kühllast $\dot{Q}_K = 3,05 \text{ kW}$

Gesamt-Jahresverbrauch $Q_{UH} = 82.516 \text{ kWh/a}$

\dot{Q}_K	\dot{Q}_T	Q_{UH}	Q_{UH}
kW	kW	kWh/a	%
1,500	1,998	80.173	97,16
2,000	1,998	80.929	98,08
2,500	1,998	81.685	98,99
3,00	1,998	82.441	99,91
3,050	1,998	82.516	100,00
3,500	1,998	83.197	100,83
4,000	1,998	83.953	101,74
4,500	1,998	84.709	102,66
5,000	1,998	85.465	103,57
3,050	1,000	84.101	101,92
3,050	1,500	83.307	100,96
3,050	1,998	82.516	100,00
3,050	2,000	82.513	99,99
3,050	2,500	81.719	99,03
3,050	3,000	80.929	98,08
3,050	3,500	80.132	97,11
3,050	4,000	79.338	96,15
3,050	5,000	77.750	94,22
3,050	6,000	76.163	92,30
3,050	7,000	74.575	90,38

Tabelle 3.2.2.1/3: Variation der Parameter \dot{Q}_{T12} und \dot{Q}_K

Bei einer Veränderung der Kühllast um 50 % nach unten und um 63,93 % nach oben schwankt der Energieverbrauch um lediglich 2,84 % bzw. 3,57 %. Auch die Reduktion der Heizlast durch Transmission \dot{Q}_{T12} hat nahezu keinen Einfluss auf den Energieverbrauch, die Erhöhung führt zu einer Reduktion. Ursächlich hierfür sind die inneren elektrischen Verbraucher, deren Energie im Raum verbleibt und zu einer Reduktion der Heizlast führt, die von der RLT-Anlage zu decken ist.

Es fällt auf, dass bei steigender Heizlast und konstanter Kühllast sowie bei sinkender Kühllast und konstanter Heizlast der Energieverbrauch, also bei steigender Differenz zwischen Heiz- und Kühllast, der Energieverbrauch sinkt. Aufgrund der hohen Luftwechselzahl des OP-Saales sind nur geringe Enthalpiedifferenzen zwischen Raum- und Zuluftzustand erforderlich. Darüber hinaus ist der Einfluss der Heizlast auf diese Differenz gering, da sie von der Außentemperatur abhängig ist, die im Monatsmittel relativ hoch ist. Die Kühllast ist also bestimmender Faktor bei der Ermittlung der Zuluftenthalpiedifferenz und die Zuluftenthalpie liegt im Mittel unter der Raumlufenthalpie. Die Enthalpiedifferenz zwischen Raum- und Zuluftzustand, in Gleichung (13) durch

$$\dot{Q}_{T12} \cdot \frac{\vartheta_R - \vartheta_{AU}}{\vartheta_R - (-12 \text{ °C})} - \dot{Q}_{Ki}$$

abgebildet, wird damit bei steigenden Differenzen größer, sodass die Zuluftenthalpie im Jahresmittel immer unter der Raumlufenthalpie liegt und der Energieverbrauch damit kleiner wird. Es zeigt sich, dass die Heiz- und Kühllasten allein keine Aussage über den zu erwartenden Energieverbrauch zulassen und eine Reihe anderer Faktoren, vor allem die Luftwechselzahl und die Luftmengen, wesentlich bestimmender sind. Der energetische Aufwand, der erforderlich ist, um die Außenluft auf den notwendigen Zuluftzustand zu bringen, ist erheblich höher, als der Aufwand, um die Lasten abzuführen.

Die Kühl- und Heizlasten des OP-Saales haben somit nur einen sehr geringen Einfluss auf den Energieverbrauch, der zur Deckung dieser Lasten erforderlich ist. Unter energetischen Gesichtspunkten ist der Architekt beim Entwurf und bei der Anordnung des Raumes im Gebäude frei. Auch externe Lasten, wie sie durch Außenfenster eingetragen werden, haben nur einen sehr geringen Einfluss auf den Energieverbrauch für die Luftaufbereitung. Die Frage der natürlichen Belichtung kann daher primär unter funktionalen und gestalterischen Gesichtspunkten und erst sekundär nach energetischen Kriterien entschieden werden.

elektrischer Energieverbrauch für Luftförderung

Der thermische Energieverbrauch ist jedoch nur ein Teil des Gesamt-Energieverbrauches der RLT-Anlage. Die elektrischen Antriebe bedürfen ebenfalls einer Betrachtung. Die elektrischen Ventilatorantriebe werden für die Förderung der Zuluft in den OP-Saal und der Abluft aus dem OP-Saal benötigt. Entscheidend für die benötigte Leistung sind die zu fördernden Luftmengen und der

hierfür notwendige Differenzdruck. Der von den Ventilatoren zu erbringende Differenzdruck muss mindestens so groß sein wie die Summe der Widerstände im gesamten Zu- bzw. Abluftsystem.

Es gilt:

$$Q_V = \dot{V} \cdot \Delta p \cdot t \cdot \frac{I}{\eta} \quad (16)$$

mit

Q_V = elektrischer Energieverbrauch für die Luftförderung

\dot{V} = Luftvolumenstrom

Δp = Differenzdruck des Ventilators

t = Betriebszeit

η = Wirkungsgrad = $\eta_V \cdot \eta_{el}$

η_V = Ventilatorwirkungsgrad = 0,75

η_{el} = Motorwirkungsgrad = 0,85

Da die Luftmengen bei Nichtbenutzung des OP-Saales reduziert werden, muss der Stromverbrauch von Voll- und Schwachlastbetrieb unterschieden werden. Die Summe ergibt den Gesamt-Stromverbrauch. Weiter ist zwischen den Stromverbräuchen für die Förderung des Zu- und Abluftvolumenstromes zu differenzieren. Damit ergibt sich:

$$Q_V = Q_{VZUT} + Q_{VABT} + Q_{VZUN} + Q_{VABN} \quad (17)$$

$$Q_V = \dot{V}_{ZUT} \cdot \Delta p_{ZUT} \cdot t_T \cdot \frac{I}{\eta} + \dot{V}_{ABT} \cdot \Delta p_{ABT} \cdot t_T \cdot \frac{I}{\eta} + \dot{V}_{ZUN} \cdot \Delta p_{ZUN} \cdot t_N \cdot \frac{I}{\eta} + \dot{V}_{ABN} \cdot \Delta p_{ABN} \cdot t_N \cdot \frac{I}{\eta} \quad (18)$$

$$Q_V = \frac{I}{\eta} \cdot ((t_T \cdot (\dot{V}_{ZUT} \cdot \Delta p_{ZUT} + \dot{V}_{ABT} \cdot \Delta p_{ABT})) + t_N \cdot (\dot{V}_{ZUN} \cdot \Delta p_{ZUN} + \dot{V}_{ABN} \cdot \Delta p_{ABN}))$$

Es gilt mit hinreichender Genauigkeit

$$\dot{V}_{ZUT} = \dot{V}_{ABT} = \dot{V}_T \quad \text{und} \quad \dot{V}_{ZUN} = \dot{V}_{ABN} = \dot{V}_N$$

sodass sich ergibt

$$Q_V = \frac{I}{\eta} \cdot (t_T \cdot (\dot{V}_T \cdot (\Delta p_{ZUT} + \Delta p_{ABT})) + t_N \cdot (\dot{V}_N \cdot (\Delta p_{ZUN} + \Delta p_{ABN}))) \quad (19)$$

Der Differenzdruck des Zuluftventilators ist aufgrund der größeren Anzahl von Bauteilen (Kühler, Erhitzer, Klappen) sowie wegen der hohen Widerstände der endständigen H-13-Filter erheblich höher als derjenige des Abluftventilators.

Darüber hinaus reduziert sich der Differenzdruck der Ventilatoren überproportional, wenn die Volumenströme im Schwachlastbetrieb reduziert werden. Bei Anwendung der Proportional- und Affinitätsgesetze für Ventilatoren gilt:

$$\boxed{\frac{\Delta p_1}{\Delta p_2} = \frac{\dot{V}_1^2}{\dot{V}_2^2} \quad \text{oder} \quad \frac{\Delta p_T}{\Delta p_N} = \frac{\dot{V}_T^2}{\dot{V}_N^2} = \left(\frac{\dot{V}_T}{\dot{V}_N}\right)^2} \quad (20)$$

$$\Delta p_N = \Delta p_T \cdot \left(\frac{\dot{V}_N}{\dot{V}_T}\right)^2$$

$$\Delta p_{ZUN} = \Delta p_{ZUT} \cdot \left(\frac{\dot{V}_N}{\dot{V}_T}\right)^2 \quad \text{und} \quad \Delta p_{ABN} = \Delta p_{ABT} \cdot \left(\frac{\dot{V}_N}{\dot{V}_T}\right)^2$$

Allgemein kann der Volumenstrom im reduzierten Betrieb mit Hilfe eines Reduktionsfaktors f_R und dem Volumenstrom im Normalbetrieb bestimmt werden. Die Anlagenbetriebszeit für reduzierten Betrieb wird aus den Gesamtjahresstunden abzüglich Normalbetriebszeit bestimmt. Die Anlage muss ohne Unterbrechung in Betrieb sein.

$$\dot{V}_N = \dot{V}_T \cdot f_R \quad \text{und} \quad t_N = 365 \text{ d/a} \cdot 24 \text{ h/d} - t_T$$

Durch Einsetzen in Gleichung (19) ergibt sich die allgemeine Gleichung zur Ermittlung des jährlichen Energieverbrauches für die Luftförderung.

$$Q_V = \frac{1}{\eta} \cdot (t_T \cdot \dot{V}_T \cdot (\Delta p_{ZUT} + \Delta p_{ABT}) + (365 \text{ d/a} \cdot 24 \text{ h/d} - t_T) \cdot \dot{V}_T \cdot f_R \cdot (\Delta p_{ZUT} \cdot \left(\frac{\dot{V}_T \cdot f_R}{\dot{V}_T}\right)^2 + \Delta p_{AB} \cdot \left(\frac{\dot{V}_T \cdot f_R}{\dot{V}_T}\right)^2))$$

$$\boxed{Q_V = \frac{1}{\eta} \cdot (t_T \cdot \dot{V}_T \cdot (\Delta p_{ZUT} + \Delta p_{ABT}) + (365 \text{ d/a} \cdot 24 \text{ h/d} - t_T) \cdot \dot{V}_T \cdot f_R \cdot (\Delta p_{ZUT} \cdot f_R^2 + \Delta p_{ABT} \cdot f_R^2))} \quad (21)$$

Mit den nachfolgenden Parametern wird der Verbrauch an elektrischer Energie der Ventilatorantriebe bestimmt.

$$\begin{aligned} \dot{V}_T &= 1,36 \text{ m}^3/\text{s} \\ \Delta p_{ZUT} &= 1.100 \text{ Pa} \\ \Delta p_{ABT} &= 800 \text{ Pa} \\ f_R &= 0,5 \\ \eta &= 0,64 \\ t_T &= 3.024 \text{ h/a} \end{aligned}$$

$$Q_V = \frac{1}{0,64} \cdot (3.024 \text{ h/a} \cdot 1,36 \text{ m}^3/\text{s} \cdot (1.100 \text{ Pa} + 800 \text{ Pa}) + (365 \text{ d/a} \cdot 24 \text{ h/d} - 3.024 \text{ h/a}) \\ \cdot 1,36 \text{ m}^3/\text{s} \cdot 0,5 \cdot (1.100 \text{ Pa} \cdot 0,5^2 + 800 \text{ Pa} \cdot 0,5^2)) \cdot \frac{1}{1.000}$$

$$\underline{Q_V = 15.104 \text{ kWh/a}}$$

Der Energieverbrauch der Ventilatoren hängt vom zu fördernden Luftvolumenstrom und dem zu erbringenden Differenzdruck ab. Der Volumenstrom ist durch den Entwurf des Architekten nicht veränderbar. Der Differenzdruck hängt maßgeblich von der Strömungsgeschwindigkeit der Luft in der Luftleitung ab. Müssen aufgrund enger Platzverhältnisse in den Technikbereichen kleine Querschnitte für die Luftleitungen gewählt werden, hat dies erhebliche Auswirkungen auf den Energieverbrauch.

Der Differenzdruck des Ventilators muss mindestens so groß sein wie die Summe der Widerstände im Luftsystem. Für den Gesamtwiderstand kann ein dimensionsloser Gesamt-Widerstandsbeiwert ζ definiert werden. Durch Anwendung der Gleichung von Bernoulli für die Strömung von Medien ergibt sich die Ausgangsgleichung für die Widerstandsbestimmung.

$$\Delta p = \zeta \cdot v^2 \cdot \frac{\rho}{2} \quad (22)$$

ζ und ρ sind konstant, sodass bei Änderungen der Strömungsgeschwindigkeit gilt:

$$\Delta p_1 = \zeta \cdot v_1^2 \cdot \frac{\rho}{2}$$

und nach der Erhöhung der Strömungsgeschwindigkeit

$$\Delta p_2 = \zeta \cdot v_2^2 \cdot \frac{\rho}{2}$$

Setzt man diese Gleichungen ins Verhältnis ergibt sich:

$$\frac{\Delta p_1}{\Delta p_2} = \frac{v_1^2}{v_2^2}$$

Für die Bestimmung des Differenzdruckes des Ventilators ergibt sich infolge einer Änderung der Strömungsgeschwindigkeit bei konstantem Volumenstrom

$$\Delta p_2 = \Delta p_1 \cdot \frac{v_2^2}{v_1^2} \quad (23)$$

In Niederdruck-RLT-Anlagen sollte die Strömungsgeschwindigkeit in den Luftkanälen gering sein. Dies hat mehrere Vorteile:

- Geringe Geräuschbildung durch Strömungsrauschen
- Geringe Wanddicken der RLT-Kanäle
- Keine besonderen Maßnahmen zur Aussteifung der Luftkanäle
- Verwendung von Standard-Bauteilen
- Geringere Leckluftstraten der RLT-Kanäle
- Geringere Investitionskosten
- Bessere Regelfähigkeit

Die Anlagen sollten deshalb mit nicht mehr als 3,0 m/s bis 4,0 m/s durchschnittlicher Strömungsgeschwindigkeit in den Luftkanälen ausgelegt werden.

Bei einer zu Grunde gelegten Ausgangs-Strömungsgeschwindigkeit von 3,5 m/s ergeben sich durch die Erhöhung der Strömungsgeschwindigkeit nachfolgende Widerstände und Energieverbräuche:

v m/s	v %	Δp_{ZUT} Pa	Δp_{ABT} Pa	Q_V kWh/a	Q_V %
1,5	42,8	202	147	2.274	15,1
2,0	57,1	359	261	4.929	32,6
2,5	71,4	561	408	7.703	50,9
3,0	85,7	808	588	11.098	73,5
3,5	100,0	1.100	800	15.104	100,0
4,0	114,3	1.437	1.045	19.731	130,6
4,5	128,6	1.818	1.322	24.962	165,3
5,0	142,9	2.245	1.633	30.829	204,1
5,5	157,1	2.716	1.976	37.300	246,9

Tabelle 3.2.2.1/4: Strömungsgeschwindigkeiten, Differenzdrücke und elektrische Energieverbräuche von Ventilatorantrieben

Im Diagramm ist die Abhängigkeit des Energieverbrauches von der Luftgeschwindigkeit als quadratische Funktion zu erkennen:

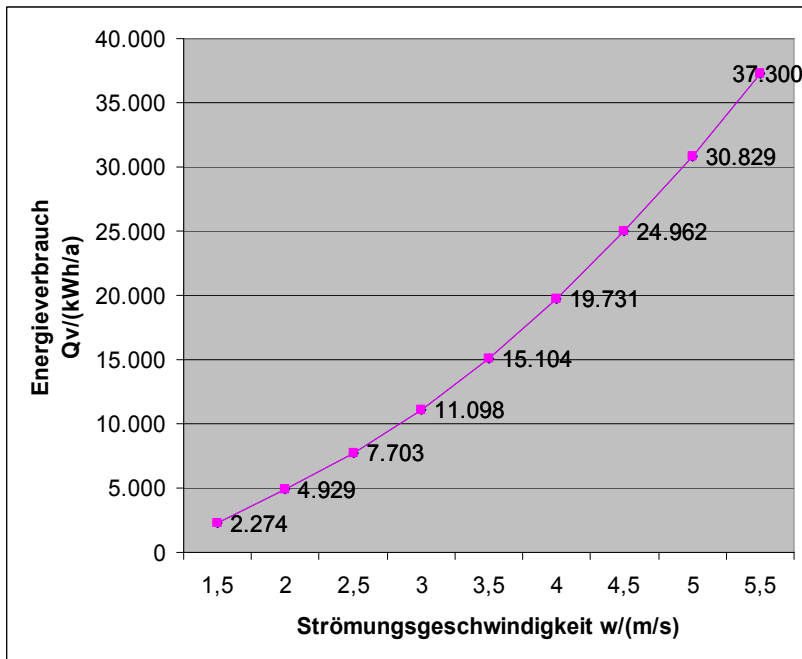


Abbildung 3.2.2.1/1: Energieverbrauch von Ventilatorantrieben in Abhängigkeit von den Strömungsgeschwindigkeiten im Luftkanal

Es besteht also ein Zusammenhang zwischen der Luftgeschwindigkeit im Kanal und dem Widerstand im Luftsystem, der vom Ventilator zu überwinden ist, und damit mit dem Energieverbrauch.

Für den Entwurf des Architekten bedeutet dies, dass ausreichend Platz für die technischen Installationen vorzusehen ist. Bei der hier zu Grunde liegenden Luftmenge von 4.496 m³/h und einer Luftgeschwindigkeit von 3,5 m/s ergibt sich ein Kanalquerschnitt von 0,39 m², der mit folgenden Kanalabmessungen realisiert werden kann:

A_K m ²	h mm	b mm	v m/s
0,40	630	630	3,43
0,38	600	630	3,60
0,40	560	710	3,42
0,40	530	750	3,42
0,40	500	800	3,40
0,39	450	850	3,56
0,38	400	950	3,58
0,38	355	1060	3,61

Tabelle 3.2.2.1/4:
Luftkanalquerschnitte, -
abmessungen und -
geschwindigkeiten
(h und b nach DIN 24190
(11/1985), Tab. 2²⁸)

²⁸ DIN 24190 Ausgabe 11/1985, Tab. 2

Ein gleichwertiges Rundrohr erfordert einen Durchmesser von 710 mm. Strömungsgünstige Querschnitte von eckigen Kanälen müssen ein $h:b$ -Verhältnis haben, das möglichst nahe bei 1 liegt. Der Platzbedarf für die technischen Installationen ist somit erheblich, wenn der elektrische Energieverbrauch gering sein soll.

Die lichte Höhe in OP-Sälen soll 3,0 m nicht unterschreiten, da ansonsten die OP-Feldbeleuchtung und die OP-Ampeln nicht bedarfsgerecht untergebracht werden können. Als Installationsraum für Raumluft-, Elektro-, Sanitär-, Heizungstechnik sowie die medizinischen Gase, etc. stehen im Wesentlichen die Hohlräume der abgehängten Decken zur Verfügung.

Ist die Höhe hier nicht ausreichend, müssen die Querschnitte der technischen Installationen verkleinert werden. Dies erfolgt vor allem bei der RLT-Anlage, da die Luftkanäle den größten Platzbedarf haben. Kleinere Kanalquerschnitte ziehen jedoch höhere Strömungsgeschwindigkeiten und damit erhöhte elektrische Anschlussleistungen und einen größeren Energieverbrauch nach sich. Für den Architekten ist es deshalb wichtig, bereits sehr früh ausreichende Abhängehöhen festzulegen und eine Trassierung der gebäudetechnischen Installationen vorzunehmen.

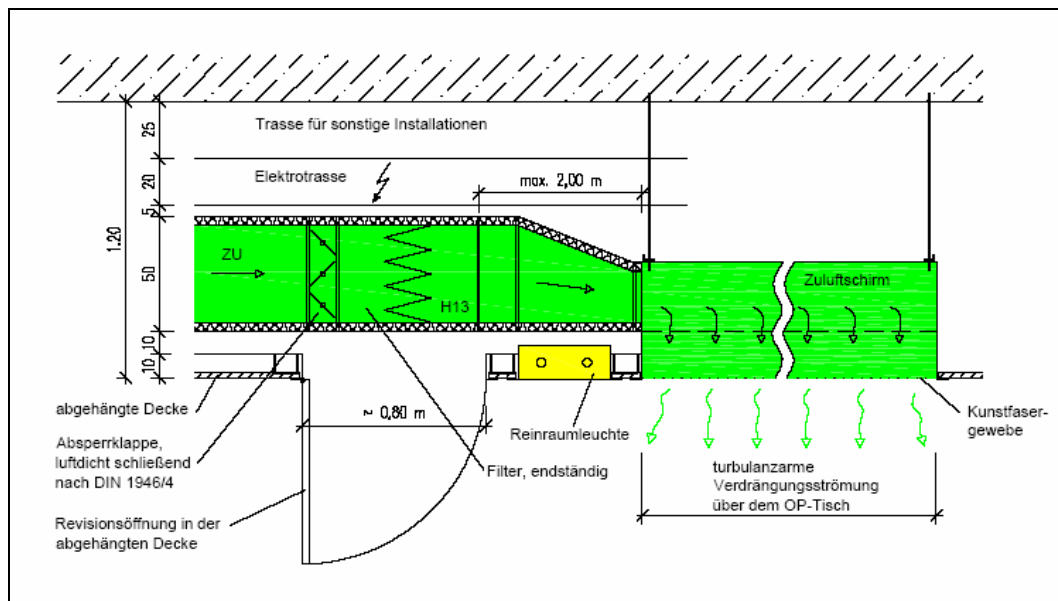


Abbildung 3.2.2.1/2: abgehängte Decke im OP-Raum, Revision von unten

Es ist ersichtlich, dass für die gebäudetechnischen Installationen ein erheblicher Platzbedarf entsteht. Sowohl die RLT-Anlage als auch die Beleuchtung und ggf. andere Installationen im Deckenhohlraum sind wartungspflichtige Anlagen. Nach jeder Wartung muss der OP-Raum wieder gereinigt und desinfiziert werden. Der Aufwand ist erheblich und ggf. mit einer Unterbrechung des OP-Betriebes verbunden. Gleiches gilt für die Störungsbeseitigung, die u. U. auch im laufenden OP-Betrieb erfolgen muss. Die technischen Installationen sollten deshalb so weit

wie möglich außerhalb des OP-Saales angeordnet werden und jederzeit, auch bei laufendem OP-Betrieb, begangen und inspiziert werden können. Hierfür kommen Installationsgeschosse oder druckdichte und begehbare abgehängte Decken in Betracht. Neben den Vorteilen für Wartung und Störungsbeseitigung steht dann auch ausreichend Platz für die technischen Anlagen zur Verfügung, sodass die Leitungsquerschnitte günstig bemessen werden können. Installationsgeschosse sollten so bemessen und ausgeführt werden, dass sie gleichzeitig die RLT-Zentrale bilden können. Damit werden die Leitungswege zu den zu versorgenden Bereichen minimiert.

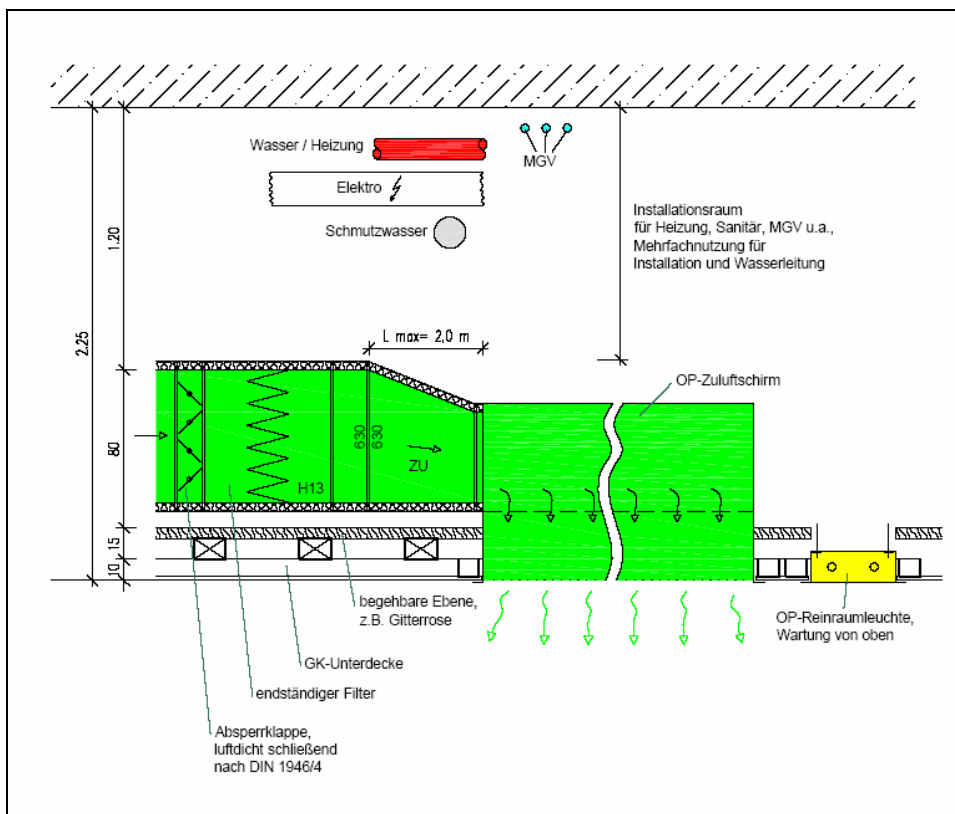


Abbildung 3.2.2.1/3: OP-Raum mit begehbare abgehängter Decke

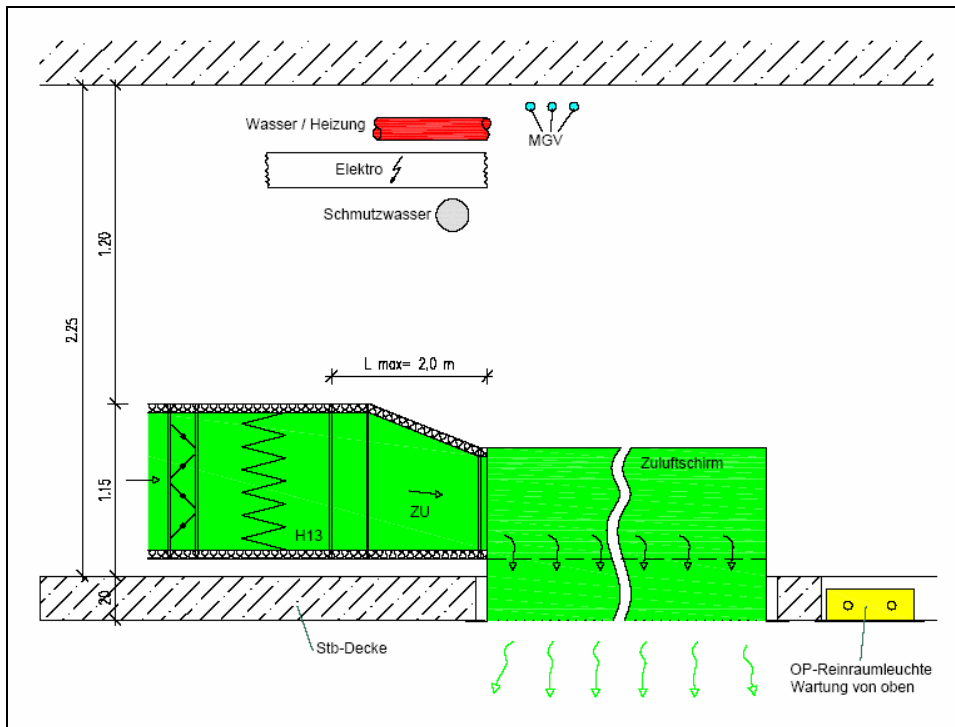


Abbildung 3.2.2.1/4: OP-Raum mit Stahlbeton-Zwischendecke
elektrischer Energieverbrauch für Beleuchtung

Aus arbeitsphysiologischen Gründen ist ein Tageslichtkontakt durch Fenster im OP-Saal wünschenswert, da die Arbeit ohne natürliche Belichtung nur für kurze Zeit zulässig ist²⁹. Natürliches Licht durch Fenster hat jedoch auch negative Effekte für die Arbeit im Operationssaal:

- Es ist mit Blendwirkungen zu rechnen.
- Die Beobachtung von Bildschirmen ist erschwert.
- Das Personal im OP-Saal wird ggf. von direkter Sonneneinstrahlung geblendet.
- Bei starkem Lichteinfall ergeben sich große Helligkeitsunterschiede im OP-Saal, die ermüdend wirken und die Konzentration beeinträchtigen.
- Schattenwurf beeinträchtigt die Sicht im OP-Feld am Patienten und im Raum.

Ablendeinrichtungen können diese Effekte mindern und z. T. ganz eliminieren, beinhalten aber andererseits wieder hygienische Probleme, da die Reinigung und Desinfektion schwierig ist.

Die negativen Aspekte der natürlichen Belichtung des OP-Saales führen u. U. zu Fehlentscheidungen und Problemen bei der Operation und können daher ein Risiko für den Patienten hervorrufen³⁰. OP-Säle sind deshalb oft fensterlos und müssen dann künstlich belichtet werden.

²⁹ Verordnung über Arbeitsstätten vom 12.08.2004, Anhang, Nr. 3.4

³⁰ Angabe der leitenden OP-Schwester der Uniklinik Münster gegenüber dem Autor

Trotzdem bleibt festzuhalten, dass natürliche Belichtung bzw. Tageslichtkontakt für die im OP-Saal tätigen Personen wünschenswert und vor allem bei häufigen und/oder längeren Aufenthalten notwendig ist.

Die richtige Beleuchtung des OP-Saales ist für die Funktionsfähigkeit von entscheidender Bedeutung. Zum einen ist der allgemeine Bereich bereits mit einer sehr hohen Nennbeleuchtungsstärke von 2.000 lx auszustatten³¹. Zum anderen ist das OP-Feld, also der Bereich auf dem OP-Tisch, in dem die Operation am Patienten erfolgt, mit einer Speziallampe auszuleuchten, die an einem Hängestiel an der Decke befestigt ist. Der Hängestiel durchdringt den Zuluftschirm. Der Leuchtkörper selbst ist an einem Gelenkarm befestigt, sodass er exakt auf das OP-Feld ausgerichtet werden kann. Die Nennbeleuchtungsstärke im OP-Feld muss bis 100.000 lx betragen³².



Abbildung 3.2.2.1/5: OP-Feldleuchte im Einbauzustand

³¹ DIN 5035/3 (09/1988), Nr. 3.4.1

³² DIN 5035/3 (09/1988), Nr. 3.4.1

Beide Leuchtquellen verbrauchen während des Betriebes elektrische Energie. Der Verbrauch ergibt sich aus der elektrischen Anschlussleistung und der Betriebszeit und wird wie folgt bestimmt:

$$\boxed{Q_B = Q_{Ba} + Q_{BOP}} \quad (24)$$

$$Q_B = P_{elBa} \cdot t_T + P_{elOP} \cdot t_T$$

$$\boxed{Q_B = t_T \cdot (P_{elBa} + P_{elOP})} \quad (25)$$

Q_B = Energieverbrauch für Beleuchtung

Q_{Ba} = Energieverbrauch für Allgemeinbeleuchtung

Q_{BOP} = Energieverbrauch für OP-Feldbeleuchtung

P_{elBa} = elektrische Anschlussleistung der Allgemeinbeleuchtung

P_{elOP} = elektrische Anschlussleistung der OP-Feldbeleuchtung

$$Q_B = 3.024 \text{ h/a} \cdot (0,54 \text{ kW} + 0,15 \text{ kW})$$

$$\underline{Q_B = 2.087 \text{ kWh/a}}$$

elektrischer Energieverbrauch für Geräte

Analog zur Bestimmung des Stromverbrauches für Beleuchtung wird auch der Energieverbrauch für Geräte aus der elektrischen Anschlussleistung und der Betriebszeit ermittelt. Während der Operationen ist i. d. R. eine Vielzahl von elektrischen Geräten zur Überwachung des Patienten in Betrieb. Die Geräte sind häufig mit Bildschirmen und/oder Displays ausgerüstet. EDV-Anlagen zur Speicherung, zum Abruf und zur Verarbeitung von Daten und zur Dokumentation gehören zur Standardausrüstung von OP-Sälen. Z. T. werden mobile Röntgengeräte eingesetzt. Alle Geräte geben nahezu ihre gesamte elektrische Energie als Wärme an den Raum ab.

Es ist nicht möglich, die genauen Einsatzzeiten und Belastungsgrade der Geräte allgemein zu bestimmen. Sie hängen von der Anzahl und der Dauer der durchzuführenden Operationen, dem Patienten, den zu überwachenden Funktionen und weiteren Faktoren ab. Sie richten sich ausschließlich nach medizinischen Notwendigkeiten und Gesichtspunkten.

Es lässt sich daher nur eine mittlere Leistung für den gesamten Operationssaal definieren, der sich aus einer begründeten Abschätzung ergibt. Es gelten dieselben Betriebszeiten wie bei der Beleuchtung. Die Geräte werden z. T. auch zwischen den Operationen nicht abgeschaltet.

$$Q_M = P_{elM} \cdot t_T$$

(26)

Q_M = elektrischer Energieverbrauch für Geräte

P_{elM} = elektrische Anschlussleistung der Geräte

$$Q_M = 2,00 \text{ kW} \cdot 3.024 \text{ h/a}$$

$$\underline{Q_M = 6.048 \text{ kWh/a}}$$

Für die Geräte im OP-Saal wird somit nahezu dreimal soviel Strom verbraucht wie für die Beleuchtung.

Energieverbrauch für Warmwasser

Neben den bisher erwähnten Verbrauchern wird für Reinigungszwecke Energie benötigt. Nach jeder Benutzung ist der Operationssaal zu reinigen und zu desinfizieren. Der Energieverbrauch hierfür lässt sich über den Verbrauch an Warmwasser bestimmen.

$$Q_R = n_O \cdot n_{Arb} \cdot m_W \cdot (g_{WW} - g_{KW}) \cdot (100 \% + \eta_V) / 100 \% \cdot c_W$$

(27)

Anzahl der Operationen je Arbeitstag

$$n_O = 5 \text{ OP/d}$$

Anzahl der jährlichen Arbeitstage

$$n_{Arb} = 252 \text{ d/a}$$

Wasserverbrauch pro Reinigung

$$m_W = 30 \text{ kg/OP}$$

Warmwassertemperatur

$$g_{WW} = 42 \text{ }^\circ\text{C}$$

Kaltwassertemperatur

$$g_{KW} = 10 \text{ }^\circ\text{C}$$

Verteilungsverluste

$$\eta_V = 20 \%$$

$$Q_R = 5 \text{ OP/d} \cdot 252 \text{ d/a} \cdot 30 \text{ kg/OP} \cdot (42 \text{ }^\circ\text{C} - 10 \text{ }^\circ\text{C}) \cdot 1,2 \cdot 4,182 \text{ kJ/(kg K)} \cdot 1/3.600 \text{ Wh/kJ}$$

$$\underline{Q_R = Q_{WW} = 1.686 \text{ kWh/a}}$$

sonstiger Energieverbrauch

Im Operationssaal entsteht kein weiterer Energieverbrauch durch technische Anlagen. Für die Aufbereitung bzw. Herstellung von Verbrauchsgütern, insbesondere

- OP-Kleidung
- Spritzen, Verbandsmaterial
- Medikamente
- Medizinische Gase
- sonstige

wird jedoch Energie benötigt. Diese Energie wird zum größten Teil außerhalb des Krankenhauses in Produktionsprozessen aufgewendet. Lediglich die Aufbereitung von OP-Kleidung und –Geräten geht in die Energiebilanz des Krankenhauses ein, sofern diese Prozesse von der Einrichtung selbst durchgeführt werden. Dieser Energiebedarf hängt aber nicht mit dem Entwurf und den technischen Anlagen im OP zusammen. Er ist durch die Effizienz der Prozesstechnik der hierfür erforderlichen Anlagen bestimmt und wird deshalb hier nicht betrachtet.

Zusammenfassung und Auswertung

Operationssäle sind hoch technisierte Einrichtungen innerhalb eines Krankenhauses. Sie erfordern eine Vielzahl von gebäudetechnischen Anlagen, die in unterschiedlichem Maße und auf unterschiedliche Art zum Gesamtenergieverbrauch beitragen, der sich aus mehreren Komponenten zusammensetzt:

- thermische Luftaufbereitung
- elektrische Energie für die Luftförderung
- elektrische Energie für Beleuchtung
- elektrische Energie für Geräte
- thermische Energie für Warmwasser

Die Energie wird von den technischen Anlagen verbraucht. Hierfür sind die absoluten Energiemengen zu bestimmen. Zur ökologischen Beurteilung sind diese Daten jedoch nur bedingt aussagefähig, da für die Energiebereitstellung und den Energietransport erhebliche Verluste entstehen. Daher muss der Primärenergieverbrauch mit Hilfe der Primärenergiefaktoren nach DIN 4710-10 (11/1982), Anhang C, Tabelle C, 4-1, bestimmt werden. Die Versorgung von Krankenhäusern mit thermischer Energie erfolgt i. d. R. durch eigene Energieerzeugung in Heizzentralen. Stein- oder Braunkohle kommt dabei kaum zum Einsatz, sodass die Primärenergiefaktoren von Heizöl, Erd- oder Flüssiggas angesetzt werden.

Die betriebswirtschaftliche Betrachtung findet ihren Niederschlag in den Energieverbrauchskosten. Bei den spezifischen Kosten, die dort zu Grunde gelegt werden, handelt es sich um durchschnittliche Wärme- und Strombezugskosten des Universitätsklinikums Münster für das Kalenderjahr 2003. Diese spezifischen Kosten sind relativ niedrig, da es sich um einen Großverbraucher handelt und die Energiekosten steigend sind. Sie werden auch für die folgenden Berechnungen von Kosten angesetzt, damit die Daten vergleichbar sind. Es ergibt sich folgendes Bild:

	Energieverbrauch		Primärenergie-			Energiekosten		
	absolut kWh/a	relativ %	fak- tor	verbrauch absolut kWh/a	verbrauch relativ %	spezifisch €/kWh	absolut €/a	relativ %
Energie für thermische Luftaufbereitung	82.516	76,8	1,1	90.768	55,9	0,0227	1.873	33,4
Elektrische Energie Für Luftförderung	15.104	14,1	3,0	45.312	27,9	0,1591	2.403	42,8
Elektrische Energie Für Beleuchtung	2.087	1,9	3,0	6.261	3,9	0,1591	332	5,9
Elektrische Energie Für Geräte	6.048	5,6	3,0	18.144	11,2	0,1591	962	17,2
Thermische Energie für Warmwasser	1.686	1,6	1,1	1.855	1,1	0,0227	38	0,7
Summe	107.441	100		162.340	100		5.608	100

Tabelle 3.2.2.1/5: Energieverbrauch, Primärenergieverbrauch und Energiekosten eines OP-Saales

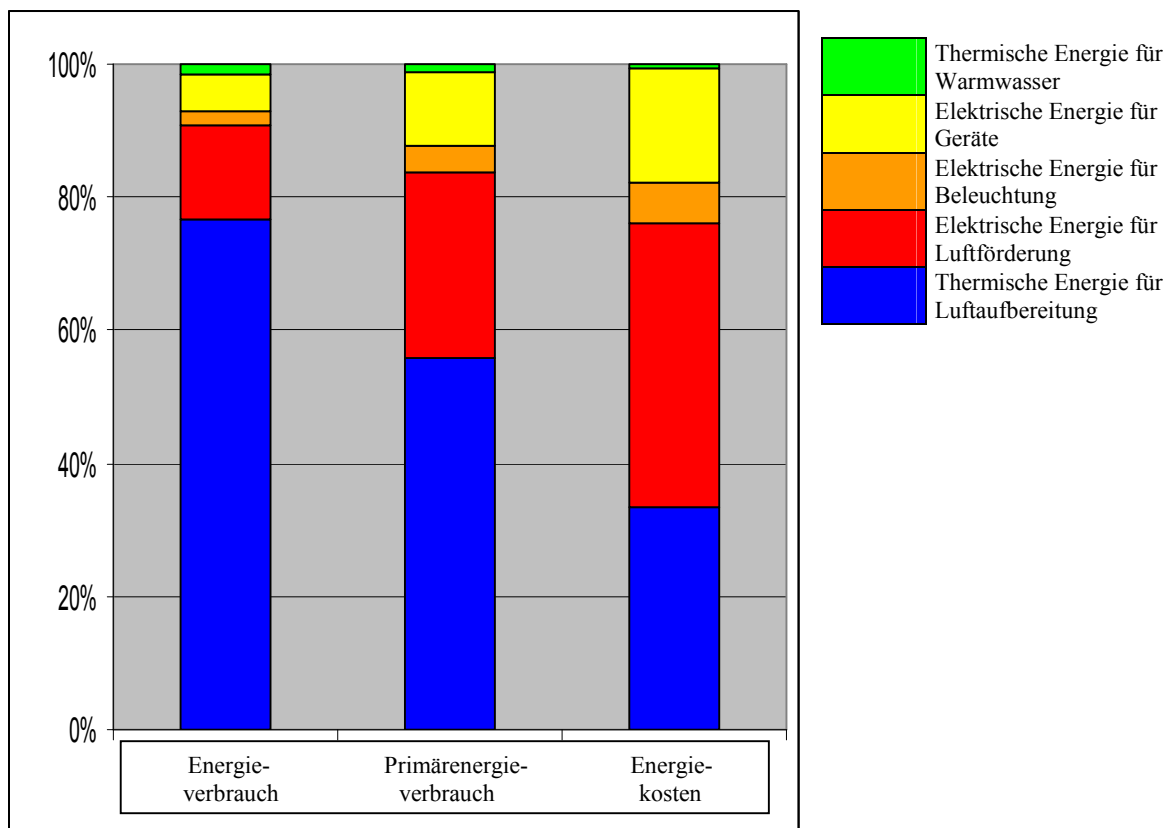


Abbildung 3.2.2.1/6: Säulendiagramm Energieverbrauch, Primärenergieverbrauch und Energiekosten OP-Saal

Etwa 3/4 des Energieverbrauches werden für die thermische Luftaufbereitung benötigt. Die Einflussmöglichkeiten des Architekten sind hier jedoch relativ gering. Veränderungen des baulichen Entwurfes führen erst bei sehr hohen externen oder internen Lasten zu einer relevanten Erhöhung des Energieverbrauches. Lediglich durch bauphysikalische Maßnahmen kann der Architekt hier positiv einwirken, indem Bauteile und –stoffe mit hohem Speichervermögen verwendet werden. Die Lasten werden dadurch zwar nicht reduziert. Sie müssen jedoch nicht mehr vollständig und/oder zeitgleich von der RLT-Anlage abgeführt werden, da ein Teil der Energie eingespeichert wird. Die Verwendung von leichten Baumaterialien, z. B. Gipskarton mit Mineralfaserdämmung, fertige OP-Trennwandsysteme o. ä. wirkt sich dagegen negativ aus.

Für die Fußböden kommen verschiedene Materialien in Frage. Schwimmende und Verbundestriche benötigen fugenlose Oberböden aus PVC, Kautschuk o. ä.. Es gilt der Grundsatz, dass der Fugenanteil aus hygienischen Gründen so klein wie möglich gehalten werden muss. Besser sind fugenlose Terrazzoböden, da sie widerstandsfähiger sind, keine Trennschichten und daher eine erhöhte Speicherwirkung haben.

Trockenbauwände sind zu vermeiden, weil sie kaum Speichervermögen haben. Die häufig mit Trockenbauwänden geforderte Flexibilität ist wegen des ho-

hen Anteils an Installationen in den Wänden tatsächlich nicht realisierbar. Der Entwurf und die technische Ausstattung von OP-Sälen sind sehr individuelle und spezielle Konzepte. Jede Veränderung des Raumzuschnittes zieht auch eine erhebliche Veränderung an den gebäudetechnischen Installationen nach sich, sodass Grundrissänderungen in der OP-Abteilung nur mit sehr hohem Aufwand zu vollziehen sind und Trockenbauwände hier keinen Vorteil beinhalten. Wände sollten deshalb aus massiven Baumaterialien mit hohen Raumgewichten bestehen. Um die hygienischen Anforderungen zu erfüllen sind keramische Beläge mit geringen Fugenanteilen vorzusehen. Großformatige Fliesen sind daher besser geeignet.

Die Decke des OP-Saales kann nur dann massiv, also aus Stahlbeton, ausgeführt werden, wenn sie gleichzeitig auch den Abschluss zu darüber liegenden Technikbereichen bildet.

3.2.2.2 Energieverbrauch OP-Saal bei ungünstigen Installationsverhältnissen

Der Entwurf des Architekten kann hingegen den Verbrauch von elektrischer Energie zur Luftförderung wesentlich beeinflussen. Um hier einen möglichst geringen Verbrauch zu erreichen, müssen bereits am Anfang des Planungsprozesses wesentliche Parameter festgelegt werden:

- ausreichende Höhen innerhalb der abgehängten Decken
- gerade und direkte Trassen für die Luftleitungen
- kurze Entfernungen zwischen den RLT-Zentralen und dem OP-Saal
- ausreichend bemessenen Flächen und Höhen in den RLT-Zentralen

Durch den Entwurf des Architekten ist im Wesentlichen der Energieverbrauch für die Luftförderung beeinflussbar. Ungünstige räumliche Verhältnisse ziehen eine Reduktion der Kanalquerschnitte und damit eine Erhöhung der Strömungsgeschwindigkeiten und –widerstände nach sich. Dadurch erhöht sich der Energieverbrauch für die Luftförderung drastisch und der Anteil am Gesamtenergieverbrauch des Operationssaales steigt ebenso. Bei einer Strömungsgeschwindigkeit von $v = 5,5$ m/s ergibt sich damit ein Verbrauch an elektrischer Energie für die Luftförderung von 37.300 kWh/a (siehe Tab. 3.2.2.1/4).

	Energieverbrauch		Primärenergie-			Energiekosten		
	absolut kWh/a	relativ %	Faktor	verbrauch absolut	verbrauch relativ	spezifisch	Absolut €/a	relativ %
Thermische Energie für Luftaufbereitung	82.516	64,4	1,1	90.768	39,7	0,0227	1.873	20,5
Elektrische Energie Für Luftförderung	37.300	29,1	3,0	111.900	48,9	0,1591	5.934	65,0
Elektrische Energie Für Beleuchtung	2.087	1,6	3,0	6.261	2,7	0,1591	332	3,6
Elektrische Energie Für Geräte	6.048	4,6	3,0	18.144	7,9	0,1591	962	10,5
Thermische Energie für Warmwasser	1.686	1,3	1,1	1.855	0,8	0,0227	38	0,4
Summe	127.951	100		228.928	100		9.139	100

Tabelle 3.2.2.2/1: Energieverbrauch, Primärenergieverbrauch und Energiekosten eines OP-Saales bei ungünstigen Installationsverhältnissen

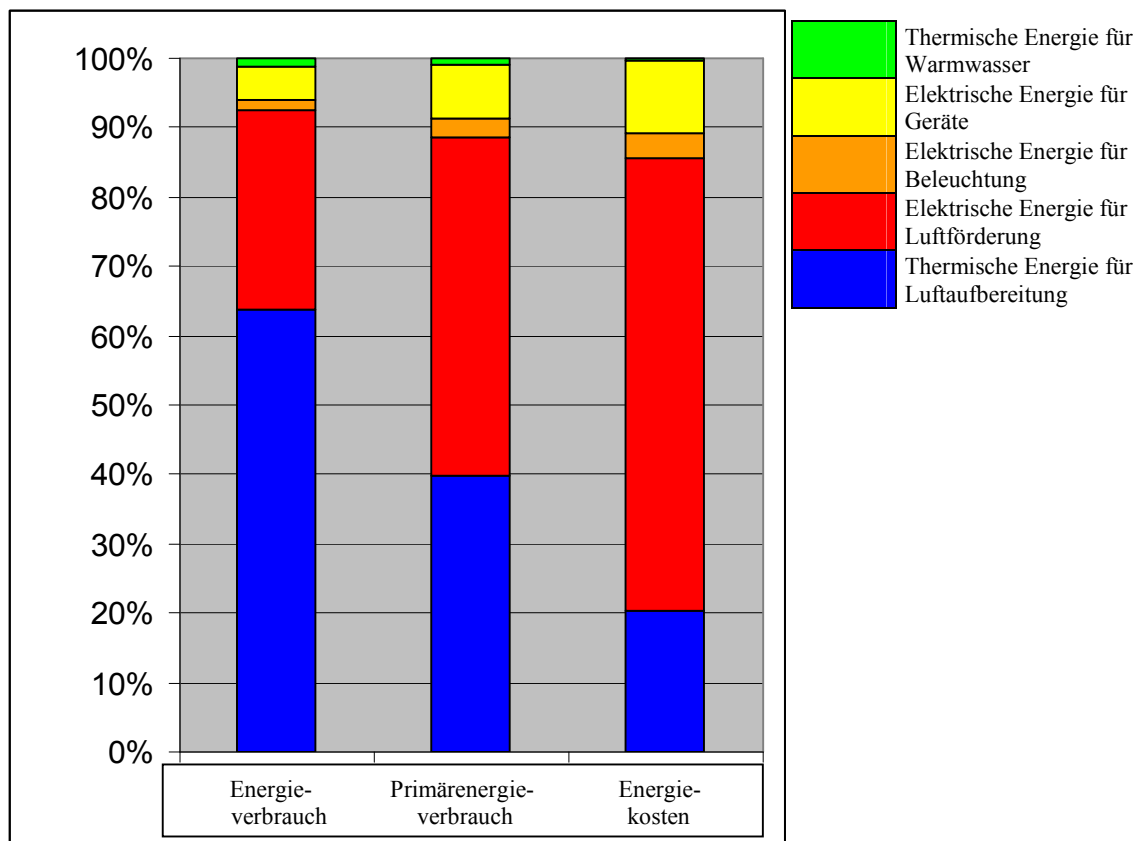


Abbildung 3.2.2.2/1: Säulendiagramm Relativer Energieverbrauch, Primärenergieverbrauch und Energiekosten eines OP-Saales bei ungünstigen Installationsverhältnissen

Es ist eine deutliche Verschiebung der Gewichtung zu erkennen. Der Anteil für elektrische Energie zur Luftförderung hat sich mehr als verdoppelt und beträgt nunmehr annähernd 30 %. Unter diesen Bedingungen entsteht also nahezu die

Hälfte des Primärenergieverbrauches durch die Luftförderung. Die wirtschaftliche Bedeutung dieses Anteils zeigt sich bei den Energiekosten, wo er jetzt fast 2/3 der gesamten Kosten ausmacht. Der Architekt hat daher Einfluss auf ein erhebliches energetisches, ökologisches und ökonomisches Potenzial.

Auch bei den weiteren noch zu untersuchenden Bereichen des Krankenhauses spielen ungünstige Installationsverhältnisse eine wesentliche Rolle. Der Einfluss dieses Faktors auf den Energieverbrauch der RLT-Anlagen wird auch dort durch die Erhöhung der Strömungsgeschwindigkeit in den Luftleitungen von $v_1 = 3,5 \text{ m/s}$ auf $v_2 = 5,5 \text{ m/s}$ abgebildet.

3.2.2.3 Auswertung

Die Möglichkeiten des Architekten, mit dem Entwurf den Energieverbrauch für die thermische Luftaufbereitung, die Beleuchtung, den Gerätebetrieb und die Warmwasserbereitung zu beeinflussen, sind relativ begrenzt. Insbesondere beim elektrischen Energieverbrauch für die Luftförderung kann er jedoch ein erhebliches Potenzial aktivieren. Es ergibt sich aus den Differenzen der „elektrischen Energie für Luftförderung“ der Tabellen 3.2.2.1/5 und 3.2.2.2/1 und beträgt

- beim Energieverbrauch absolut
$$\Delta Q = 37.300 \text{ kWh/a} - 15.104 \text{ kWh/a}$$
$$\underline{\Delta Q = 22.196 \text{ kWh/a}}$$
- beim Primärenergieverbrauch absolut
$$\Delta Q_P = 111.900 \text{ kWh/a} - 45.312 \text{ kWh/a}$$
$$\underline{\Delta Q_P = 66.588 \text{ kWh/a}}$$
- bei den Energiekosten
$$\Delta K = 5.934 \text{ €/a} - 2.403 \text{ €/a}$$
$$\underline{\Delta K = 3.531 \text{ €/a}}$$

Der Architekt hat also erhebliche Möglichkeiten, den Energieverbrauch des OP-Saales zu minimieren oder zu steigern. Aber auch die technische Gebäudeausrüstung kann mit der Trassenführung und strömungstechnischen Optimierung zu einer Reduzierung oder Erhöhung des Energieverbrauches beitragen. Die beiden Teilbereiche bedürfen einer frühzeitigen Koordination, um zu vermeiden, dass Fakten geschaffen werden, die später nicht oder nur mit erheblichem Aufwand zu korrigieren sind. Die hier zu beachtenden Faktoren sind:

- ausreichend Speichermassen in Fußböden und Wänden
- ausreichend lichte Höhen in den abgehängten Decken, lichte Höhe $> 1,25 \text{ m}$
- gerade, direkte und kurze Installationstrassen zwischen den Technikzentralen und den OP-Sälen
- ausreichend bemessene Flächen in den Technikzentralen
- geringe Strömungsgeschwindigkeiten in den RLT-Anlagen,

- $v \leq 3,5 \text{ m/s} - 4,0 \text{ m/s}$
- geringe Strömungsgeschwindigkeiten in den RLT-Zentralgeräten,
 $v \leq 2,2 \text{ m/s} - 2,0 \text{ m/s}$

Die geringen Strömungsgeschwindigkeiten der RLT- Anlage haben als positiven Nebeneffekt ein niedriges Geräuschniveau zur Folge. Die Mehrkosten gegenüber den oftmals realisierten Kanalluftgeschwindigkeiten von bis zu 6,0 m/s oder mehr sind vergleichsweise gering. Als Beispiel kann hier der Hauptkanal für den OP-Saal dienen.

Volumenstrom: $\dot{V}_{ZU} = 4.896 \text{ m}^3/\text{h} = 1,36 \text{ m}^3/\text{s}$

Fall 1: Auslegung mit geringen Strömungsgeschwindigkeiten

Auslegungs-Strömungsgeschwindigkeit 1: $v_1 = 3,5 \text{ m/s}$

Erforderlicher Kanalquerschnitt 1:

$$A_1 = \frac{\dot{V}_{ZU}}{v_1} = \frac{1,36 \text{ m}^3/\text{s}}{3,5 \text{ m/s}} = 0,389 \text{ m}^2$$

Luftkanal-Kantenlänge bei quadratischem Querschnitt:

$$a_1 = \sqrt{A_1} = \sqrt{0,389 \text{ m}^2} = 0,624 \text{ m}$$

Gewählt: Kantenlänge $a_1 = 0,63 \text{ m} = 630 \text{ mm}$

Angenommene Luftkanallänge Zu- und Abluft: $l_1 = 40 \text{ m}$

Erforderliche Kanaloberfläche: $A_1 = 4 \cdot a_1 \cdot l_1 = 4 \cdot 0,63 \text{ m} \cdot 40 \text{ m} = 100,8 \text{ m}^2$

Kosten für die Installation des Luftkanals: $k = 70 \text{ €/m}^2$

Gesamtkosten Luftkanal: $K_{K1} = k \cdot A_1 = 70 \text{ €/m}^2 \cdot 100,8 \text{ m}^2 = 7.056 \text{ €}$

Fall 2: Auslegung mit ungünstigen Strömungsgeschwindigkeiten

Auslegungs-Strömungsgeschwindigkeit 2: $v_2 = 5,5 \text{ m/s}$

Erforderlicher Kanalquerschnitt 2: $A_2 = 0,247 \text{ m}^2$

Luftkanal-Kantenlänge bei quadratischem Querschnitt: $a_2 = 0,497 \text{ m}$

Gewählt: Kantenlänge $a_2 = 0,500 \text{ m} = 500 \text{ mm}$

Erforderliche Kanaloberfläche: $A_2 = 4 \cdot 0,50 \text{ m} \cdot 40 \text{ m} = 80,0 \text{ m}^2$

Spezifische Kosten des Luftkanals (marktüblicher Preis): $k = 70 \text{ €/m}^2$

Gesamtkosten Luftkanal: $K_{K2} = k \cdot A_2 = 70 \text{ €/m}^2 \cdot 80,0 \text{ m}^2 = 5.600 \text{ €}$

Kostendifferenz Luftkanäle: $\Delta K_K = 7.056 \text{ €} - 5.600 \text{ €} = 1.456 \text{ €}$

Der Kostenvorteil bei Installationen mit hohen Strömungsgeschwindigkeiten ist also sehr gering. Die Kapitalrückflusszeiten sind sehr klein und liegen deutlich unter einem Jahr. Es ist daher nicht sinnvoll, wegen des Kostenvorteils Installationen mit hohen Luftgeschwindigkeiten zu realisieren.

Die Vorteile einer Auslegung mit geringen Strömungsgeschwindigkeiten sind jedoch eindeutig.

Nachfolgend sind einige Beispiele für die mögliche Anordnung von Technikzentralen dargestellt.

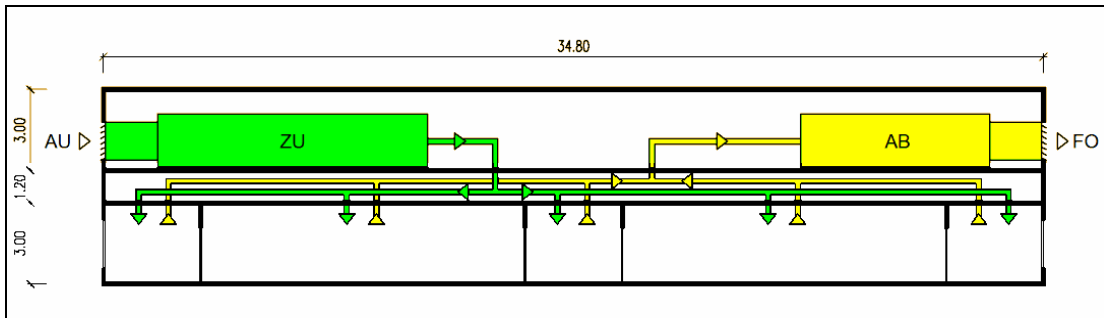


Abbildung 3.2.2.3/1: Schnitt - Technikzentralen über der OP-Abteilung,
Verteilung in der abgehängten Decke: günstige Lösung

Die Technikzentrale befindet sich direkt über dem zu versorgenden Bereich.
Die Luftverteilung erfolgt in der abgehängten Decke.

Vorteile:

- kurze Kanalstrecken
- Autarker Betrieb (keine Anbindung von anderen Versorgungsbereichen)
- Geringer Aufwand für die Luftförderung

Nachteile:

- große Abhängenhöhe im Versorgungsbereich
- Revision und Wartung z. T. im Versorgungsbereich

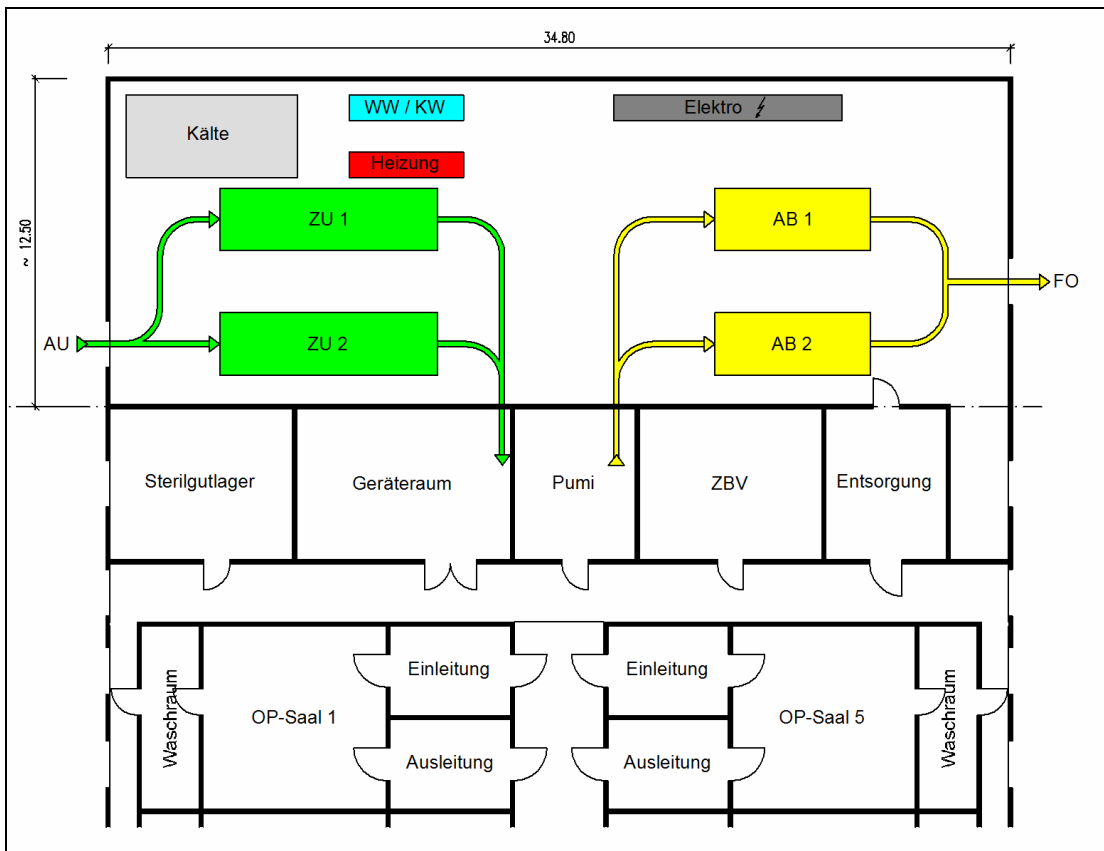


Abbildung 3.2.2.3/2: Grundriss - Technikzentrale neben der OP-Abteilung,
Verteilung in der abgehängten Decke: günstige Lösung

Vorteile:

- kurze Kanalstrecken
- Autarker Betrieb (keine Anbindung von anderen Versorgungsbereichen)
- Gute akustische Entkoppelung von Technik- und Versorgungsbereichen
- Geringer Aufwand für die Luftförderung

Nachteile:

- große Abhängöhe im Versorgungsbereich
- Revision und Wartung teilweise im Versorgungsbereich

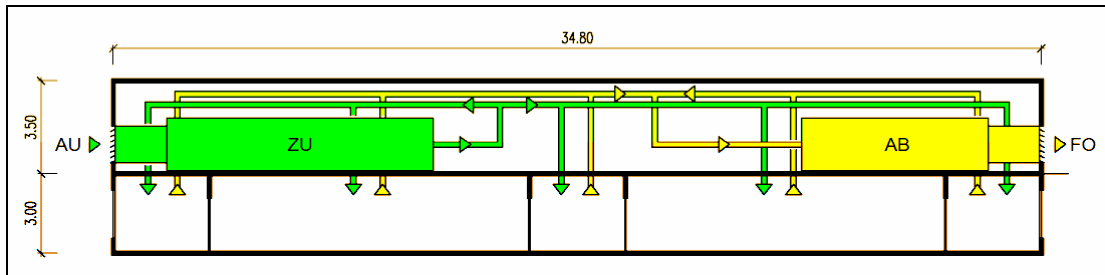


Abbildung 3.2.2.3/3: Schnitt - Technikzentrale über der OP-Abteilung,
Verteilung in der Technikzentrale: günstige Lösung

Vorteile:

- Sehr kurze Kanalstrecken
- Autarker Betrieb (keine Anbindung von anderen Versorgungsbereichen)
- Geringer Aufwand für die Luftförderung
- Revision, Wartung, Störungsbeseitigung vollständig in der Technikzentrale

Nachteile:

- Hoher baukonstruktiver Aufwand
- große Abhängöhe im Versorgungsbereich
- Revision und Wartung z. T. im Versorgungsbereich

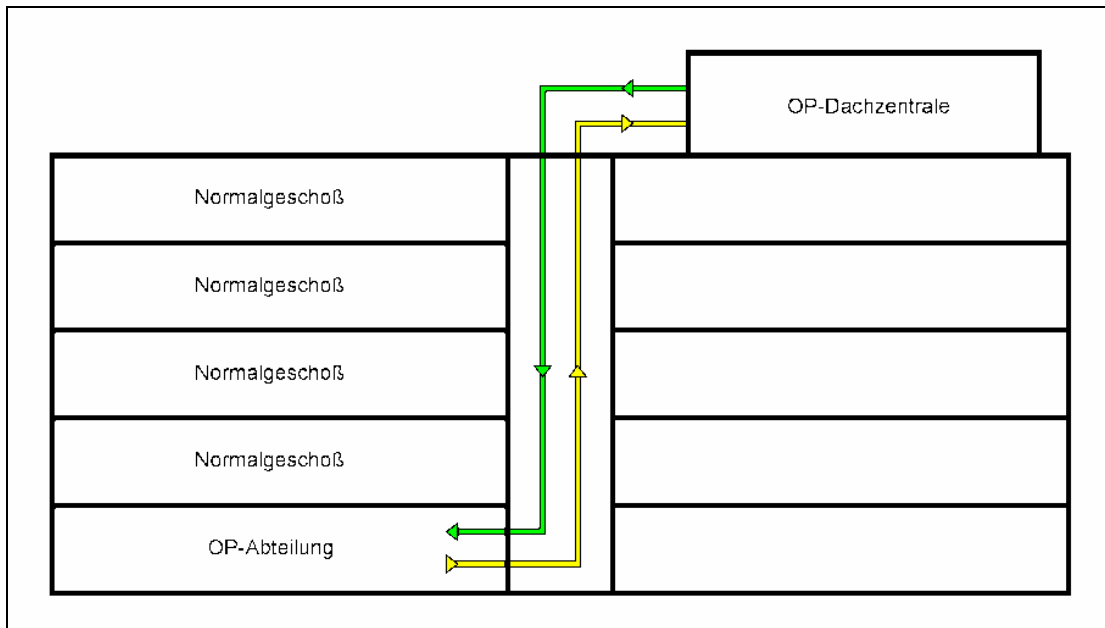


Abbildung 3.2.2.3/4: OP-Technikzentrale auf dem Dach, Verteilung in der abgehängten Decke, Verbindung zum Versorgungsbereich über Schächte: ungünstige Lösung

Vorteile:

- Autarker Betrieb (keine Anbindung von anderen Versorgungsbereichen)

Nachteile:

- Hoher baukonstruktiver Aufwand
- hoher Aufwand für die Luftförderung
- Revision, Wartung, Störungsbeseitigung z. T. im Versorgungsbereich

Flächenbezogene Energieaufwandszahlen

Sofern die v. g. Kriterien und Faktoren berücksichtigt werden, ist mit einem energetisch optimierten Entwurf zu rechnen. Wenn sie nicht ausreichend einfließen können, wird sich ein erhöhter Energieverbrauch ergeben. Vor diesem Hintergrund wird der spezifische energetische Aufwand für die beiden Fälle bestimmt.

Dabei wird der Primärenergieverbrauch als Grundlage verwendet, da er den gesamten Energiebedarf enthält. Dadurch ergibt sich die flächenbezogene Energieaufwandszahl E_A :

Fall A: OP-Saal

Primärenergieverbrauch: $Q_{PrA} = 162.340 \text{ kWh/a}$ (s. Tab. 3.2.2.1/5)

OP-Saal-Fläche : $A_R = 44,5 \text{ m}^2$

$$E_{AA} = \frac{Q_{PrA}}{A_R}$$

(28)

$$E_{AA} = \frac{162.340 \text{ kWh/a}}{44,5 \text{ m}^2}$$

$$\underline{E_{AA} = 3.648 \text{ kWh/(m}^2\text{a)}}$$

Fall B: OP-Saal bei ungünstigen Installationsverhältnissen

Primärenergieverbrauch: $Q_{PrB} = 228.928 \text{ W}$ (s. Tab. 3.2.2.2/1)

OP-Saal-Fläche : $A_{OP} = 44,5 \text{ m}^2$

$$E_{AB} = \frac{Q_{PrB}}{A_R}$$

(29)

$$E_{AB} = \frac{228.928 \text{ kWh/a}}{44,5 \text{ m}^2}$$

$$\underline{E_{AB} = 5.145 \text{ kWh/(m}^2\text{a)}}$$

Der Primärenergieverbrauch liegt bei ungünstigen Installationsverhältnissen um 41 % höher. Die v. g. Verbräuche wurden für einen OP-Saal ermittelt. Die OP-Abteilungen der Krankenhäuser haben aber immer mehrere Säle. Bei z. B. acht OP-Sälen beträgt das Potenzial über 25 Jahre (s. Tab. 3.1/2):

- beim Energieverbrauch absolut

$$\Delta Q = 8 \cdot 25 \text{ a} \cdot 22.196 \text{ kWh/a (s. 3.2.2.3)}$$

$$\underline{\Delta Q = 4.439.200 \text{ kWh}}$$
- beim Primärenergieverbrauch absolut

$$\Delta Q_P = 8 \cdot 25 \text{ a} \cdot 66.588 \text{ kWh/a (s. 3.2.2.3)}$$

$$\underline{\Delta Q_P = 13.317.600 \text{ kWh/a}}$$

Bei einem Brennwert von 10,6 kWh/l entspricht diese Energiemenge etwa 1.256.377 Litern Heizöl EL.
- bei den Energiekosten (statische Berechnung)

$$\Delta K = 8 \cdot 25 \text{ a} \cdot 3.531 \text{ €/a (s. 3.2.2.3)}$$

$$\underline{\Delta K = 706.200 \text{ €/a}}$$

Der OP-Saal als Bestandteil des gesamten Krankenhauses trägt nur zu einem Teil zum Gesamt-Energieverbrauch des Gebäudes bei. Flächenbezogene Energieaufwandszahlen sind für alle Bereiche des Krankenhauses zu bilden. Damit lässt sich ein Soll-/Ist-Vergleich durchführen und die energetische Qualität des gesamten Hauses beurteilen.

3.2.3. OP-Nebenräume

3.2.3.1 Laststruktur

Auch in den OP-Nebenräumen entstehen thermische und hygrische Lasten, die sich jedoch von denen im OP-Saal z. T. erheblich unterscheiden. Daher sind auch die Anforderungen an die Anlagen der technischen Gebäudeausrüstung wesentlich anders. Darüber hinaus gelten hier für die technische Gebäudeausrüstung andere Auslegungskriterien wie im OP-Saal. Die wesentlichen bestimmenden Faktoren sind:

- Hygienischer Mindest-Außenluftstrom nach DIN 1946/4 (03/1999), Tab. 2
in OP-Nebenräumen $15 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$
im Aufwachraum $30 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$
- Beleuchtungsstärke nach DIN 5035/3 (09/1988) 500 lx

Daneben treten in geringerem Umfang innere Lasten durch Personen und Maschinen bzw. Geräte auf. Die solaren Gewinne hängen ausschließlich von den transparenten Außenflächen (Außenfenstern) ab. Sie unterliegen in Abhängigkeit von der Tages- und Jahreszeit großen Schwankungen und können temporär sehr groß sein. Außenfenster sind nur dort anzuordnen, wo sie aus arbeitsphysiologischen Gründen notwendig oder möglich sind, d.h., in Dauerarbeits- und Aufenthaltsräume. Dies sind in erster Linie

- der Ärzteraum
- der Schwesternarbeitsplatz
- der Geräteraum, wenn dort die Geräte aufbereitet werden
- der OP-Flur

Der Mindest-Außenluftstrom darf nicht ohne zwingenden Grund erhöht werden, da jede Erhöhung der Luftmengen eine Erhöhung des Energieverbrauches nach sich zieht. Aus diesem Grund ist zunächst zu prüfen, ob der hygienische Mindest-Außenluftstrom ausreicht, um die in den Räumen auftretenden Lasten abzuführen. Kritischer Lastfall ist der Kühlfall. Dann gilt:

Raumtemperatur (wie OP-Saal): $\vartheta_R = + 24 \text{ }^\circ\text{C}$

Maximale Differenz zwischen Raum- und Zulufttemperatur: $\Delta\vartheta_{max} = 6 \text{ }^\circ\text{C}$

Daraus folgt als minimal zulässige Zulufttemperatur:

$$\vartheta_{Zumin} = \vartheta_R - \Delta\vartheta_{Max} = 24 \text{ C} - 6 \text{ C} = 18 \text{ }^\circ\text{C}$$

Bei Unterschreiten dieser Zulufttemperatur treten Zugerscheinungen auf, was weder für Patienten noch für Mitarbeiter toleriert werden kann.

Ausgangsgleichung

$$q_{Sp} = \dot{m}_L \cdot \Delta h = \dot{V}_L \cdot \rho_L \cdot \Delta h \quad (30)$$

q_{Sp} = spezifische Kühllast je m^2 Raumfläche

$$\Delta h = h_R - h_{Zu} \quad (31)$$

Hygienischer Mindest-Außenluftstrom $\dot{V}_L = 15 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$

Hygienischer Mindest-Außenluftstrom im Aufwachraum $\dot{V}_L = 30 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$

$\rho = 1,165 \text{ kg/m}^3$

Zuluftzustand:

$\vartheta_{Zu} = 18 \text{ }^\circ\text{C}$

$\varphi_{Zu} = 75 \text{ } \%$

$X_{Zu} = 9,7 \text{ g}/(\text{kg tr. L.})$

$h_{Zu} = 42,5 \text{ kJ/kg}$

Raumluftzustand:

$\vartheta_R = 24 \text{ }^\circ\text{C}$

$\varphi_R = 50 \text{ } \%$

$X_R = 9,8 \text{ g}/(\text{kg tr. L.})$

$h_R = 49 \text{ kJ/kg}$

Die relative Feuchte der Zuluft liegt bei der minimal zulässigen Zulufttemperatur von $18 \text{ }^\circ\text{C}$ bei 75% . Sie resultiert aus der relativen Feuchtigkeit der Raumluft von 50% . Die im Raum freigesetzte Feuchtigkeit ist vernachlässigbar gering

Damit ergibt sich als maximale spezifische Kühllast der OP-Nebenräume, die mit dem nach DIN 1946/4 (03/1999), Tab 2, geforderten hygienischen Mindest-Außenluftstrom, noch abgefahren werden kann:

$q_{Sp} = 15 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2) \cdot 1/3.600 \text{ s/h} \cdot 1,165 \text{ kg/m}^3 \cdot (49 - 42,5) \text{ kJ/kg}$

$q_{Sp} = 0,0316 \text{ kW/m}^2$

$q_{Sp} = 31,6 \text{ W/m}^2$

Ist die Last höher, muss die Luftmenge erhöht werden, damit es nicht zu Zugerscheinungen oder zu Tauwasserbildung kommt. In Räumen, in denen keine Anforderungen an Zugfreiheit gestellt werden oder in denen höhere Raumtemperaturen akzeptiert werden können, kann eine höhere thermische Belastung zugelassen werden. Dies sind in erster Linie Lagerräume, Durchgangsbereiche der OP-Flure oder Ver- und Entsorgungsräume, ggf. auch Räume für Bürotätigkeiten.

Von den OP-Nebenräumen sind, mit Ausnahme des Aufwachraumes, die Ein- und Ausleitungsräume diejenigen Räume, in denen die höchsten thermischen Lasten zu erwarten sind. Darüber hinaus darf die Raumtemperatur hier keinen großen Schwankungen unterliegen. Sie soll möglichst nahe an der Temperatur im OP-Saal liegen, da die Patienten von hier aus dorthinein bzw. hinaus gelangen und sich u. U. auch längere Zeit hier aufhalten. Es ist daher zu prüfen, wie groß die thermischen Lasten der OP-Nebenräume sind.

Ein- und Ausleitungsräume

Die Räume sind relativ klein. Die Breite und die Länge hängen von den dort zu verrichtenden Arbeiten ab. In der Einleitung wird der liegende Patient auf die Operation vorbereitet. Es muss deshalb ausreichend Bewegungsfläche an allen Seiten des Patienten vorhanden sein. Zusätzlich werden Flächen an den Wänden für Schränke und Geräte benötigt, sodass die lichte Raumbreite mindestens ca. $3,45 \text{ m}$ beträgt (vgl. Abb. 3.2.1/2).

Die lichte Raumlänge ergibt sich ebenfalls aus der notwendigen Länge für den liegenden Patienten von ca. $2,10 \text{ m}$ zzgl. Bewegungsflächen am Kopf- und Fu-

bende. Sie muss somit ca. 4,65 m betragen. Die Fläche liegt dann bei ca. 15 m² – 20 m². Die Raumhöhe beträgt, wie im OP-Saal, 3,0m, da in der Regel Einzel-leuchten mit Gelenkarm unter der Decke notwendig sind.

Die thermischen Lasten in den OP-Nebenräumen setzen sich aus 4 bestimmenden Komponenten zusammen:

- Beleuchtung allgemein
- Einzelleuchte
- Geräte
- Personen

Es muss zunächst bestimmt werden, welche thermischen Lasten durch diese Komponenten verursacht werden.

Allgemeinbeleuchtung:

Nach DIN 5035/3 (09/1988), Nr. 3, wird die erforderliche Nennbeleuchtungsstärke bestimmt. Mit einer Referenzleuchte kann dann die elektrische Anschlussleistung errechnet werden, die für die thermische Last maßgebend ist. Die Berechnung erfolgt analog zu 3.2.2.1, Gleichung (2). Die Parameter, die von den dort aufgeführten Faktoren abweichen, sind:

Nennbeleuchtungsstärke nach DIN 5035/3 (09/1988), Nr. 3.4.1 $E_n = 500 \text{ lx}$
 Grundfläche: $A_G = 16,0 \text{ m}^2$

$$n = \frac{E_n \cdot A_G \cdot 100 \%}{Z \cdot \Phi \cdot \eta_B \cdot M} = \frac{625 \text{ lx} \cdot 16,0 \text{ m}^2 \cdot 100 \%}{3 \cdot 1.200 \text{ lm} \cdot 70 \% \cdot 1,61}$$

$$n = 2,47$$

gewählt: $n = 3$

Mit dieser Anzahl Leuchten wird die notwendige Nennbeleuchtungsstärke erreicht und der Raum gleichmäßig ausgeleuchtet. Die elektrische Anschlussleistung für die Allgemeinbeleuchtung beträgt:

$$P_{elA} = n \cdot Z \cdot 18 \text{ W} = 3 \cdot 3 \cdot 18 \text{ W}$$

$$\underline{P_{elA} = 162 \text{ W}}$$

Einzelleuchte:

Im Einleitungsraum befindet sich eine Einzelleuchte, mit der das Behandlungsfeld am Patienten, z. B. beim Anlegen von Kanülen, ausgeleuchtet wird. Die Leuchte ist an einem Hängestiel an der Decke befestigt. Sie hat einen zweiteiligen Gelenkarm und ist dreidimensional verstellbar.

Referenzleuchte: Trumpf Helion S

Lampenleistung = elektrische Anschlussleistung = P_{el}

$$\underline{P_{el} = 50 \text{ W}}$$

Geräte:

In der Einleitung sind erheblich weniger Geräte im Einsatz als im OP-Saal. Sie werden nur bei Bedarf betrieben. Der Einsatz ist unregelmäßig und nur relativ kurzzeitig. Die hieraus resultierende elektrische Anschlussleistung wird angesetzt mit

$$\underline{P_{elM} = 100 \text{ W}}$$

Personen:

Die Anzahl der im Einleitungsraum anwesenden Personen ist gering. Der Raum dient als Puffer- und Durchgangsraum.

$$\underline{\dot{Q}_{iP} = 60 \text{ W}}$$

Für die weitere Betrachtung des Einleitungsraumes wird damit festgelegt:

Raubbreite	$B_R = 3,45 \text{ m}$
Raumlänge	$l_R = 4,65 \text{ m}$
Raumfläche	$A_R = 16,0 \text{ m}^2$
Nennbeleuchtungsstärke	$E_n = 500 \text{ lx}$

Die ermittelten spezifischen inneren Lasten werden auf die Grundfläche des Raumes bezogen, woraus sich die spezifischen Lasten ergeben:

	Thermische Last W	Spezifische Last W/m ²
Beleuchtung allgemein	162	10,1
Einzelleuchte	50	3,1
Geräte	100	6,3
Personen	60	3,8
Summe	372	23,3

Tabelle 3.2.3.1/1: Thermische Lasten, spezifische Lasten Einleitungsraum

Diese Last ist mit dem hygienischen Mindest-Außenluftstrom abzuführen. Die maximal abführbare Last beträgt:

$$\dot{Q}_{K,max} = 31,6 \text{ W/m}^2 \cdot 16,0 \text{ m}^2 = 505,6 \text{ W}$$

$$\underline{\dot{Q}_{K,max} = 506 \text{ W}}$$

Die gesamte innere Kühllast des Raumes ist demnach erheblich kleiner als die mit dem hygienischen Mindest-Außenluftstrom abführbare Kühllast. Eine Erhöhung des Zuluft-Volumenstromes über den nach DIN 1946/4 (03/1999) erforderlichen Mindest-Außenluftstrom ist nicht erforderlich.

Nach DIN 1946/4 (03/1999), Tab.2, Nr. 1.1.2 ist in den OP-Nebenräumen die gleiche Zulufttemperatur und -feuchte einzuhalten wie im OP-Saal. Da die spezifischen Lasten im OP-Saal jedoch höher sind, würden sich in den OP-Nebenräumen niedrigere Raumtemperaturen einstellen. Um dies zu vermeiden,

müsste die Zuluft wieder erwärmt werden, was energetisch nicht sinnvoll ist. Trotzdem ist eine Temperaturstufung zwischen OP-Saal und Einleitung zu vermeiden.

Sowohl der OP-Saal als auch die OP-Nebenräume sind deshalb nach der Raum- oder Ablufttemperatur zu regeln und nicht nach der Zulufttemperatur. Auf diese Weise wird eine energiesparende Regelung erreicht, die gleiche Temperaturen in den Räumen sicherstellt.

Aufwachraum

Die Laststruktur des Aufwachraumes unterscheidet sich von den übrigen OP-Nebenräumen. Es wird keine Einzelleuchte gefordert, und die thermische Last durch Geräte und Personen ist erheblich höher, da die frisch operierten Patienten einer intensiven und genauen gerätetechnischen Überwachung bedürfen:

	Spezifische Last W/m²
Beleuchtung allgemein	10,1
Einzelleuchte	0,0
Geräte	12,6
Personen	7,6
Summe	<u>30,3</u>

Tabelle3.2.3.1/2: Thermische Lasten, spezifische Lasten Aufwachraum

Auch diese Last lässt sich noch mit dem erforderlichen hygienischen Mindest-Außenstrom von 30 m³/(h·m²) abführen. Es bestehen jedoch keine Reserven mehr. Sofern die Lasten durch eine stärkere Beleuchtung, eine höhere Anzahl von Geräten und Personen erhöht werden, muss auch die Zuluftmenge erhöht werden.

Sonstige OP-Nebenräume

Bei den übrigen OP-Nebenräumen resultiert die Kühllast in erster Linie aus der Allgemeinbeleuchtung. Lasten durch Personen treten auf, sind aber wesentlich geringer als in der Einleitung.

	Spezifische Last W/m²
Beleuchtung allgemein	10,1
Einzelleuchte	0,0
Geräte	0,0
Personen	1,9
Summe	<u>12,0</u>

Tabelle3.2.3.1/3: Thermische Lasten, spezifische Lasten sonstige OP-Nebenräume

Diese Last liegt erheblich unter der mit dem hygienischen Mindest-Außenluftstrom abführbaren Last von $31,6 \text{ W/m}^2$, sodass die Zuluftmenge reduziert werden könnte. Das Einverständnis des Bauherrn und des Hygienikers ist hierfür jedoch Voraussetzung, weil es sich um eine Abweichung von verbindlichen Normen handelt. Als untere Grenze gelten dann $10,5 \text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$, was einer Luftwechselzahl von ca. $3,5 \text{ h}^{-1}$ entspricht. Darunter stellt sich keine raumfüllende Strömung ein, die notwendig ist, um zu vermeiden, dass Teilbereiche der Räume nicht ausreichend durchströmt werden, was zu hygienischen Problemen führen kann.

Bei den inneren Lasten der OP-Nebenräume muss somit zwischen Räumen mit hoher, sehr hoher und geringer Last unterschieden werden.

Ein- und Ausleitungsräume	$\dot{Q}_K = 23,3 \text{ W/m}^2$: hohe Lasten
Aufwachräume	$\dot{Q}_K = 30,3 \text{ W/m}^2$: sehr hohe Lasten
Sonstige OP-Nebenräume	$\dot{Q}_K = 12,0 \text{ W/m}^2$: geringe Lasten

In allen Räumen können diese Kühllasten mit den hygienischen Mindest-Außenluftströmen von $15 \text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$ bzw. $30 \text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$ abgeführt werden.

3.2.3.2 Referenz-OP-Abteilung

Zur Bestimmung des Energieverbrauches der OP-Nebenräume ist es nicht sinnvoll, einzelne Räume und deren Lastverhalten abstrakt und ohne Raumverbund zu betrachten und die Ergebnisse dann auf eine gesamte zu planende OP-Abteilung zu übertragen. Der Fehler, der auf diese Weise entstünde, wäre zu groß und ließe ein Verallgemeinerung nicht zu.

Daher ist zunächst eine Referenz-OP-Abteilung zu bilden, mit der eine Modellbetrachtung durchgeführt wird. Die Ergebnisse lassen sich dann verallgemeinern und auf den Entwurf von neuen OP-Abteilungen übertragen.

Die OP-Abteilungen der Krankenhäuser unterscheiden sich hinsichtlich der Anzahl der OP-Säle, der Größe und Ausstattung. Die Anzahl der OP-Säle ist das entscheidende Kriterium für die Größe der gesamten OP-Abteilung. Jedem OP-Saal sind Ein-, Ausleitungs- und Waschräume zuzuordnen. Die übrigen OP-Nebenräume können nicht einzelnen OP-Sälen zugeordnet werden, da sie der Versorgung aller OP-Säle dienen. Mit steigender Anzahl der OP-Säle werden jedoch größere Flächen hierfür benötigt, ohne dass eine proportionale Abhängigkeit besteht.

Ein Krankenhaus der Grundversorgung hat ca. 500 - 550 Betten. Hierfür wird eine OP-Abteilung mit 8 OP-Sälen benötigt. Dies ist ein Durchschnittswert aus der Untersuchung einer Reihe von Krankenhäusern der Allgemeinversorgung (s. Tab. 4.2/2).

Die Referenz-OP-Abteilung ist Muster für vielfach bestehende Einheiten, die auf der Grundlage der bis 2003 geltenden Richtlinien der Kommission für Kran-

kenhaushygiene und Infektionsprävention des Robert-Koch-Institutes geplant und errichtet wurden. Danach war jedem OP-Saal jeweils ein eigener Einleitungs-, Ausleitungs- und Waschraum zuzuordnen. Es handelt sich insofern um ein relativ konservatives Konzept.

Die Referenz-OP-Abteilung dient zur Modellierung, um die Strukturen des Energieverbrauches zu analysieren und darauf aufbauend zu bestimmen, wie sich Veränderungen des Entwurfes unter energetischen Gesichtspunkten auswirken.

Darauf basierend werden die Kriterien bestimmt, die zu einem energiesparenden Entwurf führen.

An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, dass die starren Vorgaben für OP-Abteilungen sich im Umbruch und Wandel befinden. Dies hängt mit neuen Erkenntnissen zur Hygiene, mit neuen medizintechnischen Geräten im OP-Saal sowie mit Optimierungen der Prozesse im OP-Betrieb zusammen. Der Ausleitungsraum ist danach oftmals nicht mehr erforderlich. Die Einleitung erfolgt in einem Holding-Bereich innerhalb der OP-Abteilung, wo mehrere Patienten gleichzeitig warten und auf ihre Operation vorbereitet werden. Es sollen keine OP-Säle, die nur einem Fachgebiet vorbehalten sind, vorgesehen werden. Stattdessen werden OP-Cluster gebildet, d. h., mehrere OP-Säle (2-4) werden mehreren Fachgebieten zugeordnet, wodurch eine Flexibilisierung der OP-Saal-Nutzung erreicht wird. Die strenge Schleusung der Patienten kann durch Übergaberäume abgelöst werden.

Diese z. T. recht tief greifenden Veränderungen der Prozesse und Funktionen der OP-Abteilungen gehen wesentlich auf Bestrebungen zur Optimierung der Wirtschaftlichkeit und zur Reduzierung der Betriebskosten zurück. Der Fokus liegt dabei in erster Linie auf den medizinischen Prozessen. Energetische Betrachtungen stehen dabei häufig an zweiter Stelle und erfolgen erst nach der Prozessplanung.

Für die Beurteilung unter energetischen Aspekten sind diese Entwicklungen allerdings auch nicht von entscheidender Bedeutung, da die Laststruktur der OP-Säle einerseits und der OP-Nebenträume andererseits sich dadurch nicht entscheidend verändert. Die energie- und lastrelevanten Faktoren sind auch hier evident:

- RLT-Anlagen
- Allgemeinbeleuchtung
- Einzel- oder Spezialbeleuchtung
- Geräteausrüstung
- Warmwasserverbrauch
- Thermischer Energieverbrauch für die Luftaufbereitung
- Stromverbrauch für die Luftförderung

Die Bestimmung von flächenspezifischen Daten ermöglicht es, die verschiedenen Bereiche zu beurteilen (siehe 3.2.2.3 und 3.2.3.7), sodass die Kriterien, die beim Entwurf zu beachten sind, aufgezeigt werden können.

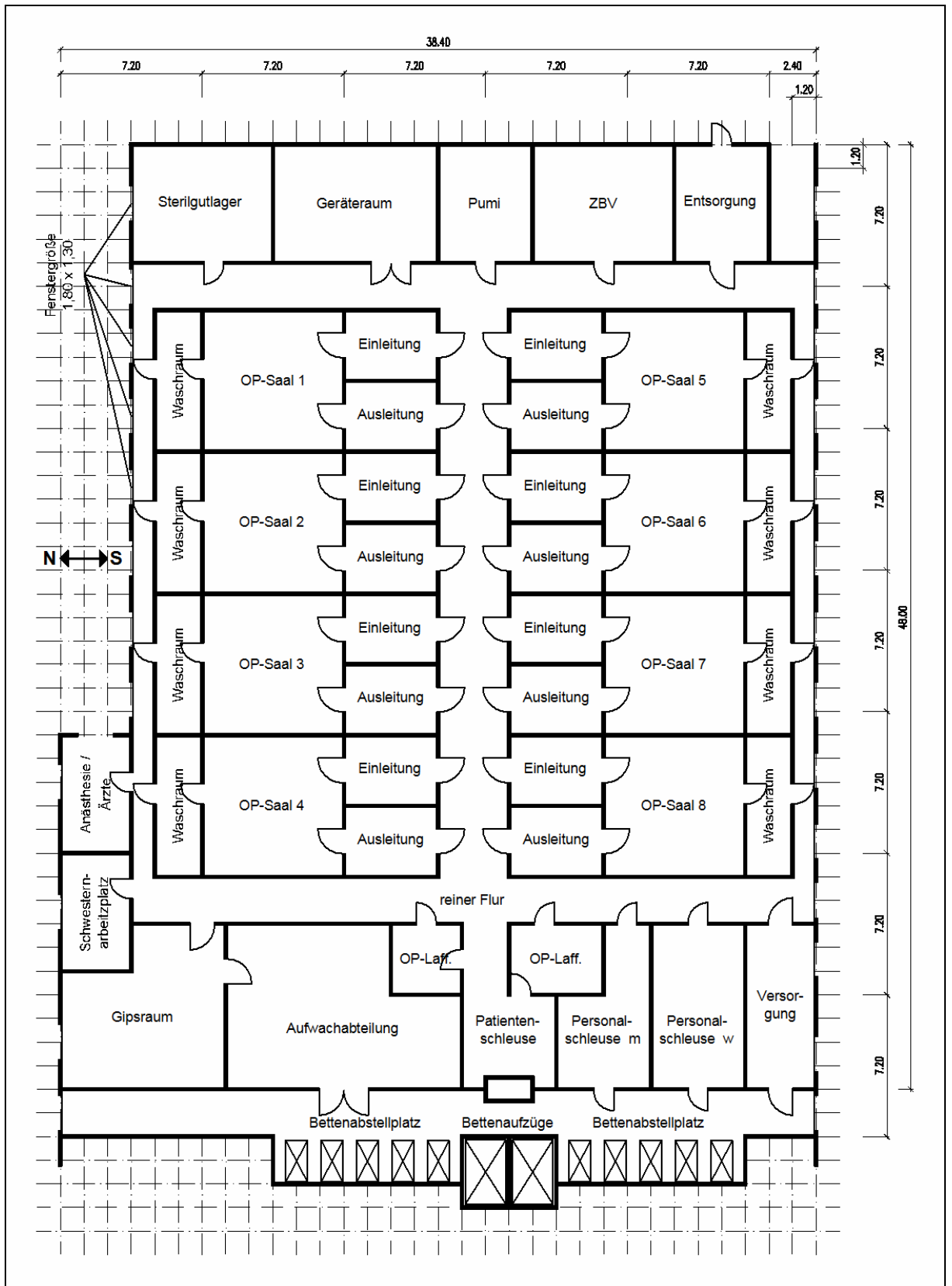


Abbildung 3.2.3.2/1: Referenz-OP-Abteilung ohne Einfluß der solaren Lasten auf die thermisch sensiblen Räume

Für die OP-Säle sind die Zuluft-Volumenströme und inneren Kühllasten nach 3.2.2.1 anzusetzen. Für die OP-Nebenräume gelten die nach DIN 1946/4 (03/1999), Tab. 2, erforderlichen hygienischen Mindest-Außenluft-Volumenströme. Damit ergeben sich folgende Flächen, Volumenströme und Kühllasten:

	Raum	Raumfläche m ²	Anz. d. Räume	Raumfläche gesamt m ²	spezif. Zuluft- volumen- strom	Zuluft- volumen- strom gesamt m ³ /h	spezif. innere Kühllast	innere Kühllast gesamt W
1	OP-Saal	49,7	8	397,6	4896,0 m ³ /h	39.168,0	3.050,0 W	24.400,0
2	Einleitung	16,0	8	128,0	15,0 m ³ /(hm ²)	1.920,0	23,3 W/m ²	2.982,4
3	Ausleitung	16,0	8	128,0	15,0 m ³ /(hm ²)	1.920,0	23,3 W/m ²	2.982,4
4	Waschraum	15,9	8	127,2	15,0 m ³ /(hm ²)	1.908,0	12,0 W/m ²	1.526,4
5	Geräteraum	48,3	1	48,3	15,0 m ³ /(hm ²)	724,5	12,0 W/m ²	579,6
6	Sterilgutlager	41,2	1	41,2	15,0 m ³ /(hm ²)	618,0	12,0 W/m ²	494,4
7	reiner Flur	281,2	1	281,2	15,0 m ³ /(hm ²)	4.218,0	12,0 W/m ²	3.374,4
8	Patientenschleuse	29,7	1	29,7	15,0 m ³ /(hm ²)	445,5	12,0 W/m ²	356,4
9	Personalschleuse m	29,7	1	29,7	15,0 m ³ /(hm ²)	445,5	12,0 W/m ²	356,4
10	Personalschleuse w	40,2	1	40,2	15,0 m ³ /(hm ²)	603,0	12,0 W/m ²	482,4
11	Versorgungsraum	29,8	1	29,8	15,0 m ³ /(hm ²)	447,0	12,0 W/m ²	357,6
12	Entsorgungsraum	27,0	1	27,2	15,0 m ³ /(hm ²)	408,0	12,0 W/m ²	326,4
13	ZBV-Raum	41,2	1	41,2	15,0 m ³ /(hm ²)	618,0	12,0 W/m ²	494,4
14	Pumi	20,2	1	20,2	15,0 m ³ /(hm ²)	303,0	12,0 W/m ²	242,4
15	Ärzteraum	27,2	1	27,2	15,0 m ³ /(hm ²)	408,0	12,0 W/m ²	326,4
16	Schwesterzimmer	27,2	1	27,2	15,0 m ³ /(hm ²)	408,0	12,0 W/m ²	326,4
17	Gipsraum	46,1	1	46,1	15,0 m ³ /(hm ²)	691,5	12,0 W/m ²	553,2
18	OP-Laffettenraum	27,9	1	27,9	15,0 m ³ /(hm ²)	418,5	12,0 W/m ²	334,8
19	Aufwachabteilung	95,8	1	95,8	30,0 m ³ /(hm ²)	2.874,0	30,3 W/m ²	2.902,7
	Summe			1.593,7		58.546,5		43.399,1

Tabelle 3.3.3.2/1: Flächen, Volumenströme und Kühllasten der OP-Abteilung

Summierte Daten der OP-Nebenräume (ohne OP-Säle):

Fläche	1.196,1 m ²
Innere Kühllast	18.999,1 W
Zuluftvolumenstrom	19.378,5 m ³ /h

3.2.3.3 Energieverbrauch OP-Nebenräume

Energieverbrauch für die thermische Luftaufbereitung

Die Berechnung erfolgt analog zu 3.2.2.1, Gleichung (14), (15). Die Heizlastberechnung (s. a. 3.2.2.1 Heizlast OP-Saal) ergibt folgendes Bild:

Bauteilbezeichnung	A m ²	U W/(m ² K)	ϑ_R °C	ϑ_{Au} °C	$\Delta\vartheta$ °C	\dot{Q}_{TI2} W
Innenwand Ost	97,08	1,4	24	15	9	1.223
Innenwand West	90,98	1,4	24	15	9	1.146
Innentüren	20,75	2	24	15	9	374
Decke/Fußboden	2.392,20	1,2	24	15	9	25.836
Außenwand Nord	130,32	0,5	24	-8	32	2.085
Außenfenster Nord	28,08	1	24	-8	32	899
Außenwand Süd	118,26	0,5	24	-8	32	1.892
Außenfenster Süd	25,74	1	24	-8	32	824
Summe Transmissionswärmebedarf						34.278

Tabelle 3.2.3.3/1: Transmissionsheizlast OP-Nebenräume

Es gilt im Tagbetrieb:

$$\begin{aligned}\dot{V}_{ZUT} &= 19.379 \text{ m}^3/\text{h} = 5,38 \text{ m}^3/\text{s} \\ \dot{Q}_{TI2} &= 34,728 \text{ kW} \\ \dot{Q}_{KiT} &= 18,999 \text{ kW}\end{aligned}$$

Es gilt im Nachtbetrieb

$$\begin{aligned}\dot{V}_{ZUN} &= 0,5 \cdot \dot{V}_{ZUT} = 0,5 \cdot 19.379 \text{ m}^3/\text{h} = 9.690 \text{ m}^3/\text{h} \\ \dot{V}_{ZUN} &= 2,69 \text{ m}^3/\text{s} \\ \dot{Q}_{TI2} &= 34,728 \text{ kW} \\ \dot{Q}_{kiN} &= 0,00 \text{ kW}\end{aligned}$$

Nach Gleichung (14) und (15) ergibt sich

	ϑ_{AUT} °C	h_{AUT} kJ/kg	t_T h/Mo	Q_{UT} kWh/Mo	ϑ_{AUN} °C	h_{AUN} kJ/kg	t_N h/Mo	Q_{UN} kWh/Mo
Januar	1,95	10,9	252	29.469	1,45	10,8	492	13.635
Februar	2,64	11,8	240	27.468	1,88	11	432	11.938
März	5,93	16,3	276	28.134	4,58	14,8	468	10.842
April	10,2	22,9	240	19.991	7,33	20	480	7.940
Mai	14,3	30,5	228	14.012	11,9	27,8	516	3.540
Juni	17,5	37,8	252	10.112	14	34	468	-793
Juli	18,5	41,3	264	7.832	15,4	37,1	480	-2.777
August	18,2	41,2	264	7.878	15,1	36,9	480	-2.696
September	16	36,5	264	11.484	13,1	33,1	456	-347
Oktober	11,7	28,5	252	16.757	9,8	26	492	4.189
November	6,28	18,8	252	23.756	5,38	17,8	468	8.853
Dezember	3,08	13,5	240	26.241	2,49	12,5	504	12.914
Summe				223.134				73.851

Tabelle 3.2.3.3/1: Außentemperaturen, Außenluftenthalpien, Betriebszeiten und Energieverbräuche OP-Nebenräume

Die Verbräuche für Juni – September haben ein negatives Vorzeichen, weil es sich hier um Kühlenergie handelt. Da im Nachtbetrieb jedoch keine Nutzung erfolgt, ist auch keine Kühlung erforderlich. Die Verbräuche bleiben bei der Summierung daher unberücksichtigt. Im Tagbetrieb wird Wärme in den Baukörper eingespeichert. Diese Wärme wird nachts, wenn die Außentemperatur niedriger ist als die Raumtemperatur, wieder entspeichert und mit dem Luftstrom aus dem Raum und dem Gebäude abgeführt. Dieser Zustand ist im Mittel ganzjährig der Fall, wie die mittleren Außentemperaturen ϑ_{AUN} im Nachtbetrieb zeigen (s. Tab. 3.2.3.3/1).

Es ergibt sich ein Gesamt-Jahresenergieverbrauch für die thermische Aufbereitung der Zuluft der OP-Nebenräume von

$$\underline{Q_U = 296.985 \text{ kWh/a.}}$$

Auch bei den OP-Nebenräumen können die Transmissionsheizlast und die Kühllast durch den baulichen Entwurf beeinflusst werden. Anders als bei den OP-Sälen werden hier jedoch erheblich kleinere Luftwechselzahlen gefahren. Wird durch eine sehr gute Dämmung der Wärmebedarf reduziert, kann die durch die inneren Wärmequellen frei gesetzte Wärme nur noch in geringem Umfang über die Fassade abfließen, sodass die Räume auch bei niedrigen Außentemperaturen bereits über die RLT-Anlage gekühlt werden müssen. Dies ist energetisch sehr ungünstig, da Kühlenergie aufwändig erzeugt werden muss und teuer ist.

Wie noch zu zeigen ist, führt ein ungünstiger Entwurf, bei dem hohe externe Kühllasten entstehen, zu einer Erhöhung der erforderlichen Zuluftvolumenströme, was zu einer Erhöhung des Gesamtenergieverbrauches führt. Eine Variation der Parameter, um festzustellen, ab wann eine Erhöhung oder Reduzierung der Heiz- und/oder Kühllast zu einer nennenswerten Veränderung des Energieverbrauches führt, wird deshalb an dieser Stelle nicht durchgeführt.

Elektrischer Energieverbrauch für Luftförderung

Die Berechnung erfolgt nach 3.2.2.1, Gleichung (21).

$$\dot{V}_{ZUT} = 19.379 \text{ m}^3/\text{h} = 5,38 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_V = \left(\frac{1}{0,64} \cdot (3.024 \text{ h/a} \cdot 5,38 \text{ m}^3/\text{s} \cdot (1.100 \text{ Pa} + 800 \text{ Pa}) + (365 \text{ d/a} \cdot 24 \text{ h/d} - 3.024 \text{ h/a}) \cdot \right.$$

$$\left. 5,38 \text{ m}^3/\text{s} \cdot 0,5 \cdot (1.100 \text{ Pa} \cdot 0,5^2 + 800 \text{ Pa} \cdot 0,5^2)) \right) \cdot \frac{1}{1.000}$$

$$\underline{Q_V = 59.751 \text{ kWh/a}}$$

Elektrischer Energieverbrauch für Beleuchtung

In den OP-Nebenräumen ist die Beleuchtung während der gesamten Nutzungsdauer in Betrieb. Der Energieverbrauch ergibt sich aus der elektrischen Anschlussleistung und der Betriebszeit. In allen OP-Nebenräumen gilt eine einheitliche Beleuchtungsstärke von 500 lx. Für die Ein- und Ausleitungsräume wurde ermittelt (vgl. 3.2.3.1):

$$\begin{array}{ll} \text{Beleuchtung allgemein} & P_{el} = 10,1 \text{ W/m}^2 \\ \text{Einzelleuchte} & P_{el} = 3,1 \text{ W/m}^2 \end{array}$$

Die Einzelleuchten sind nur in den Ein- und Ausleitungsräumen. Der elektrische Energieverbrauch für die Beleuchtung wird nach Gleichung (24), (25) bestimmt:

Ein-/Ausleitungsräume

$$Q_B = (10,1 \text{ W/m}^2 + 3,1 \text{ W/m}^2) \cdot 256 \text{ m}^2 \cdot 3.024 \text{ h/a} \cdot 1/1.000 = 10.219 \text{ kWh/a}$$

Übrige OP-Nebenräume

$$Q_B = 10,1 \text{ W/m}^2 \cdot (1.196 \text{ m}^2 - 256 \text{ m}^2) \cdot 3.024 \text{ h/a} \cdot 1/1.000 = 28.710 \text{ kWh/a}$$

Energieverbrauch für Beleuchtung gesamt

$$Q_B = 10.219 \text{ kWh/a} + 28.710 \text{ kWh/a}$$

$$\underline{Q_B = 38.929 \text{ kWh/a}}$$

Elektrischer Energieverbrauch für Geräte

Ähnlich wie im OP-Saal ist es auch in den OP-Nebenräumen kaum möglich, eine exakte allgemeine Bestimmung der eingesetzten Geräte und ihrer Betriebszeiten vorzunehmen. Auch hier richtet sich die Verwendung ausschließlich nach medizinischen Notwendigkeiten und Gesichtspunkten. Der Einsatz von medizinischen Geräten in der OP-Abteilung erfolgt, neben den Operationssälen, jedoch in erster Linie in den Ein- und Ausleitungsräumen und im Aufwachraum. Es gelten dieselben Betriebszeiten wie bei der Beleuchtung. Der elektrische Energieverbrauch für die Geräte wird nach Gleichung (26) bestimmt:

Ein- und Ausleitungsräume

$$Q_M = 6,3 \text{ W/m}^2 \cdot 256 \text{ m}^2 \cdot 3.024 \text{ h/a} \cdot 1/1.000$$

$$Q_M = 4.877 \text{ kWh/a}$$

Aufwachraum

$$Q_M = 12,6 \text{ W/m}^2 \cdot 95,8 \text{ m}^2 \cdot 3.024 \text{ h/a} \cdot 1/1.000$$

$$Q_M = 3.650 \text{ kWh/a}$$

Sonstige OP-Nebenräume

In den übrigen OP-Nebenräumen sind nur vereinzelt und kurzfristig Geräte in Betrieb. Der Energieverbrauch hierfür ist vernachlässigbar gering.

Energieverbrauch für Geräte gesamt

$$Q_M = 4.877 \text{ kWh/a} + 3.650 \text{ kWh/a}$$

$$\underline{Q_M = 8.527 \text{ kWh/a}}$$

Energieverbrauch für Warmwasser

Waschzwecke

Die Operateure müssen sich vor und nach der Operation aus hygienischen Gründen an Waschanlagen außerhalb des OP-Saales die Hände und Arme waschen. Der Waschvorgang dauert jeweils 180 Sekunden. Der Energieverbrauch ist von der Anzahl der Operateure, der Häufigkeit der Operationen und der Temperatur des Wassers abhängig.

$$Q_W = n_{OP} \cdot n_O \cdot n_{OPS} \cdot n_{Arb} \cdot n \cdot t_{Wasch} \cdot Q_{Arm} \cdot (\vartheta_{WW} - \vartheta_{KW}) \cdot (100\% + \eta_V) / 100\% \cdot c_W \quad (32)$$

mit

Anzahl der Operateure je Operation	n_{OP}	=	4 Pers./OP
Anzahl der Operationen je Arbeitstag	n_O	=	5 OP/d
Anzahl der OP-Säle	n_{OPS}	=	8
Anzahl der jährlichen Arbeitstage	n_{Arb}	=	252 d/a
Anzahl der Waschvorgänge je Operation und Operateur	n	=	2 1/Pers
Dauer des einzelnen Waschvorganges	t_{Wasch}	=	3 Min
Durchfluss der Armatur (mit Durchflussbegrenzung)	Q_{Arm}	=	12 kg/Min
Warmwassertemperatur	ϑ_{WW}	=	42 °C
Kaltwassertemperatur	ϑ_{KW}	=	10 °C
Verteilungsverluste	η_V	=	20 %
Spezifische Wärmekapazität von Wasser	c_W	=	4,182 kJ/(kg · K)

$$Q_W = 4 \text{ Pers/OP} \cdot 8 \cdot 5 \text{ OP/d} \cdot 252 \text{ d/a} \cdot 2 \text{ 1/Pers} \cdot 3 \text{ Min} \cdot 12 \text{ kg/Min} \cdot (42 \text{ °C} - 10 \text{ °C})$$

$$\cdot 1,2 \cdot 4,182 \text{ kJ/(kg·K)} \cdot 1/3.600 \text{ kWh/kJ}$$

$$Q_W = 129.496 \text{ kWh/a}$$

Reinigungszwecke

Der gesamte Bereich der OP-Nebenräume ist mindestens einmal pro Arbeitstag zu reinigen und zu desinfizieren. Teilbereiche, z. B. die Ein- und Ausleitungsräume, müssen je nach Erfordernis auch mehrfach gereinigt werden. Der Verbrauch an Warmwasser unterliegt starken Schwankungen und lässt sich nur abschätzen.

Warmwasserverbrauch

$$q_R = \text{spezifischer Warmwasserverbrauch} = 0,2 \text{ l}/(\text{m}^2 \cdot \text{d}) = 0,2 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$$

$$Q_R = q_R \cdot A_R \cdot n_{\text{Arb}} \cdot (\vartheta_{\text{WW}} - \vartheta_{\text{KW}}) \cdot (100\% + \eta_V) / 100\% \cdot c_W \quad (33)$$

$$Q_R = 0,2 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{d}) \cdot 1.196 \text{ m}^2 \cdot 252 \text{ d/a} \cdot (42 \text{ }^\circ\text{C} - 10 \text{ }^\circ\text{C}) \cdot 1,2 \cdot 4,182 \text{ kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K}) \cdot 1/3.600 \text{ kWh/kJ}$$

$$Q_R = 2.689 \text{ kWh/a}$$

Energieverbrauch für Warmwasser gesamt:

$$Q_{\text{WW}} = Q_W + Q_R = 129.496 \text{ kWh/a} + 2.689 \text{ kWh/a}$$

$$\underline{Q_{\text{WW}} = 132.185 \text{ kWh/a}}$$

Damit ergibt sich folgendes Bild des Energieverbrauches, des Primärenergieverbrauches und der Energiekosten in den OP-Nebenräumen:

	Energieverbrauch		Primärenergie-Faktor	Primärenergieverbrauch		Energiekosten		
	absolut kWh/a	relativ %		absolut kWh/a	relativ %	spezifisch €/kWh	absolut €/a	relativ %
Thermische Energie für Luftaufbereitung	296.985	55,4	1,1	326.684	41,2	0,0227	6.742	25,1
Elektrische Energie für Luftförderung	59.751	11,1	3,0	179.253	22,6	0,1591	9.506	35,5
Elektrische Energie für Beleuchtung	38.929	7,3	3,0	116.787	14,7	0,1591	6.194	23,1
Elektrische Energie für Geräte	8.527	1,6	3,0	25.281	3,2	0,1591	1.357	5,1
Thermische Energie für Warmwasser	132.185	24,6	1,1	145.404	18,3	0,0227	3.001	11,2
Summe	536.377	100,0		793.409	100,0		26.800	100,0

Tabelle 3.2.3.3/2: Energieverbrauch, Primärenergieverbrauch, Energiekosten der OP-Nebenräume

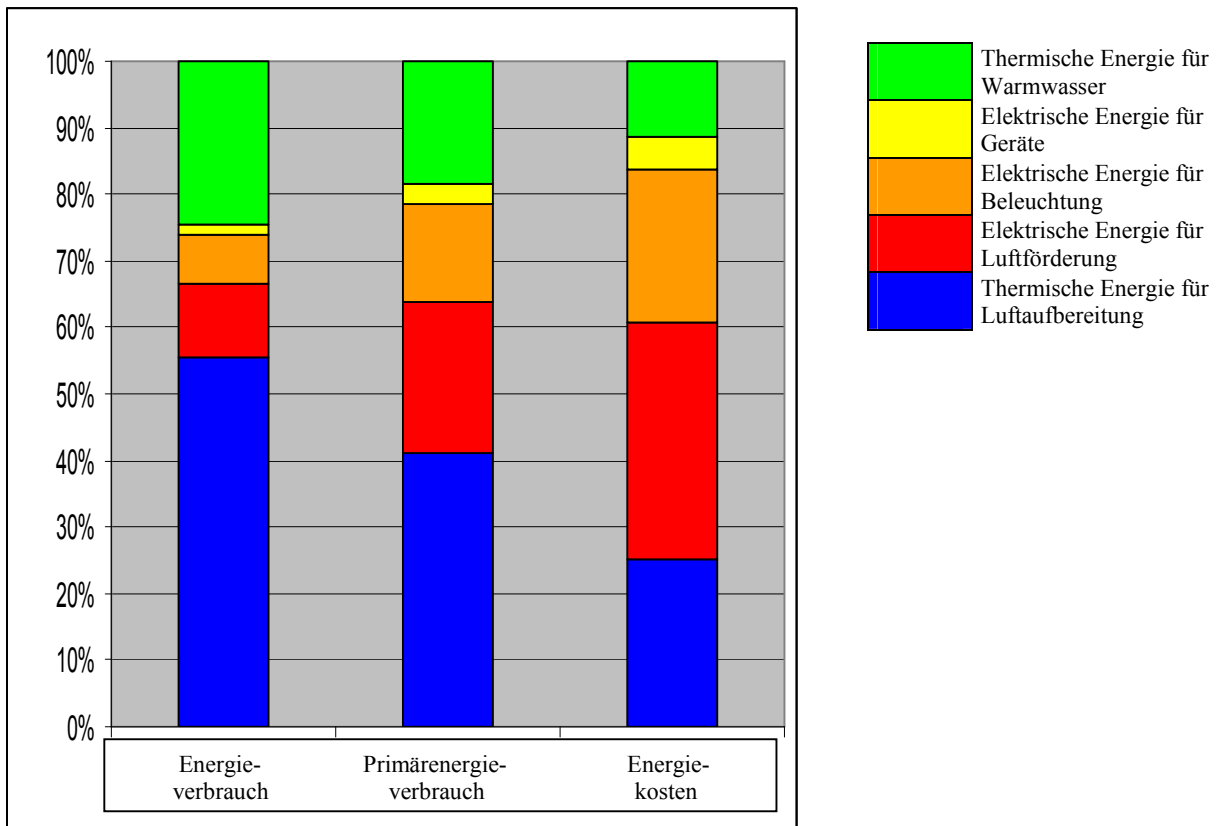


Abbildung 3.2.3.3/1: Säulendiagramm Energieverbrauch, Primärenergieverbrauch, Energiekosten der OP-Nebenräume

3.2.3.4 Energieverbrauch OP-Nebenräume bei ungünstigen Installationsverhältnissen

Auch in den OP-Nebenräumen besteht ein erheblicher Raumbedarf für technische Installationen. Den mit Abstand größten Anteil nimmt, wie in den OP-Sälen, die RLT-Anlage ein, da erhebliche Luftmengen bewegt werden müssen. Daher gilt auch hier, dass für eine im Betrieb möglichst energiesparende Installation ausreichend Platz vorhanden sein muss. Steht dieser Raum in Technikgeschossen oder in abgehängten Decken nicht zur Verfügung, so entsteht ein zusätzlicher Energieverbrauch insbesondere für die Luftförderung.

Ist eine Erhöhung der Strömungsgeschwindigkeit in den Luftkanälen von $v_1 = 3,5$ m/s, wie sie der Berechnung gemäß Gleichung (21) zu Grunde liegt, auf $v_2 = 5,5$ m/s erforderlich, so steigen die erforderlichen Differenzdrücke der Zu- und Abluftventilatoren erheblich an. Es ergibt sich:

$$\Delta p_{ZUT} = 2.245 \text{ Pa}$$

$$\Delta p_{ABT} = 1.633 \text{ Pa}$$

Mit Gleichung (21) wird der Energieverbrauch für die Luftförderung bestimmt.

$$\underline{Q_V = 121.954 \text{ kWh/a}}$$

Damit verändert sich das Gesamtbild des Energieverbrauchs der OP-Nebeneräume:

	Energieverbrauch		Primärenergie-Faktor	Primärenergieverbrauch		Energiekosten		
	absolut kWh/a	relativ %		absolut kWh/a	relativ %	spezifisch €/kWh	absolut €/a	relativ %
Thermische Energie für Luftaufbereitung	296.985	49,6	1,1	326.684	33,3	0,0227	6.742	18,4
Elektrische Energie für Luftförderung	121.954	20,4	3,0	365.862	37,3	0,1591	19.403	52,8
Elektrische Energie für Beleuchtung	338.929	6,5	3,0	116.787	11,9	0,1591	6.194	16,9
Elektrische Energie für Geräte	8.527	1,4	3,0	25.581	2,6	0,1591	1.357	3,7
Thermische Energie für Warmwasser	132.185	22,1	1,1	145.404	14,8	0,0227	3.001	8,2
Summe	598.580	100,0		980.318	100,0		36.697	100,0

Tabelle 3.2.3.4/1: Energieverbrauch, Primärenergieverbrauch, Energiekosten der OP-Nebeneräume bei ungünstigen Installationsverhältnissen

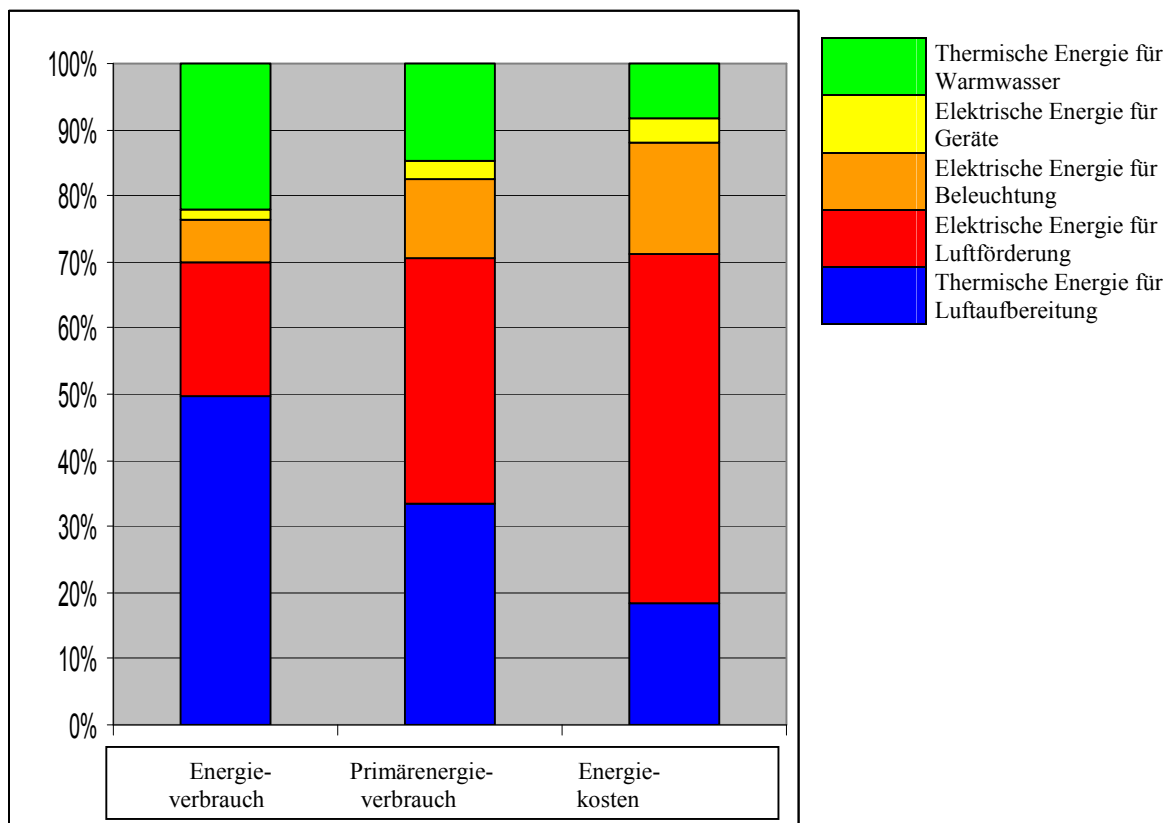


Abbildung 3.2.3.4/1: Säulendiagramm Energieverbrauch, Primärenergieverbrauch, Energiekosten der OP-Nebenträume bei ungünstigen Installationsverhältnissen

Der Energieverbrauch für die Luftförderung verdoppelt sich nahezu bei ungünstigen Installationsverhältnissen. Die Kosten für die Luftförderung erhöhen sich um fast 49 % und verursachen mehr als die Hälfte der Gesamt-Energiekosten. Dies macht deutlich, dass hier ein erhebliches wirtschaftliches Potenzial vorhanden ist, das mit dem Entwurf des Architekten aktiviert werden kann.

3.2.3.5 Referenz-OP-Abteilung mit solaren Einträgen

Wenn die solaren Lasten jedoch, anders als bisher betrachtet, die thermisch sensiblen Räume belasten, ergeben sich erhebliche Konsequenzen auf die erforderlichen Volumenströme. Der ungünstigste Fall ist dabei eine West-Ost-Orientierung der transparenten Flächen, da dann auf beiden Fassadenseiten hohe solare Einträge entstehen. Aus VDI 2078, (07/1996), Tabelle A11 - Monatliche Maxima der Gesamtstrahlung durch zweifach verglaste Flächen – kann entnommen werden, dass von April bis Juli annähernd gleich hohe solare Maxima sowohl auf der Ost- als auch auf der Westseite entstehen.

Jahreszeit	Himmelsrichtung									
	Normal	NO	O	SO	S	SW	W	NW	N*)	Horizontal
Januar	650	45	279	526	612	526	279	45	46	168
Februar	706	68	373	581	627	581	373	68	59	286
März	762	179	477	607	599	607	477	179	74	455
April	780	307	551	570	509	570	551	307	86	585
Mai	778	384	563	507	400	507	563	384	93	659
Juni	747	385	533	458	347	458	533	385	97	657
Juli	743	357	528	481	385	481	528	357	94	631
August	739	278	508	534	483	534	508	278	87	554
September	716	154	433	565	563	565	433	154	76	431
Oktober	705	68	376	581	626	581	376	68	58	286
November	622	45	259	498	586	498	259	45	45	161
Dezember	586	38	202	464	561	464	202	38	38	113

*) N-Maxima bezogen auf Trübungs-Mittelwerte

Tabelle 3.2.3.5/1: VDI 2078 (07/1996), Tabelle A11³³

Aus den Tabellen B2 bzw. B3 geht hervor, dass diese Strahlungsmaxima morgens auf der Ost- und nachmittags auf der Westseite entstehen. Höhere Gesamtstrahlungsmaxima treten im Oktober auf, jedoch nur kurzzeitig auf der Südseite.

Aus diesem Grund führt eine West-Ost-Orientierung der Fassaden zwar zu kleineren Gesamtmaxima als eine Südorientierung. Es treten jedoch höhere Energieverbräuche ein, da die durchschnittliche Kühllast während der Betriebszeit (6:00 Uhr – 18:00 Uhr) höher ist. Hinzu kommt, dass vor allem auf der Südseite in den Wintermonaten zwar auch erhebliche Strahlungsmaxima entstehen, der Wärmeverlust aber wegen der niedrigen Außentemperaturen höher ist. Darüber hinaus braucht die Außenluft in diesen Monaten nicht künstlich gekühlt zu werden.

Es entsteht somit eine Kühllast, die über die RLT-Anlage abzuführen ist, wenn

- die Außentemperatur höher ist als die erforderliche Zulufttemperatur und
- die Summe der Kühllasten größer ist als die Summe der Heizlasten.

Für die weiteren Betrachtungen wird daher als ungünstigster Fall eine West-Ost-Orientierung der transparenten Außenflächen zu Grunde gelegt. Die Kühllast verringert sich durch äußere Beschattung um 50 %. Die Volumenströme sind neu zu bestimmen und darauf aufbauend ist der Energieverbrauch neu zu ermitteln.

³³ VDI 2078 (07/1996), Tabelle A11

Die Referenz-OP-Abteilung nach Abbildung 3.2.3.2/1 wird entsprechend modifiziert.

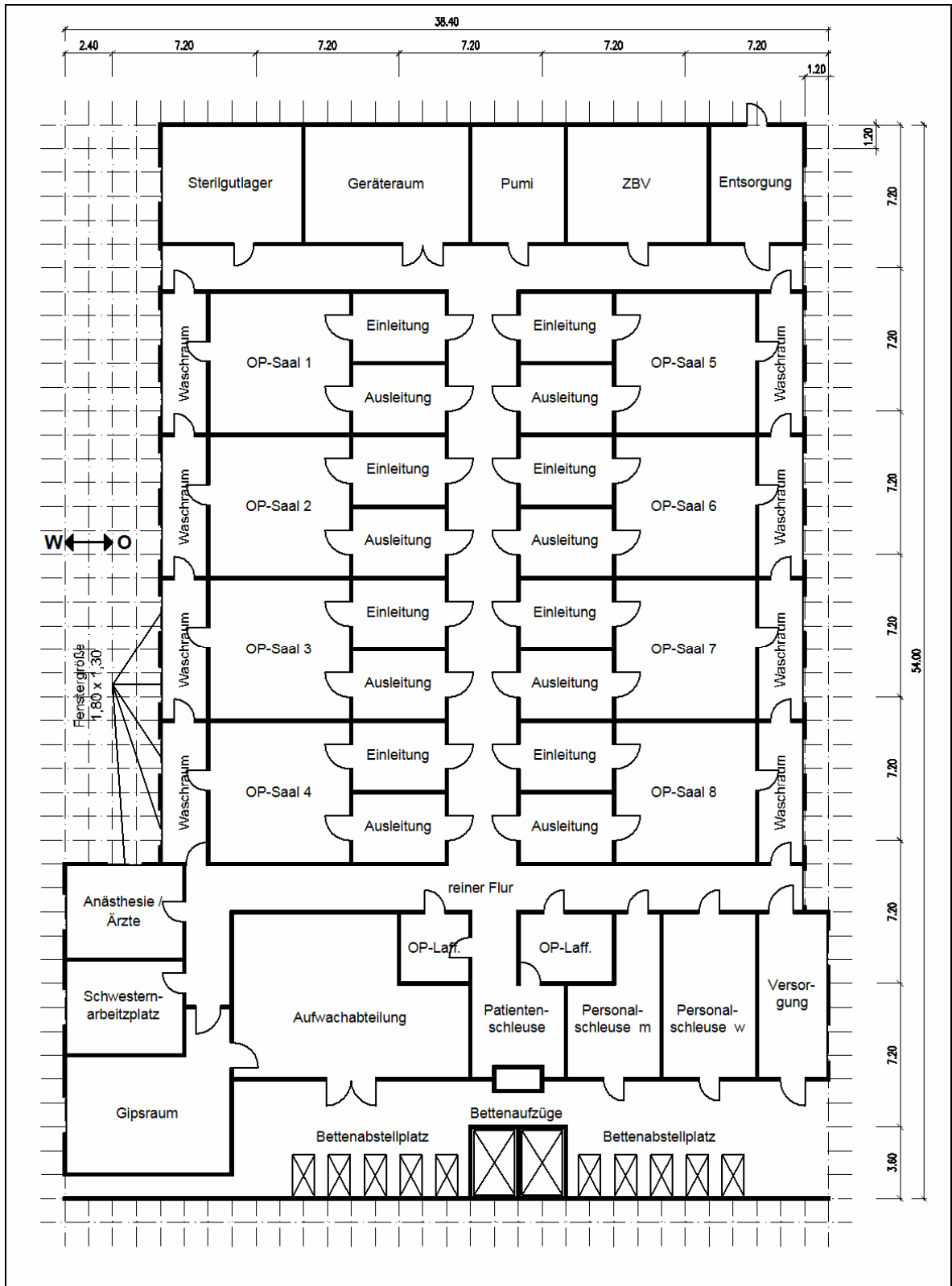


Abbildung 3.2.3.5/1: Referenz-OP-Abteilung mit solaren Einträgen

Waschraum

Fensterfläche	$A_F = 2 \cdot 1,80 \text{ m} \cdot 1,30 \text{ m} = 4,68 \text{ m}^2$
Orientierung	West
Solarstrahlung maximal	563 W/m ² (VDI 2078 (07/1996), Tabelle A11, für Mai)
externe solare Last	$\dot{Q}_S = 4,68 \text{ m}^2 \cdot 563 \text{ W} \cdot 0,5 = 1.317 \text{ W}$ $\dot{Q}_S = 1.317 \text{ W}$
Außenwandfläche	$A_W = 7,05 \text{ m} \cdot 3,0 \text{ m} - A_F = 21,15 \text{ m}^2 - 4,68 \text{ m}^2$ $A_W = 16,47 \text{ m}^2$
Wärmedurchgangskoeffizient	$U_{AW} = 0,5 \text{ W/m}^2$
Außentemperatur	$\vartheta_{AU} = 32 \text{ }^\circ\text{C}$
Innentemperatur	$\vartheta_i = 24 \text{ }^\circ\text{C}$
Externe Last durch Transmission	$\dot{Q}_T = U_{AW} \cdot A_{AW} \cdot (\vartheta_{AU} - \vartheta_i)$ $\dot{Q}_T = 0,5 \text{ W/(m}^2 \text{ K)} \cdot 16,47 \text{ m}^2 \cdot (32 \text{ }^\circ\text{C} - 24 \text{ }^\circ\text{C})$ $\dot{Q}_T = 65,88 \text{ W}$

Der Anteil der externen Lasten durch Transmission ist im Vergleich zur solaren Last gering. Für die Betrachtung der Lastverhältnisse sind deshalb die transparenten Außenflächen entscheidend. Der erforderliche Zuluftvolumenstrom ergibt sich wie folgt:

Innere Kühllast	$\dot{Q}_{Ki} = 372 \text{ W}$
Solare Kühllast	$\dot{Q}_S = 1.317 \text{ W}$
Transmissions-Kühllast	$\dot{Q}_{KT} = 66 \text{ W}$

$$\text{Gesamtkühllast} \quad \dot{Q}_K = 1.755 \text{ W}$$

$$\text{Spezifische Kühllast} \quad q_K = \frac{1.755 \text{ W}}{15,9 \text{ m}^2} = 110,4 \text{ W/m}^2$$

Enthalpiedifferenz Außenluft-Raumluft: $\Delta h = 49 \text{ kJ/kg} - 42,5 \text{ kJ/kg} = 6,5 \text{ kJ/kg}$
 $\rho_L = 1,165 \text{ kg/m}^3$

$$\dot{V}_{ZU} = \frac{\dot{Q}_K}{\Delta h \cdot \rho_L}$$

$$\dot{V}_{ZU} = \frac{1,755 \text{ kW}}{6,5 \text{ kJ/kg} \cdot 1,165 \text{ kg/m}^3} \cdot 3.600 \text{ s/h} = 834,3 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\underline{\dot{V}_{ZU} = 834 \text{ m}^3/\text{h}}$$

Raumfläche $A_R = 15,9 \text{ m}^2$

Damit ergibt sich der erforderliche spezifische Zuluftvolumenstrom :

$$v_{ZU} = \frac{834 \text{ m}^3/\text{h}}{15,9 \text{ m}^2}$$

$$\underline{v_{ZU} = 52,5 \text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)}$$

Ärzteraum

Externe Last durch Transmission $\dot{Q}_{KT} = U_{AW} \cdot A_{AW} \cdot (\vartheta_{AU} - \vartheta_i)$
 $\dot{Q}_{KT} = 0,5 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K}) \cdot 27,72 \text{ m}^2 \cdot (32 \text{ }^\circ\text{C} - 24^\circ\text{C})$
 $\dot{Q}_{KT} = 110,88 \text{ W}$

Innere Kühllast $\dot{Q}_{Ki} = 280 \text{ W}$

Solare Kühllast $\dot{Q}_S = 1.317 \text{ W}$

Transmissions-Kühllast $\dot{Q}_{KT} = 111 \text{ W}$

Gesamtkühllast $\dot{Q}_K = 1.708 \text{ W}$

Spezifische Kühllast $q_K = \frac{1.708 \text{ W}}{27,2 \text{ m}^2} = 62,8 \text{ W}/\text{m}^2$

$$\dot{V}_{ZU} = \frac{1,708 \text{ kW}}{6,5 \text{ kJ}/\text{kg} \cdot 1,165 \text{ kg}/\text{m}^3} \cdot 3.600 \text{ s}/\text{h}$$

$$\underline{\dot{V}_{ZU} = 812 \text{ m}^3/\text{h}}$$

Raumfläche $A_R = 27,2 \text{ m}^2$

Damit ergibt sich der erforderliche spezifische Zuluftvolumenstrom :

$$v_{ZU} = \frac{812 \text{ m}^3/\text{h}}{27,2 \text{ m}^2} = 29,9 \text{ m}^3/(\text{h m}^2)$$

$$\underline{v_{ZU} = 29,9 \text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)}$$

Schwesternraum

Externe Last durch Transmission $\dot{Q}_{KT} = U_{AW} \cdot A_{AW} \cdot (\vartheta_{AU} - \vartheta_i)$
 $\dot{Q}_{KT} = 0,5 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K}) \cdot 15,21 \text{ m}^2 \cdot (32 \text{ }^\circ\text{C} - 24 \text{ }^\circ\text{C})$
 $\dot{Q}_{KT} = 60,84 \text{ W}$

Innere Kühllast $\dot{Q}_{Ki} = 280 \text{ W}$

Solare Kühllast $\dot{Q}_S = 659 \text{ W}$

Transmissions-Kühllast $\dot{Q}_{KT} = 61 \text{ W}$

Gesamtkühllast $\dot{Q}_K = 1.000 \text{ W}$

Spezifische Kühllast $q_K = \frac{1.000 \text{ W}}{27,2 \text{ m}^2} = 36,8 \text{ W}/\text{m}^2$

$$\dot{V}_{ZU} = \frac{1,000 \text{ kW}}{6,5 \text{ kJ/kg} \cdot 1,165 \text{ kg/m}^3} \cdot 3.600 \text{ s/h} = 475,4 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\underline{\dot{V}_{ZU} = 475 \text{ m}^3/\text{h}}$$

$$\text{Raumfläche } A_R = 27,2 \text{ m}^2$$

Damit ergibt sich der erforderliche spezifische Zuluftvolumenstrom :

$$v_{ZU} = \frac{475 \text{ m}^3/\text{h}}{27,2 \text{ m}^2}$$

$$\underline{v_{ZU} = 17,5 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)}$$

Gipsraum

Externe Last durch Transmission	$\dot{Q}_{KT} = U_{AW} \cdot A_{AW} \cdot (g_{AU} - g_i)$
	$\dot{Q}_{KT} = 0,5 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K}) \cdot 15,21 \text{ m}^2 \cdot (32 \text{ }^\circ\text{C} - 24 \text{ }^\circ\text{C})$
	$\dot{Q}_{KT} = 60,84 \text{ W}$

Innere Kühllast	$\dot{Q}_{Ki} = 475 \text{ W}$
-----------------	--------------------------------

Solare Kühllast	$\dot{Q}_S = 659 \text{ W}$
-----------------	-----------------------------

Transmissions-Kühllast	$\dot{Q}_{KT} = 61 \text{ W}$
------------------------	-------------------------------

Gesamtkühllast	$\dot{Q}_K = 1.195 \text{ W}$
----------------	-------------------------------

Spezifische Kühllast	$q_K = \frac{1.195 \text{ W}}{46,1 \text{ m}^2} = 25,9 \text{ W/m}^2$
----------------------	---

$$\dot{V}_{ZU} = \frac{1,195 \text{ kW}}{6,5 \text{ kJ/kg} \cdot 1,165 \text{ kg/m}^3} \cdot 3.600 \text{ s/h} = 568,1 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\underline{\dot{V}_{ZU} = 568 \text{ m}^3/\text{h}}$$

$$\text{Raumfläche } A_R = 46,1 \text{ m}^2$$

Damit ergibt sich der erforderliche spezifische Zuluftvolumenstrom :

$$v_{ZU} = \frac{568 \text{ m}^3/\text{h}}{46,1 \text{ m}^2} = 12,3 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$$

Im Gipsraum ist der hygienische Mindestaußenluftstrom anzusetzen, da mit dieser Luftmenge alle Kühllasten abgeführt werden können.

$$\underline{v_{ZU} = 15 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)}$$

Für den Versorgungsraum erfolgt auch bei einer Lasterhöhung durch solaren Eintrag keine Erhöhung der Luftmenge, da ein temporärer Temperaturanstieg toleriert wird. Der solare Eintrag in den Flur ist vernachlässigbar gering und führt nicht zu einer Erhöhung der Luftmenge.

Die Einleitungsräume zeigen, dass bei einem ungünstigen Entwurf mit hohen solaren Einträgen die Zuluftmenge der betreffenden Räume u. U. bis zum 3,5-fachen der hygienischen Mindest-Außenluftmenge gesteigert werden muss. Reduzierungen des solaren Eintrages sind möglich, wenn Zusatzmaßnahmen, z.B. äußere Beschattungen oder Sonnenschutzgläser getroffen werden.

Auch wenn der solare Eintrag bei Räumen mit entgegen gesetzter Himmelsrichtungs-Orientierung der Fassaden jahres- und tageszeitlich unterschiedlich auftritt, müssen die Volumenströme auf den maximalen Lastfall ausgelegt werden, um zu jeder Zeit die geforderten Raumkonditionen halten zu können. Reduzierungen der Luftmengen im Betrieb sind nur mit aufwändigen anlagen- und regelungstechnischen Maßnahmen, z.B. variablen Volumenströmen, möglich. Unabhängig davon muss die RLT-Anlage jedoch auf den maximalen Lastfall dimensioniert werden. Darüber hinaus bewirken schwankende Volumenströme in Teilbereichen instabile Regelzustände der gesamten RLT-Anlage, was wegen der hohen Anforderungen an die Druckstufen zwischen den Räumen problematisch ist. Aus diesen Gründen sind solche Systeme zu vermeiden.

Ungünstige Entwurfsituationen, die hohe solare Einträge bewirken, erzeugen daher z. T. erhebliche Erhöhungen der Luftmengen. Die Auswirkungen auf die Zuluftvolumenströme zeigt nachfolgende Tabelle:

	Raum	Raumfläche m ²	Anz. d. Räume	Raumfläche gesamt	spezif. Zuluftvolumenstrom		Zuluftvolumenstrom gesamt m ³ /h	spezif. Kühllast		Kühllast gesamt W
1	OP-Saal	49,7	8	397,6	4.896,0	m ³ /h	39.168,0	3050,0	W	24.400,0
2	Einleitung	16,0	8	128,0	15,0	m ³ /(hm ²)	1.920,0	20,2	W/m ²	2.585,6
3	Ausleitung	16,0	8	128,0	15,0	m ³ /(hm ²)	1.920,0	20,2	W/m ²	2.585,6
4	Waschraum	15,9	8	127,2	52,5	m ³ /(hm ²)	6.678,0	110,4	W/m ²	14.042,9
5	Geräteraum	48,3	1	48,3	15,0	m ³ /(hm ²)	724,5	10,3	W/m ²	497,5
6	Sterilgutlager	41,2	1	41,2	15,0	m ³ /(hm ²)	618,0	10,3	W/m ²	424,4
7	reiner Flur	218,7	1	218,7	15,0	m ³ /(hm ²)	3.280,5	10,3	W/m ²	2.252,6
8	Patientenschleuse	29,7	1	29,7	15,0	m ³ /(hm ²)	445,5	10,3	W/m ²	305,9
9	Personalsschleuse m	29,7	1	29,7	15,0	m ³ /(hm ²)	445,5	10,3	W/m ²	305,9
10	Personalsschleuse w	40,2	1	40,2	15,0	m ³ /(hm ²)	603,0	10,3	W/m ²	414,1
11	Versorgungsraum	29,8	1	29,8	15,0	m ³ /(hm ²)	447,0	10,3	W/m ²	306,9
12	Entsorgungsraum	27,0	1	27,2	15,0	m ³ /(hm ²)	408,0	10,3	W/m ²	280,2
13	ZBV-Raum	41,2	1	41,2	15,0	m ³ /(hm ²)	618,0	10,3	W/m ²	424,4
14	Pumi	20,2	1	20,2	15,0	m ³ /(hm ²)	303,0	10,3	W/m ²	208,1
15	Ärzteraum	27,2	1	27,2	29,9	m ³ /(hm ²)	813,3	62,8	W/m ²	1.708,2
16	Schwesternraum	27,2	1	27,2	17,5	m ³ /(hm ²)	476,0	36,8	W/m ²	1.001,0
17	Gipsraum	46,1	1	46,1	15,0	m ³ /(hm ²)	691,5	25,9	W/m ²	1.194,0
18	OP-Laffettenraum	27,9	1	27,9	15,0	m ³ /(hm ²)	418,5	10,3	W/m ²	287,4
19	Aufwachabteilung	95,8	1	95,8	30,0	m ³ /(hm ²)	2.874,0	25,9	W/m ²	2.481,2
	Summe			1.531,2			62.852,3			55.705,6

Tabelle 3.2.3.5/2: Flächen, Volumenströme und Kühllasten OP-Abteilung mit Berücksichtigung der solaren Lasten

Summierte Daten der OP-Nebenräume (ohne OP-Säle):

Fläche	1.133,6 m ²
Innere Kühllast	31.305,6 W
Zuluftvolumenstrom	23.684,3 m ³ /h

Bei ungünstigem Entwurf erhöht sich der Zuluftvolumenstrom für die OP-Nebenräume also auf 23.684,3 m³/h. Dies entspricht einer Steigerung von 22,2 %, was zwangsläufig Auswirkungen auf den Energieverbrauch und die Investitionskosten der gebäudetechnischen Ausrüstung hat.

Die Summe der Kühllasten erhöht sich um 12.093,4 W auf 55.705,7 W, entsprechend 28,4 %. Die maximal zu erwartende Kühllast liegt jedoch deutlich darunter, da hohe solare Gewinne nie von zwei Seiten gleichzeitig auftreten. Die höchsten solaren Einträge auf vertikale Außenwandflächen oder –bauteile ergeben sich, wenn die Sonne tief steht und ihre Strahlung bereits eine hohe Intensität hat. Dieser Zustand tritt auf Ost- oder Westfassaden im Frühjahr oder Frühherbst ein. Im Sommer ist die Intensität zwar ähnlich hoch, sie wirkt sich jedoch auf vertikale Flächen nicht so stark aus, weil die Sonne sehr steil steht und die Zeiten, in denen die Strahlung flach von Westen oder Osten wirkt, nur sehr kurz sind. Das Strahlungsmaximum im Sommer liegt deshalb auf der Südseite auf horizontalen Flächen. Trotzdem ergeben sich aus der Erhöhung der Zuluftmenge und der Kühllasten Auswirkungen auf den Energieverbrauch und die Investitionskosten.

3.2.3.6 Energieverbrauch OP-Nebenräume mit solaren Einträgen

Sofern aufgrund des Entwurfes hohe solare Einträge in thermisch sensiblen Räumen entstehen, werden die Maximallasten dieser Räume erhöht. Dies hat, wie bereits gezeigt, eine Erhöhung der für diese Räume notwendigen Zuluftvolumenströme zur Folge und zieht erhöhte Energieaufwendungen für die Luftförderung nach sich.

Darüber hinaus müssen jedoch auch die Kühllasten aus diesen Räumen durch eine aufwändigere Aufbereitung der Zuluft abgeführt werden. Hierfür ist ein zusätzlicher thermischer Energieverbrauch erforderlich. Für die Bestimmung dieses Energieverbrauches wird die Referenz-OP-Abteilung gemäß Abbildung 3.2.3.5/1 zu Grunde gelegt.

Der solare Eintrag führt zu einer Erhöhung der Kühllast, die wiederum die Heizlast vermindert. Für den solaren Eintrag werden Durchschnittswerte nach VDI 2078 (07/1996), verwendet.

Mit den Berechnungen nach Tab. 3.2.3.5/2 wurden die erforderlichen Volumenströme ermittelt, die in der RLT-Anlage gefahren werden müssen. Für die Bestimmung des Energieverbrauches für die thermische Luftaufbereitung sind jedoch nicht die Maximallasten, sondern die durchschnittlichen Lasten maßgeblich. Die inneren Kühllasten ergeben sich, wenn die nach Tab. 3.2.3.5/2 ermittelten Gesamtkühllasten um die äußeren Kühllasten der Waschräume, des Ärzteraumes,

des Schwesternraumes und des Gipsraumes, wie oben ermittelt, reduziert werden. Die äußeren Lasten betragen:

Raum	Äußere Solare Kühllast \dot{Q}_S W	äußere Kühllast durch Transmission \dot{Q}_{KT} W	Summe Äußere Kühllast \dot{Q}_{Ka} W	Anzahl der Räume	Äußere Kühllast gesamt \dot{Q}_{Ka} W
Waschraum	1.317	66	1.383	8	1.1064
Ärzteraum	1.317	111	1.428	1	1.428
Schwesterzimmer	659	61	720	1	720
Gipsraum	659	61	720	1	720
Summe					13.932

Tabelle 3.2.3.6/1: äußere Kühllasten der OP-Nebenräume

Die inneren Kühllasten der OP-Nebenräume ergeben sich demnach wie folgt:

$$\dot{Q}_{Ki} = \dot{Q}_K - \dot{Q}_{Ka}$$

$$\dot{Q}_{Ki} = 31.305,6 \text{ W} - 13.932 \text{ W} = 17.373,6 \text{ W}$$

$$\underline{\underline{\dot{Q}_{Ki} = 17.374 \text{ W}}}$$

Für die Bestimmung des Energieverbrauchs für die thermische Luftaufbereitung gelten die Ausgangsgleichungen (13) und (14). Da die äußere Kühllast ebenfalls die Heizlast reduziert, wird sie im Zähler ergänzt. Die durch Transmission entstehenden Kühllasten sind im Verhältnis zu den solaren Einträgen sehr gering. Bei der Berechnung werden die durchschnittlichen solaren Kühllasten daher um einen Zuschlag von 5 % für die Transmissionskühllast berücksichtigt.

$$Q_U = \dot{V}_{ZU} \cdot \rho_{ZU} \cdot \left(h_R - \frac{\dot{Q}_{T12} \cdot \frac{\vartheta_R - \vartheta_{AU}}{\vartheta_R - (-12 \text{ °C})} - \dot{Q}_{Ki} - \dot{Q}_{Ka} \cdot 1,05}{\dot{V}_{ZU} \cdot \rho_{ZU}} \right) - h_{AU} \cdot t \cdot \psi \quad (34)$$

Es gilt im Tagbetrieb (vgl. Tab. 3.2.3.5/2)

$$\dot{V}_{ZUT} = 23.684 \text{ m}^3/\text{h} = 6,58 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\dot{Q}_{T12} = 34,728 \text{ kW}$$

$$\dot{Q}_{Ki} = 17,374 \text{ kW}$$

$$Q_{UT} = \dot{V}_{ZUT} \cdot \rho_{ZUT} \cdot \left((h_{RT} - \frac{\dot{Q}_{TI2} \cdot \frac{g_{RT} - g_{AUT}}{g_{RT} - (-12\text{ }^{\circ}\text{C})} - \dot{Q}_{KT} - \dot{Q}_{KaT} \cdot 1,05}{\dot{V}_{ZUT} \cdot \rho_{ZUT}}) - h_{AUT} \right) \cdot t_T \cdot \psi$$

(35)

Im Nachtbetrieb ist keine zusätzliche Kühlung erforderlich, da keine Nutzung vorliegt. Die inneren und äußeren Kühllasten sind deshalb 0. Im Nachtbetrieb gilt:

$$\begin{aligned} \dot{V}_{ZUN} &= 0,5 \cdot V_{ZUT} = 0,5 \cdot 23.684 \text{ m}^3/\text{h} = 11.842 \text{ m}^3/\text{h} \\ \dot{V}_{ZUN} &= 3,29 \text{ m}^3/\text{s} \\ \dot{Q}_{TI2} &= 34,728 \text{ kW} \\ \dot{Q}_{KiN} &= 0,00 \text{ kW} \end{aligned}$$

$$Q_{UN} = \dot{V}_{ZUN} \cdot \rho_{ZUN} \cdot \left((h_{RN} - \frac{\dot{Q}_{TI2} \cdot \frac{g_{RN} - g_{AUN}}{g_{RN} - (-12\text{ }^{\circ}\text{C})} - \dot{Q}_{KN} - \dot{Q}_{KaN} \cdot 1,05}{\dot{V}_{ZUN} \cdot \rho_{ZUN}}) - h_{AUN} \right) \cdot t_N \cdot \psi$$

(36)

Die äußeren solaren Kühllasten ergeben sich aus den durchschnittlichen monatlichen spezifischen Gesamtstrahlungen gemäß VDI 2078, Tabellen B2 und B3. Als ungünstigster Fall ist eine West-Ost-Orientierung der transparenten Außenflächen anzusetzen. Dies sind die Fensterflächen der Waschräume (je 4,68 m²), des Arztzimmers (4,68 m²), des Schwesternzimmers (2,34 m²) und des Gipszimmers (2,34 m²). Hierfür werden die durchschnittlichen monatlichen äußeren Kühllasten während der Betriebszeit aus der Summe der jeweiligen Fensterflächen und der durchschnittlichen monatlichen spezifischen Gesamtstrahlungen bestimmt.

Monat	Westseite			Ostseite		
	Fenster- fläche	durch- schnittliche monatliche spezifische Gesamt- strahlung	durch- schnittliche monatliche äußere Kühllast	Fenster- fläche	durch- schnittl. monatliche spezifische Gesamt- strahlung	durch- schnittliche monatliche äußere Kühllast
	m ²	W/(m ² · Mo)	kW/Mo	m ²	W/(m ² · Mo)	kW/Mo
Januar	28,08	78	2,19	18,72	103	1,93
Februar	28,08	119	3,34	18,72	119	2,23
März	28,08	183	5,14	18,72	177	3,31
April	28,08	231	6,49	18,72	209	3,91
Mai	28,08	249	6,99	18,72	219	4,10
Juni	28,08	242	6,80	18,72	213	3,99
Juli	28,08	237	6,65	18,72	210	3,93
August	28,08	216	6,07	18,72	198	3,71
September	28,08	169	4,75	18,72	165	3,09
Oktober	28,08	120	3,37	18,72	120	2,25
November	28,08	74	2,08	18,72	74	1,39
Dezember	28,08	51	1,43	18,72	51	0,95

Tabelle 3.2.3.6/2: durchschnittliche monatliche äußere Kühllasten OP-Nebenräume

Es ergibt sich folgendes Bild des Energieverbrauches für die thermische Luftaufbereitung der OP-Nebenräume mit solaren Lasten.

	ϑ_{AUT} °C	h_{AUT} kJ/kg	t_T h/Mo	Q_{UT} kWh/Mo	ϑ_{AUN} °C	h_{AUN} kJ/kg	t_N h/Mo	Q_{UN} kWh/Mo
Januar	1,95	10,9	252	38.308	1,45	10,8	492	17.764
Februar	2,64	11,8	240	35.886	1,88	11	432	15.533
März	5,93	16,3	276	37.176	4,58	14,8	468	14.120
April	10,2	22,9	240	26.752	7,33	20	480	10.437
Mai	14,3	30,5	228	19.044	11,9	27,8	516	4.829
Juni	17,5	37,8	252	14.068	14	34	468	-631
Juli	18,5	41,3	264	11.163	15,4	37,1	480	-3.126
August	18,2	41,2	264	11.119	15,1	36,9	480	-3.008
September	16	36,5	264	15.511	13,1	33,1	456	-47
Oktober	11,7	28,5	252	22.022	9,8	26	492	5.725
November	6,28	18,8	252	30.816	5,38	17,8	468	11.645
Dezember	3,08	13,5	240	33.910	2,49	12,5	504	16.847
Summe				295.775				96.853

Tabelle 3.2.3.6/3: Außentemperaturen, Außenluftenthalpien, Betriebszeiten und Energieverbrauch für die thermische Luftaufbereitung der OP-Nebenräume mit solaren Einträgen

Die Werte mit einem negativen Vorzeichen für Q_{UN} bleiben auch hier bei der Summierung unberücksichtigt. Der Gesamt-Jahresenergieverbrauch für die thermische Aufbereitung der Zuluft der OP-Nebenträume mit solaren Einträgen beträgt

$$\underline{Q_U = 392.628 \text{ kWh/a.}}$$

Es fällt auf, dass auch im Tagbetrieb keine negativen Werte bestimmt wurden, die einen Energieverbrauch für Kühlung abbilden. Dies ist darauf zurück zu führen, dass bei hohen solaren Lasten die Zuluft-Volumenströme erhöht werden müssen. Im Mittel aller OP-Nebenträume führt dies aufgrund der niedrigeren durchschnittlichen Außenlufttemperaturen dazu, dass diese geringere Außenluftenthalpie ausreicht, um die Raumtemperaturen ohne zusätzliche Kühlung halten zu können.

Unabhängig davon ist jedoch zu prüfen, ob die Volumenströme ausreichen, um auch die thermisch sensiblen Räume ohne Kühlenergieverbrauch zu betreiben. Dies betrifft die Waschräume, den Ärzteraum, den Schwesternraum und den Gipsraum. Die maximale durchschnittliche Außenluftenthalpie beträgt im Juli 41,3 kJ/kg, die Raumluftenthalpie liegt bei 49,0 kJ/kg. Aus der Differenz dieser Enthalpien und mit dem Zuluft-Volumenstrom für diese Räume wird die maximal abführbare Kühllast bestimmt:

$$\dot{Q}_{KiN} = \dot{V}_L \cdot \Delta h = \dot{V}_L \cdot \rho_L \cdot (h_R - h_{AU})$$

(37)

$$\dot{Q}_{KiN} = 8.659 \text{ m}^3/\text{h} \cdot 1/3.600 \text{ s/h} \cdot 1,165 \text{ kg/m}^3 \cdot (49 - 41,3) \text{ kJ/kg}$$

$$\underline{\dot{Q}_{KiN} = 21,6 \text{ kW}}$$

Die Werte für \dot{V}_L wurden aus Tabelle 3.2.3.5/2 bestimmt. Daraus ist auch die maximale Kühllast für diese Räume zu entnehmen. Sie beträgt 17,95 kW und liegt damit unter der maximal abführbaren Kühllast. Im monatlichen Durchschnitt braucht also auch im Sommer nicht gekühlt zu werden. Lediglich in den Zeiten, in denen die Außenluftenthalpie über der erforderlichen Zuluftenthalpie liegt, ist Kühlung erforderlich. Dies beschränkt sich auf kurze Zeiträume.

Gegenüber einem optimierten Entwurf ist eine Erhöhung des Energieverbrauches für die thermische Luftaufbereitung um 95.643 kWh/a, entsprechend 32,2 %, zu verzeichnen. Diese Steigerung stellt eine erhebliche zusätzliche ökologische Belastung dar und erhöht die Betriebskosten stark. Der Anstieg des Energieverbrauches ist auf die erhöhten Zuluft-Volumenströme zurück zu führen, durch die der Energieaufwand für deren thermische Luftaufbereitung enorm steigt.

Ungünstige Entwurfsituationen, durch die hohe solare Einträge in thermisch sensiblen Räumen entstehen, führen allerdings nicht zu einem hohen Energieverbrauch für die Kühlung. Vielmehr verursachen sie einen erheblichen zusätzlichen Installationsaufwand einschließlich der entsprechenden Kosten für die Kälteerzeugung, -verteilung, -übertragung und -regelung. Diese Kosten sind ver-

meidbar, wenn die Räume aufgrund eines energetisch optimierten Entwurfes nicht gekühlt zu werden brauchen.

Der ungünstigste Fall tritt ein, wenn die Installationsverhältnisse hohe Strömungsgeschwindigkeiten in den Luftkanälen erfordern. Dieser Fall wird nachfolgend abgebildet.

Energieverbrauch für die Luftförderung

Die Berechnung wird analog zu 3.2.2.1, Gleichung (19) durchgeführt. Die Differenzdrücke der Zu- und Abluftventilatoren werden nach Tab. 3.2.2.1/, bestimmt.

$$\dot{V}_L = 6,58 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\Delta p_{ZUT} = 2.716 \text{ Pa (bei } v_2 = 5,5 \text{ m/s)}$$

$$\Delta p_{ABT} = 1.976 \text{ Pa (bei } v_2 = 5,5 \text{ m/s)}$$

$$t = 3.024 \text{ h/a}$$

$$\eta = 0,64$$

$$Q_V = \left(\frac{1}{0,64} \cdot (3.024 \text{ h/a} \cdot 6,58 \text{ m}^3/\text{s} \cdot (2.716 \text{ Pa} + 1.976 \text{ Pa}) + (365 \text{ d/a} \cdot 24 \text{ h/d} - 3.024 \text{ h/a}) \cdot 6,58 \text{ m}^3/\text{s} \cdot 0,5 \cdot (2.716 \text{ Pa} \cdot 0,5^2 + 1.976 \text{ Pa} \cdot 0,5^2)) \right) \cdot \frac{1}{1.000}$$

$$Q_V = 180.464 \text{ kWh/a}$$

Energieverbrauch für die Beleuchtung

Die Fläche der Flure ist reduziert worden, da die Waschräume auch als Durchgangsbereiche fungieren. Die Einzelleuchten sind nur in den Ein- und Ausleitungsräumen. Der elektrische Energieverbrauch für die Beleuchtung wird damit wie folgt bestimmt:

Spezifische innere Last

Beleuchtung allgemein

$$P_{eBa} = 10,1 \text{ W/m}^2 \text{ (siehe Tab. 3.2.3.1/1)}$$

Spezifische Last Einzelleuchte

$$P_{elOP} = 3,1 \text{ W/m}^2 \text{ (siehe Tab. 3.2.3.1/1)}$$

Betriebszeit: $t_T = 3024 \text{ h/a}$

$$Q_B = (P_{el} + P_{elOP}) \cdot A \cdot t_T$$

(38)

Ein-/Ausleitungsräume

$$Q_B = (10,1 \text{ W/m}^2 + 3,1 \text{ W/m}^2) \cdot 256 \text{ m}^2 \cdot 3.024 \text{ h/a} \cdot 1/1.000 = 10.218 \text{ kWh/a}$$

Übrige OP-Nebenräume

$$Q_B = 10,1 \text{ W/m}^2 \cdot (1.133 \text{ m}^2 - 256 \text{ m}^2) \cdot 3.024 \text{ h/a} \cdot 1/1.000 = 26.786 \text{ kWh/a}$$

Elektrischer Energieverbrauch für Beleuchtung gesamt

$$Q_B = 10.218 \text{ kWh/a} + 26.786 \text{ kWh/a}$$

$$Q_B = 37.004 \text{ kWh/a}$$

Energieverbrauch für Geräte

Der Energieverbrauch für Geräte ändert sich durch einen ungünstigeren Entwurf nicht. Der Hauptunterschied im Entwurf liegt in der kleineren Flurfläche. Da die Flure jedoch keinen Beitrag zum elektrischen Energieverbrauch für Geräte liefern, ergibt sich hier keine Veränderung gegenüber einem energetisch optimierten Entwurf.

$$\underline{Q_M = 7.309 \text{ kWh/a}}$$

Energieverbrauch für Warmwasser

Die einzige Veränderung beim Warmwasserverbrauch gegenüber einem energetisch optimierten Entwurf liegt in der kleineren Reinigungsfläche. Daher gilt:

$$Q_W = 129.496 \text{ kWh/a (s. 3.2.3.3/1 Energieverbrauch für Warmwasser, Waschwäsche)}$$

Reinigungszwecke (vgl. 3.2.3.3, Gleichung (36))

$$Q_R = 0,2 \text{ kg/m}^2 \cdot 1.133 \text{ m}^2 \cdot 252 \text{ d/a} \cdot (42 \text{ }^\circ\text{C} - 10 \text{ }^\circ\text{C}) \cdot 1,2 \cdot 4,182 \text{ kJ/(kg K)} \cdot 1/3.600 \text{ kWh/kJ}$$

$$Q_R = 2.547 \text{ kWh/a}$$

Energieverbrauch für Warmwasser gesamt:

$$Q_{WW} = Q_W + Q_R = 129.496 \text{ kWh/a} + 2.547 \text{ kWh/a}$$

$$\underline{Q_{WW} = 132.043 \text{ kWh/a}}$$

Insgesamt ergibt sich für den Energieverbrauch in den OP-Nebenräume folgendes Bild, wenn solare Einträge zu berücksichtigen sind.

	Energieverbrauch		Primärenergie-Faktor	Primärenergieverbrauch		Energiekosten		
	absolut kWh/a	relativ %		absolut kWh/a	relativ %	spezifisch €/kWh	absolut €/a	relativ %
Thermische Energie für Luftaufbereitung	392.628	52,4	1,10	431.891	34,5	0,0227	8.913	18,7
Elektrische Energie für Luftförderung	180.464	24,1	3,00	541.392	43,3	0,1591	28.712	60,2
Elektrische Energie für Beleuchtung	37.004	4,9	3,00	111.012	8,9	0,1591	5.887	12,3
Elektrische Energie für Geräte	7.309	1,0	3,00	21.927	1,8	0,1591	1.163	2,4
Thermische Energie für Warmwasser	132.043	17,6	1,10	145.247	11,6	0,0227	2.997	6,3
Summe	749.448	100,0		1.251.469	100,0		47.672	100,0

Tabelle 3.2.3.6/4: Energieverbrauch, Primärenergieverbrauch, Energiekosten der OP-Nebenräume mit solaren Lasten

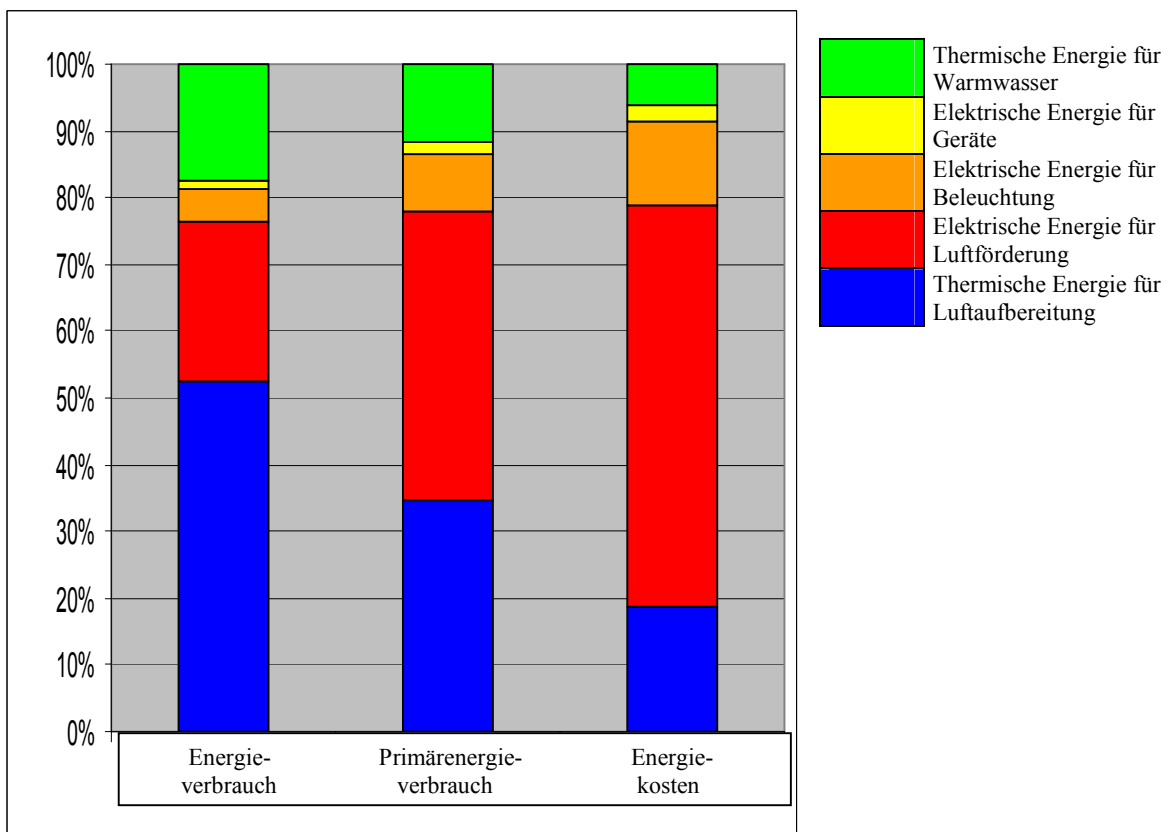


Abbildung 3.2.3.6/1: Säulendiagramm Energieverbrauch, Primärenergieverbrauch, Energiekosten der OP-Nebenträume mit solaren Lasten

Zunächst ist festzustellen, dass bei Berücksichtigung von solaren Lasten eine erhebliche Erhöhung des Gesamtenergieverbrauches gegenüber einem energetisch optimierten Entwurf stattfindet. Sie beträgt 213.071 kWh/a, entsprechend 39,7 %. Der Anteil des Energieverbrauches für die thermische Luftaufbereitung liegt bei etwa der Hälfte des Gesamtenergieverbrauches, der Anteil für die Luftförderung beträgt $\frac{1}{4}$. Diese Anteile verschieben sich erheblich bei der Betrachtung des Primärenergieverbrauches und bei den Energiekosten. Für die Luftförderung müssen ca. 60% der gesamten Energiekosten aufgewendet werden, wenn solare Einträge zu berücksichtigen sind. Ursächlich für diese sehr beträchtlichen Steigerungen und Verschiebungen ist die Notwendigkeit, die Zuluft-Volumenströme erhöhen zu müssen, um die Lasten in den thermisch sensiblen Räumen abfahren und die Raumluftkonditionen jederzeit in den geforderten Grenzen halten zu können. Dadurch entsteht einerseits ein höherer Energieverbrauch für die thermische Luftaufbereitung, andererseits steigt der elektrische Energieverbrauch für die Luftförderung.

3.2.3.7 Auswertung

Anders als bei den OP-Sälen hat der Architekt bei den OP-Nebenräumen durch den Entwurf erheblichen Einfluss auf den Energieverbrauch auch für die thermische Luftaufbereitung. Durch solare Einträge in thermisch sensiblen Räumen entsteht die Notwendigkeit zur Erhöhung der Volumenströme über die hygienischen Mindest-Außenluft-Volumenströme hinaus. Diese höheren Luftmengen müssen dann ständig thermisch aufbereitet werden, was zu erheblich höheren Energieverbräuchen führt. Es ist insofern ein indirekter Effekt festzustellen, wobei die Lasten selbst nicht den entscheidenden Faktor darstellen, sondern die sich daraus ergebenden Luftmengen.

Daneben bestehen für den Architekten beeinflussbare Energiepotenziale beim elektrischen Energieverbrauch für die Luftförderung. Die infolge solarer Einträge erhöhten Luftmengen führen ohnehin zu höheren Energieaufwendungen für die Luftförderung. Dieser Effekt wird noch drastisch verstärkt, wenn – wie bei den OP-Sälen – nur unzureichend Platz für die Installation der Gebäudetechnik vorhanden ist. Dies gilt insbesondere für die RLT-Anlagen.

Der Energieverbrauch für die Beleuchtung, den Gerätebetrieb und die Warmwasserbereitung ist abhängig von der Fläche der OP-Nebenräume und liegt bei 176.356 kWh/a (s. Tab. 3.2.3.3/2 und Tab. 3.2.3.6/4). Der Architekt hat darauf mit dem Entwurf praktisch keinen Einfluss. Hier sind vor allem die Planer der TGA-Anlagen gefragt, energiesparende Techniken einzusetzen.

Das maximale von Architekten beeinflussbare Potenzial ergibt sich aus den Differenzen der beiden betrachteten Fälle. Der Energieverbrauch, Primärenergieverbrauch und die Energiekosten der OP-Nebenräume ohne solare Lasten bei günstigen Installationsverhältnissen sind in Tab. 3.2.3.3/2 abgebildet. Die Situation der OP-Nebenräume mit solaren Lasten bei ungünstigen Installationsverhältnissen ist in Tab. 3.2.3.6/4 dargestellt. Danach ergibt sich folgendes Potenzial:

- beim Energieverbrauch absolut

$$\Delta Q = 536.377 \text{ kWh/a} - 356.736 \text{ kWh/a}$$

$$\underline{\Delta Q = 179.641 \text{ kWh/a}}$$

- beim Primärenergieverbrauch absolut

$$\Delta Q_P = 1.251.469 \text{ kWh/a} - 505.937 \text{ kWh/a}$$

$$\underline{\Delta Q_P = 745.532 \text{ kWh/a}}$$

- bei den Energiekosten

$$\Delta K = 47.672 \text{ €/a} - 16.248 \text{ €/a}$$

$$\underline{\Delta K = 31.424 \text{ €/a}}$$

Der Architekt hat somit auch bei den OP-Nebenräumen erhebliche Möglichkeiten, den Energieverbrauch zu minimieren oder zu steigern. Ausgangspunkt für

geringe Energieverbräuche ist die Unterscheidung zwischen thermisch sensiblen und thermisch nicht sensiblen Räumen. Alle unmittelbar zu den OP-Sälen gehörenden OP-Nebenräume sind als thermisch sensibel einzustufen. In diesen Räumen sind die Raumkonditionen in den geforderten Grenzen zu halten. Dies sind insbesondere die Ein-, Ausleitungs- und Waschräume, der Aufwachraum, der Gipsraum, die Sterilgut- und Geräteräume.

In den übrigen Räumen kann ein Ansteigen der Temperaturen über das Niveau der thermisch sensiblen Räume zugelassen werden. Daher ist hier keine Erhöhung der Luftmengen über die hygienischen Mindest-Außenluft-Volumenströme erforderlich. Diese Räume, z. B. Flure können deshalb als Pufferräume fungieren. In den dadurch abgeschotteten thermisch sensiblen Räumen ist dann auch keine Erhöhung der Luftmengen über die hygienischen Mindest-Außenluft-Volumenströme hinaus erforderlich, da die inneren Lasten hiermit abgefahren werden können. Alle an der Planung Beteiligten, insbesondere der Bauherr, die Endnutzer, der Hygieniker und die Arbeitsschutzstellen, sind frühzeitig in diese Konzeption einzubeziehen, um späteren Missverständnissen vorzubeugen.

Um die über die Fassade eindringenden externen Lasten zu reduzieren, muss der Baukörper eine massive Bauweise haben. Die thermisch sensiblen Räume sind im Innenbereich anzuordnen. Darüber hinaus ist in den der Fassade zugewandten, thermisch nicht sensiblen Räumen (hier: Flure) primär die aus den reinen Räumen überströmende Abluft abzuziehen. Auf diese Weise wird die eindringende Wärme unmittelbar abgezogen und belastet nicht die übrigen Räume.

Daneben ist es auch bei den OP-Nebenräumen notwendig, ausreichend Platz für die gebäudetechnischen Anlagen zu berücksichtigen. Damit können energiesparende Installationen realisiert werden.

Flächenbezogene Energieaufwandszahlen

Die flächenbezogenen Energieaufwandszahlen können auch bei den OP-Nebenräumen einen Es ist zwischen einem energetisch optimierten Entwurf einerseits und einem Entwurf mit solaren Einträgen und ungünstigen Installationsverhältnissen andererseits zu unterscheiden.

Fall A: OP-Nebenräume bei optimiertem Entwurf

Primärenergieverbrauch: $Q_{PrA} = 793.409 \text{ kWh/a}$ (s. Tab. 3.2.3.3/2)

Fläche OP-Nebenräume: $A_R = 1.196,1 \text{ m}^2$

(s. Abb. 3.2.3.2/1, Tab. 3.2.3.2/1)

$$E_{AA} = \frac{Q_{PrA}}{A_{OPNR}} = \frac{793.409 \text{ kWh/a}}{1.196,1 \text{ m}^2}$$

$$\underline{\underline{E_{AA} = 663 \text{ kW/h/(m}^2\text{a)}}}$$

Fall B: OP-Nebenräume bei ungünstigen Installationsverhältnissen

Primärenergieverbrauch: $Q_{PrB} = 980.318 \text{ kWh/a}$ (s. Tab. 3.2.3.4/1)

Fläche OP-Nebenräume: $A_R = 1.196,1 \text{ m}^2$

(s. Abb. 3.2.3.2/1, Tab. 3.2.3.2/1)

$$E_{AB} = \frac{Q_{PrB}}{A_{OPNR}} = \frac{980.318 \text{ kWh/a}}{1.196,1 \text{ m}^2}$$

$$\underline{E_{AB} = 820 \text{ kWh/(m}^2\text{a)}}$$

Fall C: OP-Nebenräume solaren Einträgen und ungünstigen Installationsverhältnissen

Primärenergieverbrauch: $Q_{PrC} = 1.251.469 \text{ kWh/a}$ (s. Tab. 3.2.3.6/4)

OP-Saal-Fläche : $A_R = 1.133 \text{ m}^2$

(s. 3.2.3.5 u. Abb. 3.2.3.5/1)

$$E_{AC} = \frac{Q_{PrC}}{A_R} = \frac{1.251.469 \text{ kWh/a}}{1.133 \text{ m}^2}$$

$$\underline{E_{AC} = 1.105 \text{ kWh/(m}^2\text{a)}}$$

Die Steigerung bei der flächenbezogenen Energieaufwandszahl zwischen Fall A und Fall C beträgt 67 %. Es steht somit ein nennenswertes Energiepotenzial zur Disposition. Noch deutlicher wird dies, wenn die Betrachtung auf die Lebensdauer der wesentlichen Einrichtungen der OP-Nebenräume von 25 Jahren (s. Tab. 3.1/2) ausgedehnt wird:

- beim Energieverbrauch absolut

$$\Delta Q = 25 \text{ a} \cdot 179.642 \text{ kWh/a}$$

$$\underline{\Delta Q = 4.491.050 \text{ kWh}}$$

- beim Primärenergieverbrauch absolut

$$\Delta Q_P = 25 \text{ a} \cdot 745.532 \text{ kWh/a}$$

$$\underline{\Delta Q_P = 18.638.300 \text{ kWh/a}}$$

Bei einem Brennwert von 10,6 kWh/l entspricht diese Energiemenge etwa 1.758.330 Litern Heizöl EL.

- bei den Energiekosten (statische Berechnung)

$$\Delta K = 25 \text{ a} \cdot 31.424 \text{ €/a}$$

$$\underline{\Delta K = 785.600 \text{ €/a}}$$

3.2.4. Zusammenfassung und Beurteilung

Die OP-Abteilungen sind innerhalb eines Krankenhauses die komplexesten, am stärksten technisierten, energieintensivsten, kostenintensivsten und sensibelsten Bereiche. Der planerische, koordinative und bauliche Aufwand zur Realisierung ist extrem hoch. Mit dem Entwurf werden die Weichen für eine lange Nutzungszeit gestellt. Er entscheidet über wesentliche betriebliche, ökologische und ökonomische Aspekte der OP-Abteilung und des gesamten Krankenhauses.

Der Energieverbrauch wird maßgeblich mit dem Entwurf beeinflusst. Dem Architekten kommt neben der Erfüllung der funktionalen Anforderungen die Aufgabe zu, ein möglichst energiesparendes Konzept zu realisieren, bzw. zu ermöglichen.

Grundlegend ist dabei zu berücksichtigen:

- Böden und Wände sollen ausreichend Speichermassen beinhalten. Es sind massive Bauteile und –stoffe zu verwenden. Thermische Lasten werden dadurch gedämpft.
- Die Bereiche für die Installation der gebäudetechnischen Anlagen sind ausreichend zu bemessen. Die Abhänggehöhen müssen mindestens 1,25 m betragen. Besser sind begehbare Decken oder Installationsgeschosse, Höhe 2,25 m und mehr.
- Die RLT-Anlagen sind mit geringen Strömungsgeschwindigkeiten in den Luftleitungen von max. 4,0 m/s zu dimensionieren.
- Die Trassen zur Anbindung der OP-Abteilung an die zugehörigen Technikzentralen müssen kurz und direkt sein. Lange Wege sind zu vermeiden. Die Technikzentralen sind in die Konzeption der OP-Abteilungen einzubeziehen.
- Es ist frühzeitig mit allen Beteiligten festzulegen, welche OP-Nebenräume als thermisch sensibel und welche als thermisch nicht sensibel einzustufen sind.
- Es sind Pufferzonen als thermisch nicht sensible Räume vorzusehen, um die thermisch sensiblen Bereiche von zusätzlichen externen Lasten abzuschotten.
- Bei den gebäudetechnischen Anlagen ist auf die konsequente Verwendung und planerische Berücksichtigung energiesparender Techniken und Verfahren zu achten. Die Planer dieser Anlagen sind frühzeitig einzubeziehen, um die Konzeption der Technikzentralen in die Planung zu integrieren. Insbesondere ist jegliche Überdimensionierung zu vermeiden. Anlagenreserven sind auf das unbedingt notwendige Maß zu beschränken.

Damit werden die Voraussetzungen für einen energiesparenden Entwurf geschaffen, mit dem auch eine erhebliche wirtschaftliche Dimension verbunden ist.

Das gesamte in der OP-Abteilung zur Disposition stehende Potential setzt sich additiv aus den Anteilen der OP-Säle (vgl. 3.2.2.3) und der OP-Nebenräume (vgl.

3.2.3.7) zusammen. Bei der zuvor betrachteten OP-Abteilung mit 8 OP-Sälen beträgt es pro Jahr

- beim Energieverbrauch absolut
 $\Delta Q = 8 \cdot 22.196 \text{ kWh/a} + 179.642 \text{ kWh/a}$
 $\underline{\Delta Q = 357.210 \text{ kWh/a}}$
- beim Primärenergieverbrauch absolut
 $\Delta Q_P = 8 \cdot 66.588 \text{ kWh/a} + 745.532 \text{ kWh/a}$
 $\underline{\Delta Q_P = 1.278.236 \text{ kWh/a}}$
- bei den Energiekosten
 $\Delta K = 8 \cdot 3.531 \text{ €/a} - 31.424 \text{ €/a}$
 $\underline{\Delta K = 59.672 \text{ €/a}}$

Unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten erscheinen die zur Disposition stehenden jährlichen Energiekosten von 59.672 €/a zunächst relativ gering. Diese Summe wird allerdings für einen sehr langen Zeitraum festgeschrieben und muss finanziert werden. Die Versorgungslage für Energie wird zunehmend unsicher und unübersichtlicher und mit sinkenden Energiekosten ist langfristig nicht zu rechnen. Darüber hinaus besteht ein erheblicher Wirtschaftlichkeitsdruck, der die Krankenhäuser dazu zwingt, ihre Fixkosten zu minimieren. Vor diesem Hintergrund gibt die dynamische Betrachtung mit Hilfe der Kapitalwertmethode Aufschluss über die betriebswirtschaftliche Seite. Die Bewertung erfolgt über eine rechnerische Abschreibungszeit von 25 Jahren (s. Tab. 3.1/2).

$$C_O = \sum_{t=1}^T \Delta K \cdot \frac{1}{(1+i)^t} \quad (39)$$

mit

C_O = Kapitalwert

T = letzte zu berücksichtigende Periode

t = Periodenindex ($t = 1 \dots T$)

ΔK = jährliche Energiekostendifferenz = 59.672 €/a

i = Kapitalzinsfuß = $P/100$

P = Zinssatz 5,0% (aktueller durchschnittliche Hypothekenzinssatz)

Damit ergibt sich ein Kapitalwert von

$$\underline{C_O = 841.041 \text{ €}}$$

Der Kapitalzinsfuß ist als niedrig einzustufen. Mittel- bis langfristig ist mit wieder steigenden Hypothekenzinsen zu rechnen. Darüber hinaus stellen die Energiekosten allgemeine Betriebskosten des Krankenhauses dar, sodass hierfür höhere Zinsen gelten. Die ermittelten Kapitalkosten sind daher als eher niedrig

anzusehen. Tatsächlich wird eine Energiekostendifferenz in der zuvor ermittelten Größe einen deutlich höheren Kapitalwert zu Folge haben.

Unter den gegebenen Bedingungen darf eine Anfangsinvestition in ein energiesparendes Konzept um diese Summe höher sein, um wirtschaftlich zu sein. Daran wird deutlich, dass es nicht nur unter energetischen und ökologischen, sondern auch unter ökonomischen Gesichtspunkten Sinn macht, energiesparende Entwürfe zu realisieren.

Der vorstehend bestimmte Kapitalwert entspricht bei einem durchschnittlichen Baukostenindex in OP-Abteilungen von 4.100 €/m² NF³⁴ einer Fläche von

$$A = \frac{841.041 \text{ €}}{4.100 \text{ €/m}^2} = 205 \text{ m}^2$$

Damit ist es möglich, ausreichende Flächen zur Pufferung der thermisch sensiblen Räume und ausreichend Platz für energiesparende TGA-Installationen zu schaffen.

³⁴ BKI Baukosten 2002, Teil 1, Kostenkennwerte für Gebäude, Baukosteninformationszentrum Deutscher Architektenkammern, Seite 60

3.3 Intensivstationen

3.3.1 Funktionen, Ausstattung, Allgemeines

Die Intensivstationen gehören neben den OP-Abteilungen zu den wichtigsten Organisationseinheiten eines Krankenhauses. Sie sind Bindeglied zwischen den OP-Abteilungen und den Normalpflegestationen und sind notwendig, um Behandlungen durchzuführen, die sonst nicht möglich wären.

Die Aufnahme eines Patienten auf einer Intensivstation erfolgt üblicherweise, wenn ein lebensbedrohlicher Zustand vorliegt, der einer intensiven medizinischen Überwachung und Behandlung bedarf. Dies kann zum einen nach einem schweren operativen Eingriff, z. B. an Herz oder Lunge³⁵ der Fall sein. Zum anderen kann aber auch ein schwerer Unfall oder Krankheitszustand, z. B. nach einem Herzinfarkt oder Schlaganfall die Behandlung auf einer Intensivstation erforderlich machen³⁶. Teilweise wird dies auch notwendig, wenn sich der Gesundheitszustand eines Patienten während seines Krankenhausaufenthaltes so verschlechtert, dass die Behandlung in anderen Stationen an ihre Grenzen stößt^{35a}. Fast immer liegt ein lebensbedrohlicher Zustand vor, der einer intensiven medizinischen Beobachtung und Betreuung bedarf.

Wichtigste Aufgabe einer Intensivstation ist daher die Aufrechterhaltung der vitalen Funktionen des Patienten. Er wird Tag und Nacht besonders gepflegt, überwacht und therapiert mit dem Ziel der Überwindung, Besserung oder Verhinderung von Störungen lebenswichtiger Körperfunktionen^{35b}.

Vorraussetzung hierfür ist die Überwachung der Lebensfunktionen. Dies kann nur mit Hilfe einer oft großen Anzahl medizintechnischer Geräte erreicht werden, die über Kabel oder andere Leitungen mit dem Patienten verbunden sind. In der Regel werden die Herzfunktionen, der Blutdruck, der Sauerstoffgehalt im Blut, die Anzahl der Herzaktionen und die Körpertemperatur überwacht^{35c}. Weitere Funktionen können nach Bedarf hinzukommen. In jedem Fall ist es notwendig, die Funktionen ständig, also auch dann, wenn sich kein ärztliches oder Pflegepersonal am Patienten befindet, zu überwachen und eine automatische Alarmierung des Personals bei kritischen Zuständen herbeizuführen.

Eine weitere wichtige Aufgabe in einer Intensivstation ist die künstliche Beatmung von Patienten, die nicht mehr in der Lage sind, genügend Sauerstoff aufzunehmen. Hierzu muss ein Schlauch über den Mund in die Luftröhre eingeführt werden. Mit einer Beatmungsmaschine wird der Patient dann beatmet.

³⁵ <http://www.thg-uni-muenster.de/THG-Chirurgie/home/Schwerpunkte/Intensivstation.htm>

^{36, 35a, 35b, 35c} <http://www.marienhospital-steynfurt.de/fachabteilungen/anaesthesiologie/intensivmedizin.phg>

Weitere Aufgaben, die in einer Intensivstation durchgeführt werden müssen, können sein:

- Atemunterstützung: Eine eingeschränkte Atemfunktion wird maschinell mit Maskenbeatmung unterstützt.
- Nierenersatzverfahren: Bei Nierenversagen müssen die Abbauprodukte des Körpers mit einer Maschine ausgeschieden werden (Dialyse).
- Künstliche Ernährung: Patienten, die nicht mehr selbstständig essen können, werden über eine Magensonde oder über einen Venenzugang die notwendigen Nährstoffe zugeführt.
- Sedierung/Schmerztherapie: Häufig haben Patienten auf einer Intensivstation Schmerzen, die medikamentös behandelt werden müssen. Dies kann oral oder mit Hilfe von Geräten kontinuierlich über die Blutbahn erfolgen. Letzteres ist immer dann notwendig, wenn der Patient in einen künstlichen Tiefschlaf (Sedierung bzw. künstliches Koma) versetzt werden muss.

Weitere Aufgaben zur Therapie sind möglich und werden in Abhängigkeit von der Erkrankung und vom Zustand des Patienten festgelegt. In der Regel müssen mehrere der v. g. Aufgaben gleichzeitig wahrgenommen werden. Praktisch immer sind die Patienten mehr oder weniger hilflos und können sich oft nicht über ihre Bedürfnisse und ihren Zustand äußern, sodass sie sich in einer psychischen Ausnahmesituation befinden.

Oftmals ist das Immunsystem der Patienten gestört, sodass sie anfällig für Infektionen ist. Zum Teil haben die Patienten aber auch selbst Erkrankungen, die eine Infektionsgefahr für andere Personen (Ärzte, Pfleger, Besucher, andere Patienten etc.) darstellen.

Daher ist es in Intensivstationen notwendig, definierte Raumbedingungen zu schaffen, die den Patienten und/oder andere Personen schützen, den Patienten nicht zusätzlich belasten und/oder die intensivmedizinische Versorgung ermöglichen oder zumindest nicht behindern.

Diese nicht abschließende Aufzählung lässt deutlich werden, dass eine Intensivstation eine hochkomplexe, äußerst empfindliche Organisationseinheit ist. Sie kann ihre Aufgaben nur dann erfüllen, wenn sie - ähnlich wie eine OP-Abteilung - unter kontrollierten Bedingungen weitgehend unabhängig vom allgemeinen Krankenhausbetrieb arbeiten kann.

Häufig ist eine Unterscheidung zwischen Intensivtherapie und Intensivobservation anzutreffen. Dies geht auf die Richtlinien für Krankenhaushygiene und Infektionsprävention des Robert-Koch-Institutes zurück. Danach ist die Behandlung von infektionsgefährdeten oder -gefährdenden Patienten auf einer Intensivtherapiestation durchzuführen. Die übrigen Intensivpatienten werden in Intensivobservationsstationen versorgt.

Die RKI-Richtlinien wurden 2003 überarbeitet. Es werden insgesamt 5 Patientengruppen unterschieden:

- A1 Intensivbehandlungs-Patienten, die in besonderem Maße infektionsgefährdet sind unabhängig davon, ob sie selber eine Infektionsquelle sein können (z. B. Frühgeborene, Patienten nach Transplantationen, Patienten mit Verbrennungen, Patienten mit schweren Immundefekten).
- A2 Intensivbehandlungs-Patienten, die in hohem Maße infektionsgefährdet sind und/oder eine Infektionsquelle sein können (z. B. Langzeit-Beatmungspatienten, Patienten mit Tracheostoma).
- A3 Intensivbehandlungs-Patienten, die weder besonders infektionsgefährdet noch eine Infektionsquelle sind (z. B. Kurzzeit [≤ 24 Std.]-Beatmungspatienten).
- B1 Intensivbehandlungs-Patienten, die infektionsgefährdet sind und/oder eine Infektionsquelle sein können.
- B2 Intensivbehandlungs-Patienten, die weder besonders infektionsgefährdet sind noch eine Infektionsquelle sind.

In Intensivstationen ist eine ca. 3-4-mal höhere Häufigkeit von Krankenhausinfektionen zu verzeichnen³⁷. Dies ist einerseits auf die erhöhte Infektionsgefährdung der Patienten, andererseits auf die dort zu behandelnden infektiösen Erkrankungen zurück zu führen. Der Hygiene in Intensivstationen kommt deswegen eine herausragende Bedeutung zu.

Aus diesem Grund werden hier besondere Anforderungen an die Funktionen gestellt, die im baulichen Entwurf realisiert werden müssen:

- Infektionsgefährdete Patienten sind von den Patienten, die eine Infektionsquelle darstellen, zu isolieren³⁸.
- Intensiveinheiten sollen in personeller und apparativer Ausstattung weitgehend als autarke Einheiten geführt werden^{38a}.
- Die Intensiveinheit für Patienten der Gruppe A1, A2, A3, B1 soll mindestens 6, maximal 16 Betten umfassen^{38b}.
- Intensiveinheiten sollen sich in der Nähe und auf gleicher Ebene befinden wie die Behandlungseinheiten, aus denen die Patienten überwiegend kommen^{38c}.
- Patienten der Gruppe A1 und A2 müssen in Einzelräumen mit Vorraum isoliert werden³⁹.
- Patienten der Gruppe A3 können in Mehrbettzimmern mit zugeordnetem unreinem Arbeitsraum untergebracht werden, ebenso wie Patienten der Gruppe B1, die keine Infektionsquelle sind und Patienten der Gruppe B2⁴⁰.
- Es sind vorwiegend Einbett-Krankenräume erforderlich⁴¹.

³⁷ RKI-Richtlinie für Krankenhaushygiene und Infektionsprävention, Abschnitt 4.3.4, Nr. 5.1

^{38, 38a-c}, RKI-Richtlinie für Krankenhaushygiene und Infektionsprävention, Abschnitt 4.3.4, Nr. 3

³⁹ RKI-Richtlinie für Krankenhaushygiene und Infektionsprävention, Abschnitt 4.3.4, Nr. 4

⁴⁰ RKI-Richtlinie für Krankenhaushygiene und Infektionsprävention, Abschnitt 4.3.4, Nr. 4

⁴¹ RKI-Richtlinie für Krankenhaushygiene und Infektionsprävention, Abschnitt 4.3.4, Nr. 5.1

- RLT-Anlagen zur Vorbeugung von Infektionen sind verbindlich für Krankenzimmer, in denen Patienten der Gruppen A1 und A2 untergebracht werden, erforderlich. Die RLT-Anlagen sind nach DIN 1946/4 (03/1999), Raumklasse I, auszuführen⁴².
- Für Patienten der Gruppen B1 und B2 sind RLT-Anlagen nicht erforderlich⁴³.

Als Fazit bleibt festzustellen, dass sehr differenzierte Anforderungen zur Unterbringung der Patienten gestellt werden. Es ist jedoch kaum möglich, diese Differenzierung baulich vollständig nachvollziehen und ein separates Raumangebot für alle Gruppen von Patienten in einer Intensivstation bereit zu stellen, da hierfür ein extrem hoher Bedarf an Flächen, Ausrüstung, Personal und Kosten entstünde.

Aus diesem Grund wird häufig eine gemischte Nutzung gefordert, die die Unterbringung von Patienten verschiedener Klassen ermöglicht. Die bauliche Konzeption der Intensivstation muss sich deshalb nach der Patientengruppe richten, die das höchste hygienische Niveau verlangt.

RLT-Anlagen werden nicht für alle Räume in Intensivstationen benötigt. Für Patientenzimmer, in denen Patienten der Gruppen A1 und A2 untergebracht werden, sind RLT-Anlagen jedoch zwingend notwendig⁴⁴. Die RLT-Anlage hat insbesondere die Aufgabe, das hygienische Niveau zwischen den Patientenzimmern, den Vorräumen und den übrigen Räumen in der Intensivstation sicher zu stellen. Dies ist nur möglich, wenn die Druckstufen zwischen den Räumen gehalten werden, sodass es nicht sinnvoll ist, nur einzelne Patientenzimmer an die RLT-Anlage anzuschließen, da dann die Luftrichtungen nicht immer korrekt eingehalten werden können. Darüber hinaus sind dann in den Räumen, die nicht an die RLT-Anlage angeschlossen sind, keine definierten thermischen, hygri-schen und vor allem hygienischen Raumkonditionen möglich, was zu Problemen in den Patientenzimmern führt.

Darüber hinaus wird von Intensivstationen eine flexible Unterbringung von Patienten mehrerer Gruppen verlangt, um die Auslastung zu optimieren. Dies ist nur möglich, wenn die Druckrichtung in Bezug auf das Patientenzimmer umkehrbar ist. Bei infektionsgefährdeten Patienten geht die Druckrichtung vom Patientenzimmer über den Vorraum in die davor liegenden allgemeinen Räume. Wenn in demselben Patientenzimmer jedoch ein Patient mit einer infektionsgefährdenden Erkrankung untergebracht werden soll und er selbst immungeschwächt ist, dann muss einerseits verhindert werden, dass andere Personen gefährdet werden, sodass die Druckrichtung von den allgemeinen Bereichen in den Vorraum gehen muss. Andererseits darf die Luft nicht aus dem Patientenzimmer in die allgemeinen Bereiche gelangen. Der Vorraum muss dann als Unterdruckschleuse funktionieren. Diese Druckumkehr lässt sich nur mit einer zuverlässig funktionierenden, flexibel arbeitenden RLT-Anlage realisieren.

⁴² RKI-Richtlinie für Krankenhaushygiene und Infektionsprävention, Abschnitt 4.3.4, Nr. 8

⁴³ RKI-Richtlinie für Krankenhaushygiene und Infektionsprävention, Abschnitt 4.3.4, Nr. 8

⁴⁴ RKI-Richtlinie für Krankenhaushygiene und Infektionsprävention, Abschnitt 4.3.4, Nr. 8

Bei der Planung einer Intensivstation ist daher zu Beginn die Grundsatzentscheidung zu treffen, ob eine RLT-Anlage notwendig ist, die dann für die gesamte Station vorzusehen ist. Zur Beurteilung dieser Frage ist zunächst zu klären, ob in erster Linie Patienten der Gruppen A1 und A2 oder anderer Gruppen, die eine Unterbringung in Zimmern mit RLT-Anlage erfordern, zu erwarten sind. Diese Frage kann nicht vom Architekten beantwortet werden, hier muss sich der Bauherr erklären.

Für die Art und die Anzahl der notwendigen Räume gibt es in der RKI-Richtlinie einen umfangreichen Katalog⁴⁵. Letztlich ist es jedoch von den individuellen Anforderungen und auch von den räumlichen Möglichkeiten abhängig, welche dieser Räume vorgesehen werden. Grundprinzip der Organisation ist es in aller Regel, dass die Intensivstation selbst möglichst von allen Aufgaben und Abläufen frei bleibt, die außerhalb untergebracht werden können oder bezüglich der Betriebsabläufe und/oder Hygiene problematisch sein können. Das Raumkonzept muss sich deshalb auf die für den Betrieb der Intensivstation notwendigen Räume beschränken.

Auch zum Raumbedarf sind in der RKI-Richtlinie bereits recht detaillierte Hinweise enthalten⁴⁶. Nicht alle dort aufgeführten Räume sind unbedingt erforderlich. Die Notwendigkeit richtet sich nach der Aufgabenstellung. Unter Nr. 5 werden die baulichen Anforderungen näher definiert. Für die Patientenzimmer ist dies relativ differenziert. Für die übrigen Räume werden lediglich funktionale Anforderungen umrissen. Danach kann davon ausgegangen werden, dass für eine funktionsfähige Intensivstation mindestens folgende Räume notwendig sind:

Patientenzimmer/Vorraum

Hier kommen grundsätzlich Ein- oder Mehrbettzimmer in Frage. Einbettzimmer sind zur Isolierung eines Patienten besser geeignet, da andernfalls die im Patientenzimmer verbleibenden Bettenplätze nicht genutzt werden können. Andererseits erfordern sie den größten baulichen und organisatorischen Aufwand, sodass sie auf wenige Zimmer beschränkt bleiben.

In Mehrbettzimmern können die verbleibenden Betten nicht genutzt werden, wenn ein Patient isoliert werden muss, sodass die Nutzbarkeit der Station reduziert ist.

Ein weiteres wichtiges Kriterium ist der Vorraum, der organisatorisch zum Patientenzimmer gezählt wird. Der Vorraum stellt eine Schleuse für das Patientenzimmer dar und hat mehrere Funktionen: Beobachtungsraum, Arbeitsraum für Pflegekräfte und Ärzte, u. U. Entsorgungsraum mit Steckbeckengeräten, hygienische Barriere.

⁴⁵ RKI-Richtlinie für Krankenhaushygiene und Infektionsprävention, Abschnitt 4.3.4, Nr. 4

⁴⁶ RKI-Richtlinie für Krankenhaushygiene und Infektionsprävention, Abschnitt 4.3.4, Nr. 4

Um eine korrekte Schleusung zu ermöglichen, muss er so tief sein, dass ausreichend Platz für das Patientenbett in Längsrichtung einschließlich Bewegungsfläche für Pflegekräfte zur Verfügung steht.

Die Patiententoilette muss nicht zwingend dem Patientenzimmer zugeordnet werden, da die Patienten bettlägerig und deshalb in der Regel nicht in der Lage sind, für die Toilettenbenutzung das Bett zu verlassen. Deshalb ist es auch möglich, Patientenzimmer ganz ohne angegliederten Toilettenraum zu konzipieren. Andererseits stellt es für infektionsgefährdete oder –gefährdende Patienten ein Risiko dar, wenn der geschützte Bereich des Patientenzimmers verlassen werden muss, um die Toilette aufzusuchen.

Der Vorraum ist zwingend für Patienten der Gruppen A1 und A2 notwendig, ebenso wie für Patienten der Gruppe B1, wenn sie infektionsgefährdet sind. Für die übrigen Patientengruppen ist dies nicht verbindlich gefordert, wird jedoch empfohlen. Diese Patienten können daher in Patientenzimmern mit und ohne Vorraum untergebracht werden. Patientenzimmer mit Vorraum sind deshalb für alle Patienten nutzbar und somit flexibel einsetzbar.

Unabhängig davon können die Festlegungen, welche Patientenzimmer vorzusehen sind, nicht vom Architekten getroffen werden. Diese Entscheidungen sind vom Bauherrn bzw. Nutzer zusammen mit dem Hygieniker zu treffen. Der Architekt kann hier nur beratend zur Frage der baulichen Möglichkeiten Stellung nehmen. Die getroffenen Entscheidungen sind dann von ihm umzusetzen.

Zu den Abstandsflächen innerhalb der Patientenzimmer in Intensiveinheiten gibt die RKI-Richtlinie ebenfalls relativ genaue Hinweise⁴⁷. Bezugspunkt ist das Patientenbett. Die angegebenen Abstände sind erforderlich, um an allen Seiten des Patientenbettes ausreichend Bewegungsfreiheit für die Intensivbehandlung und -versorgung zu haben.

⁴⁷ RKI-Richtlinie für Krankenhaushygiene und Infektionsprävention, Abschnitt 4.3.4, Nr. 5.1

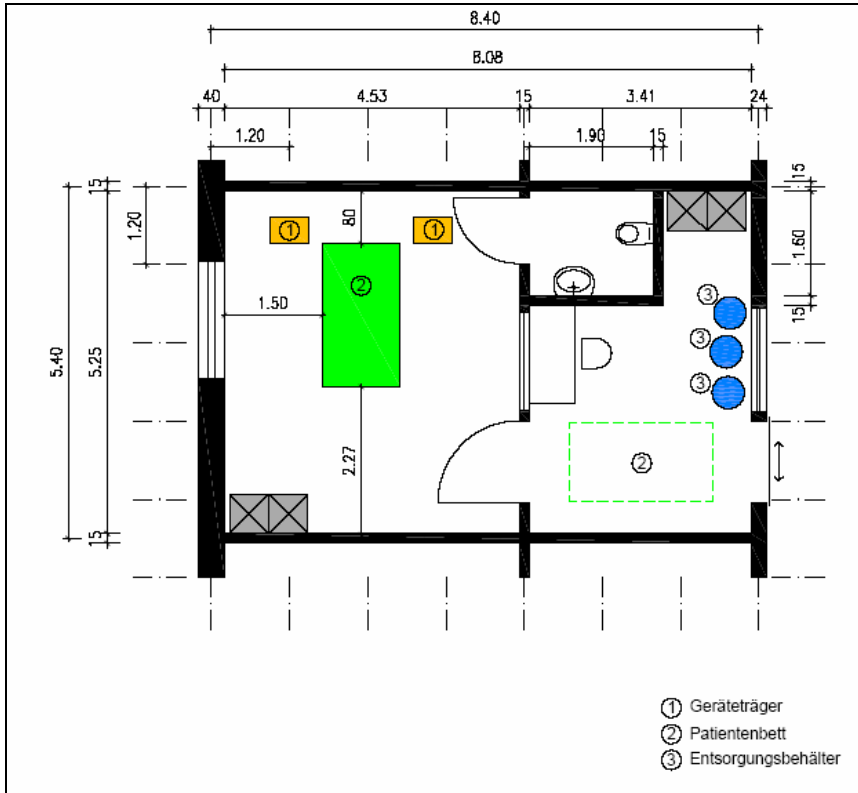


Abbildung 3.3.1/1: Ein-Bettzimmer mit Vorraum und Toilettenraum

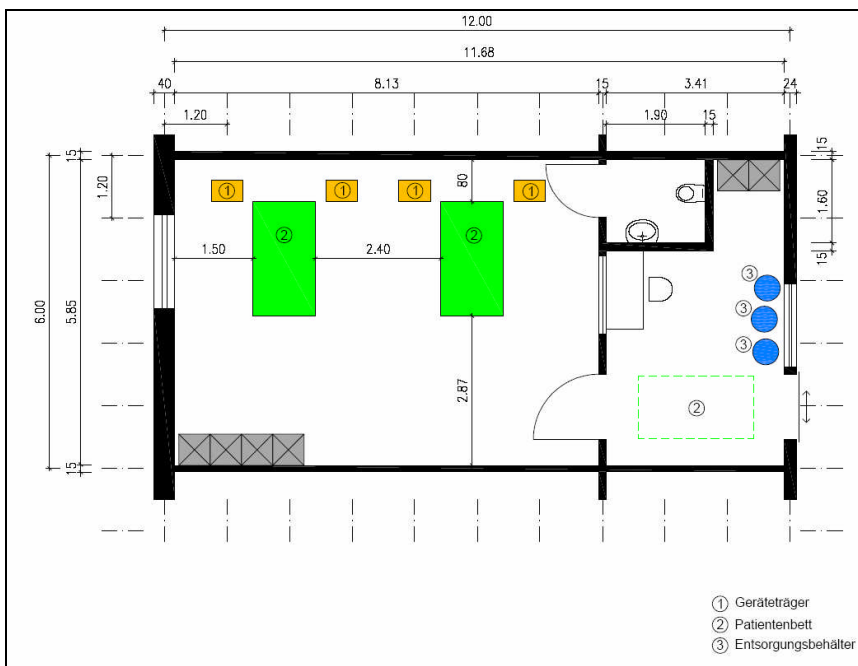


Abbildung 3.3.1/2: Zweibettzimmer mit Vorraum und Toilettenraum

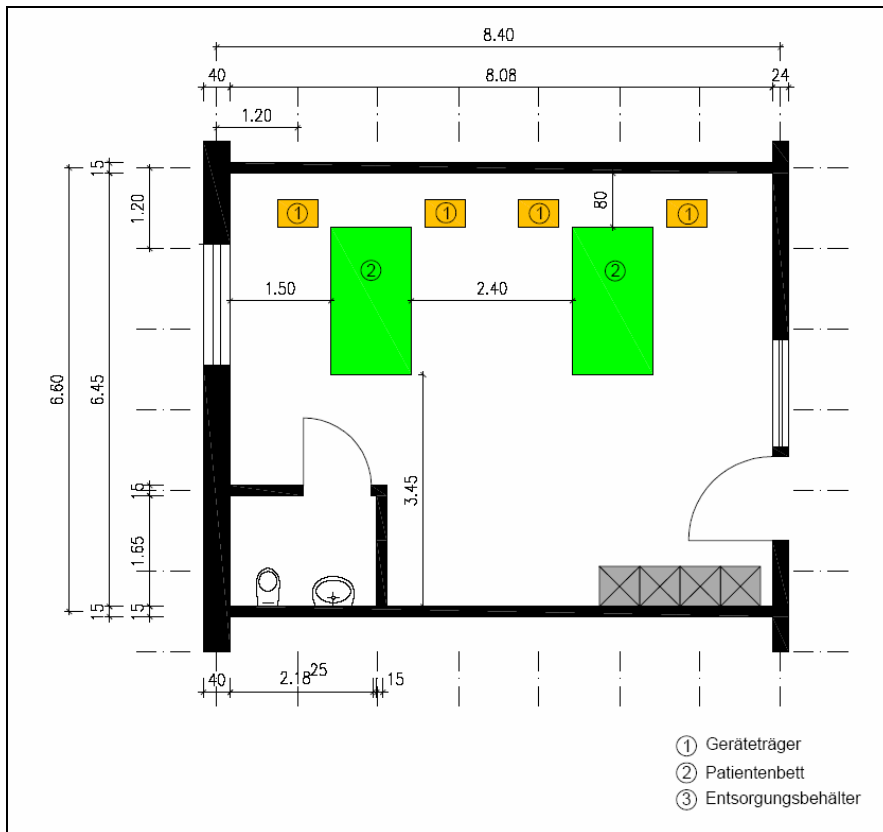


Abbildung 3.3.1/3: Zweibettzimmer ohne Vorraum mit Toilettenraum

Für Patientenzimmer sind somit viele Konzepte möglich, die immer von den Möglichkeiten und Anforderungen im Einzelfall abhängen. Es ist jedoch grundsätzlich zwischen Ein- und Mehrbettzimmern zu unterscheiden. Mehrbettzimmer sollten nicht mehr als zwei Betten haben, um das Infektionsrisiko zu minimieren, die Beunruhigungen für die Patienten zu reduzieren und eine flexible Nutzung zu ermöglichen. Einbettzimmer sollten mit Toilettenraum und Vorraum konzipiert werden, damit infektionsgefährdete und –gefährdende Patienten isoliert werden können.

Für Patienten der Gruppen A1 und A2 sind RLT-Anlagen vorgeschrieben, nicht jedoch für Patienten der Gruppen B1 und B2. Wenn beide Patientengruppen in nennenswertem Umfang in einem Krankenhaus behandelt werden, empfiehlt sich die Bildung von zwei getrennten Intensiv-Behandlungsbereichen. RLT-Anlagen verursachen einen erheblichen Installations-, Betriebs- und Kostenaufwand, werden aber für die letztgenannten Patientengruppen nicht benötigt. Darüber hinaus können definierte Raumluftzustände für die Räume mit RLT-Anlagen (Patientengruppen A1 und A2) nur dann geschaffen werden, wenn die gesamte Station an die RLT-Anlage angeschlossen ist, sodass dann natürlich belüftete Patientenzimmer in diesem Bereich ausgeschlossen sind.

Für die Patientengruppen B1 und B2 sind darüber hinaus nicht zwingend unreine Arbeitsräume gefordert.

Die Anforderungen der RKI-Richtlinie an die Unterbringung von Patienten sehen damit wie folgt aus:

Patienten- gruppe	1-Bett-Zimmer mit Vorraum mit RLT-Anlage	1-Bett-Zimmer ohne Vorraum mit RLT-Anlage	Mehrbett- Zimmer mit Vorraum ohne RLT-Anlage	Mehrbett- Zimmer ohne Vorraum ohne RLT-Anlage
A1	Ja	Nein	Nein	Nein
A2	Ja	Nein	Nein	Nein
A3	Ja	Ja	Ja	Ja, aber nicht optimal
B1 infekti- onsgefähr- dend	Ja	Nein	Nein	Nein
B1 nicht infektions- gefährdend	Ja	Ja	Ja	Ja, aber nicht optimal
B2	Ja	Ja	Ja	Ja, aber nicht optimal

Tabelle 3.3.1/1: Raumanforderungen zur Patientenunterbringung in Intensivstationen

Zur Behandlung und Pflege von Patienten in Intensivstationen sind eine Reihe von technischen Anlagen notwendig:

RLT-Anlage:

Viele Patienten müssen in Räumen mit einer RLT-Anlage untergebracht werden. Sie hat drei wesentlich Aufgaben:

- Schutz des Patienten vor Infektionen, die von anderen Personen übertragen werden können (infektionsgefährdete Patienten).
- Schutz anderer Personen vor Infektionen, die vom Patienten übertragen werden können (infektionsgefährdende Patienten).
- Schaffung von definierten Raumluftzuständen.

Die ersten beiden Forderungen setzen eine kontrollierte Druckstufung zwischen dem Patientenzimmer und den Nachbarräumen voraus. Darüber hinaus ist eine mehrstufige Filterung mit endständigen Schwebstofffiltern notwendig. Für die dritte Forderung muss die Zuluft thermisch und hygriisch aufbereitet werden, damit die in den Räumen entstehenden Lasten abgeführt werden. Die Konzeption von RLT-Anlagen in Intensivstationen erfolgt ebenfalls nach DIN 1946/4 (03/1999).

Die wesentlichsten Merkmale sind:

- Für Intensivtherapie (infektionsgefährdete oder infektionsgefährdende Patienten): RLT-Anlage ist klimaphysiologisch unentbehrlich.
- Intensivobservation (übrige Patienten): RLT-Anlage ist klimaphysiologisch unentbehrlich für Patienten mit Herz-, Kreislauf- und Atemwegserkrankungen.

Die DIN 1946/4 (03/1999) differenziert an dieser Stelle also – im Unterschied zur RKI-Richtlinie – lediglich zwischen Intensivtherapie und –observation.

Beleuchtung:

Nach DIN 5035/3 (09/1988), Nr. 3.3, wird im Bereich der Betten eine Nennbeleuchtungsstärke von 300 lx gefordert, die auf 1000 lx erhöht werden können muss.

Medizinische Gasversorgung:

Am Patientenbett werden Anschlussstellen für O₂, N₂, Druckluft und Narkosegas benötigt.

Elektroversorgung:

Am Patientenbett wird für die große Anzahl von Überwachungs- und Behandlungsgeräten eine entsprechend große Anzahl von Anschlussmöglichkeiten benötigt. Sie müssen auf beiden Seiten des Bettes möglichst am Kopfende angebracht sein.

Versorgungsampeln bzw. -schielen:

Um die Anschlüsse für die Medizinische Gasversorgung und die Elektroversorgung zusammenfassen und optimal am Patienten positionieren zu können, werden zweidimensional verstellbare Hängeampeln eingesetzt. Sie sind mit einer großen Anzahl von Anschlussmöglichkeiten ausgestattet und haben Geräteträger zur Aufnahme der Überwachungs- und Behandlungsgeräte. Wenn keine Hängeampeln verwendet werden können, z. B. aus statischen Gründen, können auch Wandschienen am Kopfende des Bettenplatzes eingesetzt werden. Nachteilig sind hierbei die fehlende Flexibilität und die Anschlussleitungen, die die Zugänglichkeit zum Patienten am Kopfende behindern.

Neben diesen unbedingt notwendigen gebäudetechnischen Anlagen sind weitere technische Anlagen und Einrichtungen erforderlich:

- Elektrische Türsteuerungen, um die Türen zu verriegeln.
- Ggf. Steckbeckengeräte im Patienten-WC oder im unreinen Vorraum.
- Sanitäreanlagen im Patienten-WC
- EDV- und Telefonanschlüsse
- Sonnenschutzanlagen
- Schwesternrufanlage

Weitere Anlagen können je nach individuellen Bedingungen notwendig sein.

Aus dieser unvollständigen Aufzählung ist zu erkennen, dass die Patientenzimmer von Intensivstationen einen sehr hohen Technisierungsgrad haben und wegen ihrer besonderen hygienischen Bedingungen zu den sensibelsten Bereichen im Krankenhaus gezählt werden müssen.



Abbildung 3.3.1/4: Patientenzimmer in einer Intensivstation⁴⁸

Behandlungsraum/Notfallraum

In diesem Raum werden Untersuchungen, Reanimationen und kleine Eingriffe durchgeführt. Besonders wichtig sind ausreichend und möglichst großzügig bemessene Bewegungsflächen rund um den Bettenplatz, da hier – anders als in den Patientenzimmern – häufig mit einer größeren Anzahl von Personen unter stark angespannten Bedingungen gearbeitet wird.

Der Notfallraum benötigt keinen Vorraum, muss jedoch ebenfalls eine RLT-Anlage haben, ebenso wie eine medizinische Gasversorgung und eine starke Beleuchtung. Das Anforderungsniveau bezüglich der gebäudetechnischen Ausrüstung ist ähnlich wie bei den Räumen für Intensivtherapie (s. o.).

Arbeitsraum - rein

Der Raum dient der Vorbereitung von Injektionen, Infusionen sowie zur Lagerung von Einmalartikeln und Medikamenten. Wegen der hygienischen Anforderungen ist auch hier eine RLT-Anlage notwendig.

⁴⁸ www.klinikum-krefeld.de

Patienten-Übergaberaum

Hierfür muss nicht zwingend ein eigener Raum vorgesehen werden. Die Patientenübergabe kann auch in einem Teilbereich eines Flures oder im Behandlungsraum erfolgen.

Personalumkleiden

Die Umkleidebereiche sind möglichst als Schleusen auszubilden. Die Sanitärräume sind hier zu integrieren.

Besuchergarderobe/-umkleide

Der Raum hat – ähnlich wie die Personalumkleiden – eine Schleusenfunktion. Ausreichend Schränke zur Lagerung von persönlichen Gegenständen sind vorzusehen.

Zentraler Arbeits- und Kommunikationsbereich für das Pflegepersonal (Stützpunkt)

In diesem Raum oder Bereich laufen die Daten der Patientenüberwachungsgeräte zusammen. Hier werden die Patientenakten gepflegt und ggf. gelagert. Hier wird der Arbeitseinsatz besprochen, es werden die Absprachen mit dem ärztlichen Personal getroffen, Dienstpläne erstellt und viele andere büroähnliche Tätigkeiten verrichtet.

Arztraum

Es handelt sich um einen Raum für die ärztliche Tätigkeit, die nicht am Patienten verrichtet wird, z. B. Bearbeitung von Patientendaten, Auswertung von Untersuchungsergebnissen, Verfassen von Berichten, Diktate etc..

Personalaufenthaltsraum

Es handelt sich i. W. um einen Pausenraum.

Überwachungsraum

In diesem Raum laufen die Daten der Überwachungsgeräte zusammen. Er ist mit einer großen Anzahl von EDV-Geräten ausgestattet.

Schleusen

Der Zugang und die Ver- bzw. Entsorgung der Intensivstation sollte über Schleusen erfolgen. Sofern möglich, sollten getrennte Schleusen für Patienten, Personal, Besucher, Versorgungsgüter und Entsorgungsmaterial vorgesehen werden.

Weitere Räume können, je nach den spezifischen Anforderungen, hinzukommen.

3.3.2 Laststruktur

In den Räumen einer Intensivstation entstehen, ebenso wie in den anderen Abteilungen eines Krankenhauses, innere Lasten. Zur Beurteilung des Energieverbrauches einer Intensivstation ist zunächst die Laststruktur zu ermitteln. Wesentlich sind in diesem Zusammenhang:

- Hygienischer Mindest-Außenluftstrom nach DIN 1946/4 (03/1999), Tab. 2
für Räume der Intensivtherapie und Notfallräume 30 m³/(h·m²)
für Räume der Intensivobservation und sonstige Räume, Flure 15 m³/(h·m²)
- Beleuchtungsstärke nach DIN 5035/3 (09/1988)
für Patientenzimmer und Notfallräume bis 1000 lx
für Arzt- und Schwesternzimmer 300 lx
für sonstige Räume, Flure bis 300 lx

Weiter treten Lasten durch Personen und Geräte auf. Solare Gewinne sind durch die transparenten Außenflächen zu erwarten, die in allen Daueraufenthaltsräumen notwendig sind, insbesondere den Patientenzimmern, den Arzt- und Schwesterndiensträumen sowie im Personalaufenthaltsraum.

In allen Räumen, die keine Daueraufenthaltsräume sind, ist keine natürliche Belichtung erforderlich. Dies sind in erster Linie

- Behandlungsraum/Notfallraum
- Personalumkleiden
- Besuchergarderobe/-umkleide
- Arbeitsraum rein/unrein
- Flure, Lagerräume, sonstige Räume

Die thermischen und hygrischen Raumlufzustände sind ebenfalls in DIN 1946/4 (03/1999), Tab. 2, festgelegt:

- Raumlufteperatur für Patientenzimmer und Notfallraum 24 – 26 °C
- Sonstige Räume, Flure wie Zulufttemperatur Patientenzimmer

Die DIN geht also davon aus, dass in der gesamten Intensivstation ähnliche Raumlufzustände herrschen. Die Raumlufteperatur hat einen kleineren Sollwertbereich wie in der OP-Abteilung. Der obere Grenzwert (26 °C) wird nur selten gefahren, da er für viele Patienten, aber auch für das Personal belastend ist. Der Berechnungswert für die Raumtemperatur beträgt 24 °C.

Es empfiehlt sich, für die Regelung der Zulufttemperatur der sonstigen Räume die Raumtemperatur als Regelgröße zu verwenden und einen Referenzraum zu wählen. Gegebenenfalls sind mehrere Zonen erforderlich.

Es ist somit festzustellen, dass in Intensivstationen ähnliche Laststrukturen herrschen wie bei den OP-Nebenzimmern. Im Unterschied dazu ist es jedoch hier nicht möglich, temporäre Abweichungen der Raumtemperaturen in den Patientenzimmern von den Sollwerten zu tolerieren, sodass von einer Konzeption ausgegangen werden kann, die der einer OP-Abteilung mit solaren Einträgen entspricht

(vgl. Abbildung 3.2.3.5/1). Als thermisch sensible Räume sind die Patientenzimmer einzustufen. Sie müssen eine natürliche Belichtung haben.

Die thermischen Lasten in der Intensivstation setzen sich aus folgenden bestimmenden Faktoren zusammen:

- Beleuchtung
- Geräte
- Personen
- Solare Lasten

Die ersten drei sind innere Lasten, die kaum veränderbar sind. Solare Lasten können durch bauliche Maßnahmen reduziert werden. Durch die Orientierung des Baukörpers kann die Einstrahlung minimiert werden. Sonnenschutzeinrichtungen an Gläsern wirken ebenso minimierend. Darüber hinaus sollten bauphysikalische Speichermassen vorgesehen werden. Damit werden Lasten abgehalten, die zu einem erhöhten anlagentechnischen und energetischen Aufwand führen würden. Durch die Sonnenschutzeinrichtungen wird der Patient vor starker direkter Sonnenbestrahlung geschützt.

Aus energetischen Gründen sollten die Patientenzimmer deshalb, sofern möglich, zu den Himmelsrichtungen mit den geringsten zu erwartenden solaren Einstrahlungen orientiert sein. Die Räume, die kein Tageslicht benötigen, sollten innen liegend sein.

3.3.3 Referenz-Intensivstation

Zur Bestimmung des in Intensivstationen entstehenden Energieverbrauches muss diese Abteilung zunächst definiert werden. Hierzu ist wiederum die RKI-Richtlinie heran zu ziehen. Danach sollte die Größe einer Intensiveinheit für Patienten der Gruppen A1, A2, A3 und B1 mindestens 6 und maximal 16 Betten umfassen⁴⁹. Hinweise zur Anzahl und Aufteilung der Räume finden sich nicht.

Für eine Intensivstation in einem Krankenhaus der Grundversorgung ist eine ausreichende Anzahl von Einbett- und Zweibettzimmern erforderlich. Die Zweibettzimmer werden ohne Vorräume konzipiert. Weiter werden ein Behandlungsraum, ein Stützpunkt, ein Arbeitsraum rein, ein Personalumkleideraum, eine Besuchergarderobe, ein Arzttraum, ein Personalaufenthaltsraum, Personaltoiletten, ein Versorgungsraum und ein Entsorgungsraum benötigt. Lager- und Flurflächen sind nach Bedarf erforderlich.

Die Untersuchung von 14 Krankenhäusern der Allgemeinversorgung ergibt durchschnittlich 20 Intensivbetten in den Einrichtungen (siehe Tab. 4.2/2). Auf dieser Grundlage wird die Referenz-Intensivstation bestimmt, die ebenfalls ein Modell zur Abbildung der energetischen Strukturen ist (vgl. 3.2.3.2).

⁴⁹ RKI-Richtlinie für Krankenhaushygiene und Infektionsprävention, Abschnitt 4.3.4, Nr. 3



Abbildung 3.3.3/1: Referenz-Intensivstation

Als Grundlage für die weiteren Betrachtungen können die für die OP-Nebenräume bestimmten Lasten auch hier angesetzt werden. Dabei muss zwischen den verschiedenen Räumen der Intensivstation differenziert werden.

Patientenzimmer

Aufgrund der großen Anzahl der notwendigen Überwachungsgeräte liegt der Lastschwerpunkt bei den Geräten. Es handelt sich um Räume mit sehr hoher Last.

$$\dot{Q}_{K,max} = 30,3 \text{ W/m}^2 \text{ (vgl. Tabelle 3.2.3.1/2)}$$

Flure, Lagerräume, Umkleieräume, Versorgungs- und Entsorgungsräume, WC-Räume, Flure, Abschiedsraum

Hier treten nur geringe Lasten auf. Es liegen weder Lasten durch Geräte noch in nennenswertem Umfang durch Personen an.

$$\dot{Q}_{K,max} = 12,0 \text{ W/m}^2 \text{ (vgl. Tabelle 3.2.3.1/3)}$$

Arbeitsraum, Küche, Personalaufenthaltsraum, Arzttraum, Besucherraum, Behandlungsraum, Stützpunkt

Die Räume haben vergleichsweise hohe Lasten, die sich vor allem aus der Beleuchtung und den Geräten zusammensetzen.

$$\dot{Q}_{K,max} = 23,3 \text{ W/m}^2 \text{ (vgl. Tabelle 3.2.3.1/1)}$$

Mit diesen spezifischen Werten kann die innere Kühllast der Intensivstation bestimmt werden. Zur Ermittlung der Zuluftvolumenströme sind die nach DIN 1946/4 (03/1999), Tab. 2, erforderlichen hygienischen Mindest-Außenluft-Volumenströme anzusetzen. Sie betragen:

Für Intensivtherapie	30 m ³ /(h·m ²)
Für Intensivobservation	15 m ³ /(h·m ²)
Für Notfallraum	30 m ³ /(h·m ²)
Für sonstige Räume, Flure	15 m ³ /(h·m ²)

Im Folgenden wird nur von Räumen für Intensivtherapie ausgegangen, da für Räume der Intensivobservation eine RLT-Anlage nicht zwingend notwendig ist.

Nr.	Raum	Raumfläche m ²	Anz. der Räume	Raumfläche gesamt	spezif. Zuluftvolumenstrom m ³ /(hm ²)	Zuluftvolumenstrom gesamt m ³ /h	spezif. innere Kühllast W/m ²	innere Kühllast gesamt W
1	1-Bett-Zimmer einschl. Vorraum und WC Raum	43,3	4	173,2	30,0	5.197,2	30,3	5.249,2
2	2-Bett-zimmer einschl. WC-Raum	53,2	6	319,3	30,0	9.577,8	30,3	9.673,6
3	Behandlungsraum	58,2	1	58,2	30,0	1.744,8	23,3	1.355,1
4	Arbeitsraum - rein	53,9	1	53,9	15,0	809,0	23,3	1.256,6
5	Stützpunkt	15,9	1	15,9	15,0	237,9	23,3	369,5
6	Stationsküche	24,4	1	24,4	15,0	366,0	23,3	568,5
7	Abschiedsraum	37,0	1	37,0	15,0	555,2	12,0	444,1
8	Personalumkleideraum	35,1	1	35,1	15,0	525,9	12,0	420,7
9	Personal-WC	7,8	2	15,5	15,0	232,8	12,0	186,2
10	Personalaufenthaltsraum	48,3	1	48,3	15,0	723,9	23,3	1.124,5
11	Besuchergarderobe	7,8	1	7,8	15,0	116,4	12,0	93,1
12	Besucherraum	32,8	1	32,8	15,0	491,7	23,3	763,8
13	Arztzimmer	48,3	1	48,3	15,0	723,9	23,3	1.124,5
14	Patientenübergabe	10,4	1	10,4	15,0	156,5	12,0	125,2
15	Lager 1	46,4	1	46,4	15,0	695,7	12,0	556,6
16	Lager 2	26,4	1	26,4	15,0	395,9	12,0	316,7
17	Versorgungsraum	10,5	1	10,5	15,0	156,9	12,0	125,5
18	Entsorgungsraum	28,5	1	28,5	15,0	426,9	12,0	341,5
19	Technik	58,2	1	58,2	0,0	0,0	0,0	0,0
19	Technik	154,2	1	154,2	15,0	2.313,6	12,0	1.850,9
	Summe			1.204,0		25.447,8		24.094,8

Tabelle 3.3.3/1: Flächen, Volumenströme und Kühllasten der Intensivstation

Summierte Daten der Intensivstation:

Fläche	1.204,0 m ²
Innere Kühllast	24.094,8 W
Zuluftvolumenstrom	25.447,8 m ³ /h

In der Intensivstation sind eine Reihe von Räumen mit Fenstern auszustatten. Daher treten solare Lasten auf, die zu berücksichtigen sind. Hier wird zunächst von einer West-Ost-Orientierung der Fassaden ausgegangen. Die solaren Lasten sind deshalb mit denen der OP-Nebenräume zu vergleichen (vgl. 3.2.3.5) und es ergeben sich neue Werte für die Kühllast der Räume.

1- Bett-Zimmer einschließlich Vorraum und WC-Raum

Innere Kühllast	$\dot{Q}_{Ki} = 43,3 \text{ m}^2 \cdot 30,3 \text{ W/m}^2$	=	1.312 W
Solare Kühllast	\dot{Q}_S	=	1.317 W
Transmissions-Kühllast	\dot{Q}_{KT}	=	66 W
Gesamtkühllast	\dot{Q}_K	=	2.695 W

Spezifische Kühllast $q_K = \frac{2.695 \text{ W}}{43,3 \text{ m}^2} = 62,2 \text{ W/m}^2$

Spezifische Enthalpiedifferenz Außenluft-Raumluft: $\Delta h = 6,5 \text{ kJ/kg}$
 $\rho_L = 1,165 \text{ kg/m}^3$

$$\dot{V}_L = \frac{\dot{Q}_K}{\Delta h \cdot \rho_L}$$

$$\dot{V}_{ZU} = \frac{2,695 \text{ kW}}{6,5 \text{ kJ/kg} \cdot 1,165 \text{ kg/m}^3} \cdot 3.600 \text{ s/h} = 1.281,2 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\underline{\dot{V}_{ZU} = 1.281 \text{ m}^3/\text{h}}$$

Raumfläche $A_F = 43,3 \text{ m}^2$

Damit ergibt sich der erforderliche spezifische Zuluftvolumenstrom :

$$v_{ZU} = \frac{1.281 \text{ m}^3/\text{h}}{43,3 \text{ m}^2}$$

$$\underline{v_{ZU} = 29,6 \text{ m}^3/(\text{h m}^2)}$$

Der zur Abführung der Kühllast erforderliche spezifische Zuluftvolumenstrom liegt damit knapp unter dem nach DIN 1946/4 (03/1999), Tab. 2, erforderlichen hygienischen Mindest-Außenluft-Volumenstrom, sodass eine weitere Erhöhung nicht notwendig ist.

Für die 2-Bett-Zimmer ist ebenfalls keine weitere Erhöhung des Zuluftvolumenstromes erforderlich, da die Raumfläche bei annähernd gleichen externen Lasten wie in den 1-Bett-Zimmern größer ist, sodass die spezifischen Lasten kleiner sind.

2- Bett-Zimmer einschließlich WC-Raum

Innere Kühllast $\dot{Q}_{Ki} = 53,2 \text{ m}^2 \cdot 30,3 \text{ W/m}^2 = 1.612 \text{ W}$

Solare Kühllast $\dot{Q}_S = 1.317 \text{ W}$

Transmissions-Kühllast $\dot{Q}_{KT} = 66 \text{ W}$

Gesamtkühllast $\dot{Q}_K = 2.695 \text{ W}$

Spezifische Kühllast $q_K = \frac{2.695 \text{ W}}{53,2 \text{ m}^2} = 50,7 \text{ W/m}^2$

Die Kühllast kann somit auch hier mit dem hygienischen Mindest-Außenluft-Volumenstrom abgeführt werden.

Personalaufenthaltsraum, Arzttraum, Besucherraum

Hier handelt es sich um thermisch nicht sensible Räume. Der nach DIN 1946/4 (03/1999), Tab. 2, erforderliche hygienische Mindest-Außenluft-Vo-

lumenstrom beträgt $15 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$. Die Raumtemperatur ist nicht begrenzt, sodass eine temporäre Abweichung nach oben toleriert werden kann.

Sonstige Räume

Bei den sonstigen Räumen der Intensivstation treten keine externen Lasten auf, da sie innen liegend sind.

Es ergeben sich somit folgende Gesamtkühllasten für die Intensivstation:

Nr.	Raum	Raumfläche m ²	Anz. d. Räume	Raumfläche gesamt m ²	spezif. Zuluftvolumenstrom m ³ /(hm ²)	Zuluftvolumenstrom gesamt m ³ /h	spezif. Kühllast W/m ²	Kühllast gesamt W
1	1-Bett-Zimmer einschl. Vorraum und WC Raum	43,3	4	173,2	30,0	5.197,2	62,2	10.775,5
2	2-Bett-zimmer einschl. WC-Raum	53,2	6	319,3	30,0	9.577,8	50,7	17.974,3
3	Behandlungsraum	58,2	1	58,2	30,0	1.744,8	23,3	1.355,1
4	Arbeitsraum - rein	53,9	1	53,9	15,0	809,0	23,3	1.256,6
5	Stützpunkt	15,9	1	15,9	15,0	237,9	23,3	369,5
6	Stationsküche	24,4	1	24,4	15,0	366,0	23,3	568,5
7	Abschiedsraum	37,0	1	37,0	15,0	555,2	12,0	444,1
8	Personalumkleideraum	35,1	1	35,1	15,0	525,9	12,0	420,7
9	Personal-WC	7,8	2	15,5	15,0	232,8	12,0	186,2
10	Personalaufenthaltsraum	48,3	1	48,3	15,0	723,9	23,3	1.124,5
11	Besuchergarderobe	7,8	1	7,8	15,0	116,4	12,0	93,1
12	Besucherraum	32,8	1	32,8	15,0	491,7	23,3	763,8
13	Arztzimmer	48,3	1	48,3	15,0	723,9	23,3	1.124,5
14	Patientenübergabe	10,4	1	10,4	15,0	156,5	12,0	125,2
15	Lager 1	46,4	1	46,4	15,0	695,7	12,0	556,6
16	Lager 2	26,4	1	26,4	15,0	395,9	12,0	316,7
17	Versorgungsraum	10,5	1	10,5	15,0	156,9	12,0	125,5
18	Entsorgungsraum	28,5	1	28,5	15,0	426,9	12,0	341,5
19	Technik	58,2	1	58,2	0,0	0,0	0,0	0,0
19	Technik	154,2	1	154,2	15,0	2.313,6	12,0	1.850,9
	Summe			1.204,0		25.447,8		39.772,8

Tabelle 3.3.3/2: Gesamtlasten, Flächen und Volumenströme der Intensivstation

Summierte Daten der Intensivstation:

Fläche	1.204,0 m ²
Gesamtkühllast	39.772,8 W
Zuluftvolumenstrom	25.447,8 m ³ /h

3.3.4 Energieverbrauch Intensivstation

Energieverbrauch für die thermische Luftaufbereitung

Im Unterschied zu den OP-Sälen und den OP-Nebenräumen gibt es in Intensivstationen keine Zeiten mit reduziertem Betrieb, da die Stationen in der Regel jederzeit belegt sind. Der Nachtbetrieb unterscheidet sich vom Tagbetrieb durch andere Außenluftkonditionen und durch die fehlende externe Kühllast.

Es gilt im Tagbetrieb:

Die Heizlast ist mit der der OP-Nebenräume vergleichbar (vgl. 3.2.3.3 und Tabelle 3.2.3.3/1):

$$\dot{Q}_{T12} = 34,728 \text{ kW} \cdot \frac{1.204,0 \text{ m}^2}{1.196,1 \text{ m}^2} = 34,966 \text{ kW}$$

Es gilt im Tagbetrieb:

$$\begin{aligned} \dot{V}_{ZUT} &= 25.447,8 \text{ m}^3/\text{h} = 7,07 \text{ m}^3/\text{s} \\ \dot{Q}_{T12} &= 34,966 \text{ kW} \\ \dot{Q}_{KiT} &= 39.772,8 \text{ kW} \end{aligned}$$

Es gilt im Nachtbetrieb:

$$\begin{aligned} \dot{V}_{ZUN} &= \dot{V}_{ZUT} = 25.447,8 \text{ m}^3/\text{h} = 7,07 \text{ m}^3/\text{s} \\ \dot{Q}_{T12} &= 34,966 \text{ kW} \\ \dot{Q}_{KiN} &= 24,095 \text{ kW} \end{aligned}$$

Der Energieverbrauch für die thermische Aufbereitung der Zuluft wird mit Gleichung (34) und (35) ermittelt. Es ergibt sich:

	ϑ_{AUT} °C	h_{AUT} kJ/kg	t_T h/Mo	Q_{UT} kWh/Mo	ϑ_{AUN} °C	h_{AUN} kJ/kg	t_N h/Mo	Q_{UN} kWh/Mo
Januar	1,95	10,9	372	57.383	1,45	10,8	372	58.669
Februar	2,64	11,8	336	50.855	1,88	11	336	52.786
März	5,93	16,3	372	50.507	4,58	14,8	372	53.134
April	10,2	22,9	360	40.330	7,33	20	360	44.226
Mai	14,3	30,5	372	31.214	11,9	27,8	372	34.635
Juni	17,5	37,8	360	20.269	14	34	360	24.728
Juli	18,5	41,3	360	15.415	15,4	37,1	360	20.394
August	18,2	41,2	372	15.949	15,1	36,9	372	21.334
September	16	36,5	360	21.611	13,1	33,1	360	25.905
Oktober	11,7	28,5	372	33.197	9,8	26	372	36.995
November	6,28	18,8	360	44.885	5,38	17,8	360	47.132
Dezember	3,08	13,5	372	53.553	2,49	12,5	372	56.264
Summe				435.167				476.203

Tabelle 3.3.4/1: Außentemperaturen, Außenluftenthalpien, Betriebszeiten und Energieverbrauch für die thermische Aufbereitung der Zuluft in der Intensivstation

Der Gesamtenergieverbrauch für die thermische Aufbereitung der Zuluft der Intensivstation beträgt

$$\underline{Q_U = 911.370 \text{ kWh/a.}}$$

Ein erheblicher Anteil des Energieverbrauches ist auf die beträchtliche Kühllast zurückzuführen. Ein wesentlicher Faktor sind in diesem Zusammenhang die externen Lasten, die sich aus der Differenz der Kühllasten im Tag- und im Nachtbetrieb ergeben. Sie beträgt $\dot{Q}_S = 39,773 \text{ kW} - 24,095 \text{ kW} = 15,678 \text{ kW}$. Daher

muss es eines der wichtigsten Ziele zur Minimierung des Energieverbrauches sein, die Kühllasten so weit wie möglich zu reduzieren.

Elektrischer Energieverbrauch für Luftförderung

Die Berechnung erfolgt nach 3.2.2.1, Gleichung (17) ff. Die Luftmenge kann jedoch nachts nicht reduziert werden, da die Station auch im Nachtbetrieb voll belegt ist. Daher gilt:

$$\dot{V}_L = \dot{V}_{VZUT} = \dot{V}_{VABT} = \dot{V}_{VZUN} = \dot{V}_{VABN}$$

Der vom Ventilator zu erbringende Differenzdruck ist die Summe der Differenzdrücke des Zu- und Abluftventilators (vgl. 3.2.2.1).

Gleichung (21) kann damit reduziert werden und es gilt:

$$Q_V = \frac{1}{0,64} \cdot 8.760 \text{ h/a} \cdot 7,07 \text{ m}^3/\text{s} \cdot (1.100 \text{ Pa} + 800 \text{ Pa})$$

$$\underline{Q_V = 183.864 \text{ kWh/a}}$$

Elektrischer Energieverbrauch für Beleuchtung

Die Bestimmung erfolgt analog zu der Berechnung für die OP-Nebenräume gem. 3.2.3. Die erforderliche Nennbeleuchtungsstärke liegt dort bei 500 lx, hier jedoch nur bei 300 lx. Die spezifische Anschlussleistung wird daher proportional reduziert. In den Patientenzimmern liegt sie bei max. 1.000 lx. In den Räumen mit Tageslicht wird größtenteils keine künstliche Beleuchtung benötigt. Dieser Umstand wird mit einem abgeschätzten Zuschlag von 25 % auf den für die innen liegenden Räume ermittelten Energieverbrauch für Beleuchtung berücksichtigt. Die innen liegenden Räume benötigen Tag und Nacht Beleuchtung, da die Station ununterbrochen in Betrieb ist.

Damit ergibt sich folgendes Bild:

Spezifische Anschlussleistung	$P_{el} = 10,1 \text{ W/m}^2$	(vgl. 3.2.3.3)
Fläche der innen liegenden Räume	$A_R = 582,1 \text{ m}^2$	(s. Tab. 3.3.2/2)
Betriebszeit	$t_B = 8.760 \text{ h/a}$	

$$Q_B = P_{el} \cdot A_R \cdot t_B \cdot 1,25 = \frac{10,1 \cdot 300 \text{ lx}}{1.000 \cdot 500 \text{ lx}} \text{ kW/m}^2 \cdot 582,1 \text{ m}^2 \cdot 8.760 \text{ h/a} \cdot 1,25$$

(vgl. Gleichung (24), (25))

$$\underline{Q_B = 38.626 \text{ kWh/a}}$$

Elektrischer Energieverbrauch für Geräte

Auch hier ist es kaum möglich, die eingesetzten Geräte und ihre Betriebszeiten exakt zu bestimmen, da sich die Verwendung ausschließlich nach medizinischen Notwendigkeiten richtet und daher ständig wechselt. Der Einsatz erfolgt jedoch in erster Linie in den Patientenräumen zur Überwachung. Es wird deshalb ein Analogieschluss zum Aufwachraum gezogen (vgl. 3.2.3.3). Es gelten dieselben Betriebszeiten wie bei der Beleuchtung.

In den übrigen Räumen der Intensivstation sind Geräte nur vereinzelt und kurzfristig im Einsatz. Der Energieverbrauch hierfür ist vernachlässigbar gering.

Patientenzimmer

$$Q_M = P_{elM} \cdot A_R \cdot t_B \quad (\text{vgl. Gleichung (26)})$$

$$Q_M = 12,6 \text{ W/m}^2 \cdot 492,5 \text{ m}^2 \cdot 8.760 \text{ h/a} \cdot 1/1.000$$

$$\underline{Q_M = 54.360 \text{ kWh/a}}$$

Energieverbrauch für Warmwasser

Waschzwecke

In der Intensivstation gibt es keine Waschstraßen wie in den OP-Abteilungen. Die Beschäftigten waschen sich nach Bedarf die Hände. Hierfür sind in den Vorräumen der Patientenzimmer Waschtische angebracht. Der Warmwasserverbrauch ist kaum bestimmbar. Nachfolgend wird eine begründete Abschätzung gemacht.

$$Q_W = n \cdot t_{Wasch} \cdot Q_{Arm} \cdot (\vartheta_{WW} - \vartheta_{KW}) \cdot (100 \% + \eta_V) / 100 \% \cdot c_W \quad (43)$$

mit

Anzahl der Waschvorgänge je Tag in der Intensivstation	n	=	50 1/Pers
Dauer des einzelnen Waschvorganges	t_{Wasch}	=	3 min
Durchfluss der Armatur (mit Durchflussbegrenzung)	Q_{Arm}	=	12 kg/Min
Warmwassertemperatur	ϑ_{WW}	=	42 °C
Kaltwassertemperatur	ϑ_{KW}	=	10 °C
Transport- und Zirkulationsverluste	η_V	=	20 %
Spezifische Wärmekapazität von Wasser	c_W	=	4,182 kJ/(kg · K)

$$Q_W = 50 \cdot 365 \text{ d/a} \cdot 3 \text{ Min} \cdot 12 \text{ kg/Min} \cdot (42 \text{ °C} - 10 \text{ °C}) \cdot 1,2 \cdot 4,182 \text{ kJ/(kg K)} \cdot 1/3.600 \text{ kWh/kJ}$$

$$Q_W = 4.014,7 \text{ kWh/a}$$

Reinigungszwecke

Intensivstationen sind mindestens einmal pro Arbeitstag zu reinigen. Teilbereiche, z. B. Patientenräume unter bestimmten Bedingungen, können nicht jeden Tag gereinigt werden. Der Verbrauch an Warmwasser unterliegt daher starken Schwankungen. Insgesamt ist der Warmwasserverbrauch deutlich geringer als im OP-Bereich.

Warmwasserverbrauch

$$q_R = 0,1 \text{ l/m}^2 = 0,1 \text{ kg/m}^2$$

$$n_{Arb} = 365 \text{ d/a}$$

nach Gleichung (33) gilt

$$Q_R = 0,1 \text{ kg/m}^2 \cdot 1.204 \text{ m}^2 \cdot 365 \text{ d/a} \cdot (42 \text{ °C} - 10 \text{ °C}) \cdot 1,2 \cdot 4,182 \text{ kJ/(kg K)} \cdot 1/3.600 \text{ kWh/kJ}$$

$$Q_R = 1.960 \text{ kWh/a}$$

Energieverbrauch für Warmwasser gesamt:

$$Q_{WW} = Q_W + Q_R = 4.014 \text{ kWh/a} + 1.960 \text{ kWh/a}$$

$$\underline{Q_{WW} = 5.974 \text{ kWh/a}}$$

Damit ergibt sich folgendes Bild des Energieverbrauches, des Primärenergieverbrauches und der Energiekosten in der Intensivstation:

	Energieverbrauch		Primärenergie-Faktor	Primärenergieverbrauch		Energiekosten		
	absolut kWh/a	relativ %		absolut kWh/a	relativ %	spezifisch €/kWh	absolut €/a	relativ %
Thermische Energie für Luftaufbereitung	911.370	76,3	1,10	1.002.507	54,5	0,0227	20.688	31,9
Elektrische Energie für Luftförderung	183.864	15,4	3,00	551.592	30,0	0,1591	29.253	45,1
Elektrische Energie für Beleuchtung	38.626	3,2	3,00	115.878	6,3	0,1591	6.145	9,5
Elektrische Energie für Geräte	54.360	4,6	3,00	163.080	8,9	0,1591	8.649	13,3
Thermische Energie für Warmwasser	5.974	0,5	1,10	6.571	0,4	0,0227	136	0,2
Summe	1.194.194	100,0		1.839.628	100,0		64.871	100,0

Tabelle 3.3.4/2: Energieverbrauch, Primärenergieverbrauch, Energiekosten der Intensivstation

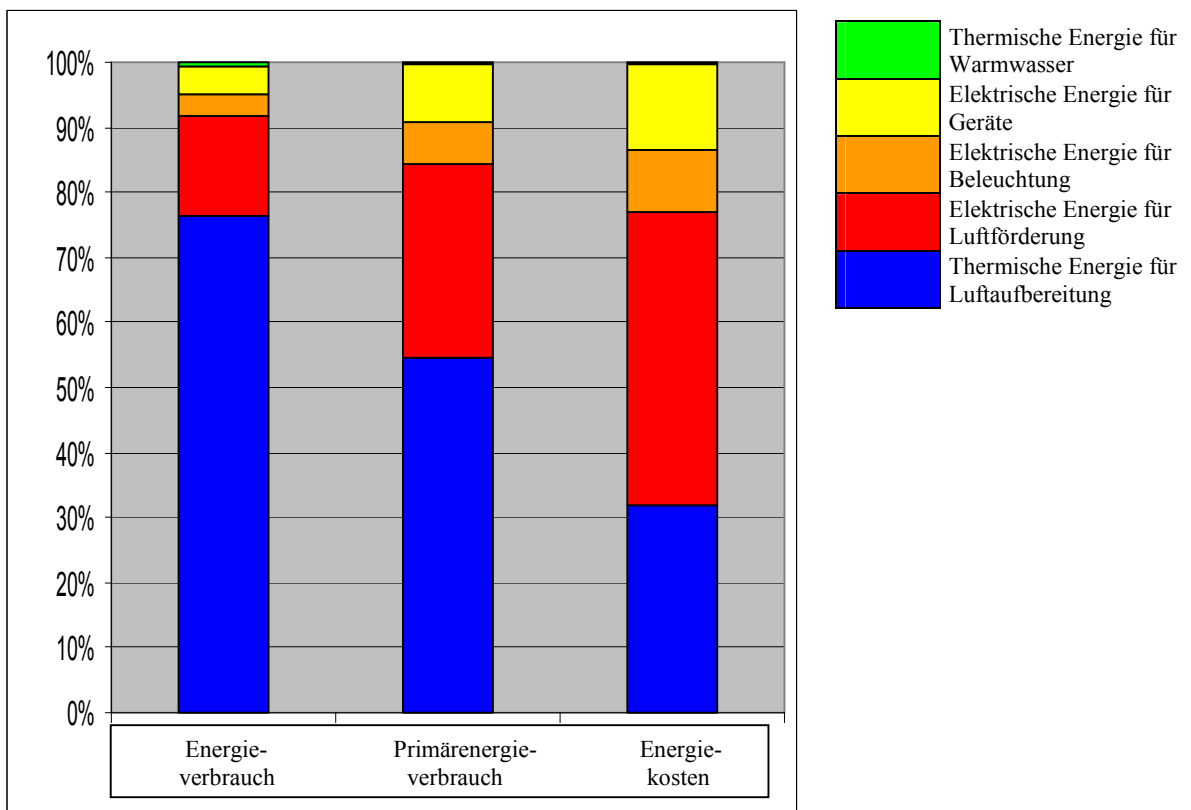


Abbildung 3.3.4/1: Säulendiagramm Energieverbrauch, Primärenergieverbrauch, Energiekosten der Intensivstation

Deutlich ist zu erkennen, dass ca. 3/4 des Energieverbrauches auf die thermische Aufbereitung der Zuluft entfallen. Dies ist wesentlich auf die großen Betriebszeiten zurückzuführen. Der Anteil am Energieverbrauch für elektrische Energie für Luftförderung liegt bei ca. 15 %. Dieses Bild verändert sich bei der Betrachtung des Primärenergieverbrauches und noch stärker bei den Energiekosten. Hier beträgt der Anteil für die Luftförderung ca. 45 %.

Im weiteren Verlauf ist daher zunächst zu betrachten, wie sich die Situation verändert, wenn ungünstige Installationsverhältnisse vorliegen und welche Auswirkungen eine andere Himmelsrichtungs-Orientierung hat.

3.3.5 Energieverbrauch Intensivstation bei ungünstigen Installationsverhältnissen

Da für die Intensivstation große Luftmengen bei gleichzeitig langen Betriebszeiten benötigt werden, sind günstige Installationsverhältnisse von erheblicher Bedeutung für den zu erwartenden Energieverbrauch. Analog zu 3.2.3.4 wird diese Frage nachfolgend untersucht. Die Strömungsgeschwindigkeit in den Luftkanälen erhöht sich von $v_1 = 3,5 \text{ m/s}$, wie sie Gleichung (21) zu Grunde liegt, auf $v_2 = 5,5 \text{ m/s}$. Die Differenzdrücke der Zu- und Abluftventilatoren steigen dann auf (s. Gleichung (23)):

$$\Delta p_{ZUT} = 2.245 \text{ Pa}$$

$$\Delta p_{ABT} = 1.633 \text{ Pa}$$

Nach Gleichung (16) wird der sich dann ergebende Energieverbrauch für die Luftförderung bestimmt:

$$Q_V = \frac{1}{0,64} \cdot 8.760 \text{ h/a} \cdot 7,07 \text{ m}^3/\text{s} \cdot (2.245 \text{ Pa} + 1.633 \text{ Pa})$$

$$\underline{Q_V = 375.276 \text{ kWh/a}}$$

Der Energieverbrauch für die Luftförderung hat sich somit von 183.864 kWh/a auf 375.276 kWh/a um 104,1 % mehr als verdoppelt.

Beim Energieverbrauch für die thermische Luftaufbereitung, die Beleuchtung, die Geräte und die Warmwasserbereitung ergeben sich keine Veränderungen.

Das Gesamtbild des der Energieverbrauches der Intensivstation sieht dann wie folgt aus:

	Energieverbrauch		Primärenergie-Faktor	Primärenergieverbrauch		Energiekosten		
	absolut kWh/a	relativ %		absolut kWh/a	relativ %	spezifisch €/kWh	absolut €/a	relativ %
Thermische Energie für Luftaufbereitung	911.370	65,8	1,10	1.002.507	41,5	0,0227	20.688	21,7
Elektrische Energie für Luftförderung	375.276	27,1	3,00	1.125.828	46,6	0,1591	59.706	62,6
Elektrische Energie für Beleuchtung	38.626	2,8	3,00	115.878	4,8	0,1591	6.145	6,4
Elektrische Energie für Geräte	54.360	3,9	3,00	163.080	6,8	0,1591	8.649	9,1
Thermische Energie für Warmwasser	5.974	0,4	1,10	6.571	0,3	0,0227	136	0,1
Summe	1.385.606	100,0		2.413.864	100,0		95.324	100,0

Tabelle 3.3.5/1: Energieverbrauch, Primärenergieverbrauch, Energiekosten der Intensivstation bei ungünstigen Installationsverhältnissen

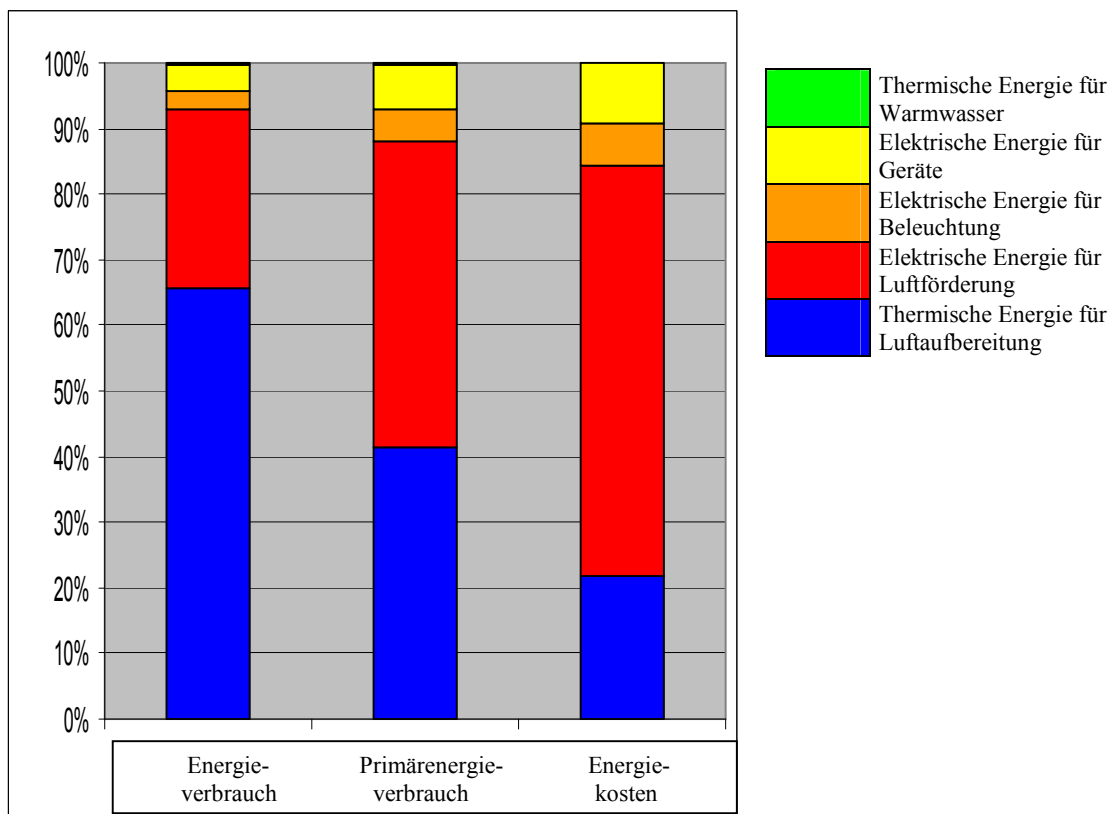


Abbildung 3.3.5/1: Säulendiagramm Energieverbrauch, Primärenergieverbrauch, Energiekosten der Intensivstation bei ungünstigen Installationsverhältnissen

Die anteiligen Kosten für die Luftförderung betragen jetzt nahezu $\frac{2}{3}$ der Gesamt-Energiekosten und stellen ein erhebliches wirtschaftliches Potenzial dar.

3.3.6 Energieverbrauch Intensivstation bei Nord-Süd-Orientierung

Die bisherigen Betrachtungen bezogen sich auf eine Intensivstation, bei der die Fassaden nach Westen bzw. Osten orientiert sind. Dies ist die Situation, bei der die größten Lasten zu erwarten sind (vgl. 3.2.3.5). Es stellt sich jedoch die Frage, ob sich durch eine andere Orientierung geringere Lasten und damit auch ein geringerer Energieverbrauch einstellt. Als Vergleichssituation wird daher eine um 90° anders orientierte Intensivstation betrachtet, bei der die Fassaden nach Süden und Norden orientiert sind.

Durch diese veränderte Situation ergeben sich unmittelbare Auswirkungen auf die solaren Lasten. Für die Bestimmung der Lasten muss der Monat ermittelt werden, in dem die Summen der Strahlungswerte der Nord- und Südseiten maximal sind, da dann auch das Kühllast-Maximum eintritt.

Diese Situation tritt im Winter, genauer im Februar, ein. Die Summe der Strahlungsmaxima liegt dann bei 686 W/m^2 . Der Maximalwert auf der Südseite beträgt 627 W/m^2 und tritt nur kurzzeitig als Spitze auf, die kaum Auswirkungen

auf die Raumtemperaturen hat. Ein kurzzeitiger Anstieg der Raumtemperaturen ist zulässig, da DIN 1946/4 (03/1999), Tab. 2, einen Bereich von 24 – 26 °C vorgibt.

Zunächst sind die Veränderungen der Lasten, die sich aus den geänderten solaren Einstrahlungen ergeben, zu ermitteln. Den Betrachtungen gemäß 3.3.3 lagen die in 3.2.3.5 ermittelten solaren Kühllasten zu Grunde, die auf einer maximalen Solarstrahlung von 563 W/m² (West- und Ostseite) basierten. Die solaren Kühllasten für die Nord- und Südseite ergeben sich damit zu:

Südseite:

$$\dot{Q}_S = 1.317 \text{ W} \cdot \frac{627 \text{ W/m}^2}{563 \text{ W/m}^2} = 1.466 \text{ W}$$

Die Transmissions-Kühllasten entfallen, da die Außentemperaturen im Februar in jedem Fall deutlich unter den Raumtemperaturen liegen. Die Gesamtkühllasten der Räume auf der Südseite verändern sich dadurch wie folgt:

Innere Kühllast	$\dot{Q}_{Ki} =$	1.312 W
Solare Kühllast	$\dot{Q}_S =$	1.466 W
Transmissions-Kühllast	$\dot{Q}_T =$	0 W
<hr/>		
Gesamtkühllast	$\dot{Q}_K =$	2.778 W

$$\text{Spezifische Kühllast} \quad q_K = \frac{2.778 \text{ W}}{43,3 \text{ m}^2} = 64,2 \text{ W/m}^2$$

Nordseite:

$$\dot{Q}_S = 1.317 \text{ W} \cdot \frac{59 \text{ W/m}^2}{563 \text{ W/m}^2} = 138 \text{ W}$$

Die Gesamtkühllasten der Räume auf der Südseite verändern sich dadurch wie folgt:

Innere Kühllast	$\dot{Q}_{Ki} =$	1.312 W
Solare Kühllast	$\dot{Q}_S =$	138 W
Transmissions-Kühllast	$\dot{Q}_T =$	0 W
<hr/>		
Gesamtkühllast	$\dot{Q}_K =$	1.450 W

$$\text{Spezifische Kühllast} \quad q_K = \frac{1.450 \text{ W}}{43,3 \text{ m}^2} = 33,5 \text{ W/m}^2$$

Die Auswirkungen auf die Gesamtkühllasten zeigen sich wie folgt:

	Raum	Raum- fläche m ²	Anz. d. Räu- me	Raum- fläche gesamt	spezif. Zuluft- volumen- strom m ³ /(hm ²)	Zuluft- volumen- strom gesamt m ³ /h	spezif. Gesamt- Kühllast W/m ²	Gesamt- Kühllast gesamt W
1	1-Bett-Zimmer einschl. Vorraum und WC Raum Südseite	43,3	0	0,0	30,0	0,0	64,2	0,0
1	1-Bett-Zimmer einschl. Vorraum und WC Raum Nordseite	43,3	4	173,2	30,0	5.197,2	33,5	5.803,5
2	2-Bett-zimmer einschl. WC-Raum Südseite	53,2	5	266,1	30,0	7.981,5	64,2	17.080,4
2	2-Bett-zimmer einschl. WC-Raum Nordseite	53,2	1	53,2	30,0	1.596,3	33,5	1.782,5
3	Behandlungsraum	58,2	1	58,2	30,0	1.744,8	23,3	1.355,1
4	Arbeitsraum - rein	53,9	1	53,9	15,0	809,0	23,3	1.256,6
5	Stützpunkt	15,9	1	15,9	15,0	237,9	23,3	369,5
6	Stationsküche	24,4	1	24,4	15,0	366,0	23,3	568,5
7	Abschiedsraum	37,0	1	37,0	15,0	555,2	12,0	444,1
8	Personalumkleideraum	35,1	1	35,1	15,0	525,9	12,0	420,7
9	Personal-WC	7,8	2	15,5	15,0	232,8	12,0	186,2
10	Personalaufenthaltsraum	48,3	1	48,3	15,0	723,9	23,3	1.124,5
11	Besuchergarderobe	7,8	1	7,8	15,0	116,4	12,0	93,1
12	Besucherraum	32,8	1	32,8	15,0	491,7	23,3	763,8
13	Arztzimmer	48,3	1	48,3	15,0	723,9	23,3	1.124,5
14	Patientenübergabe	10,4	1	10,4	15,0	156,5	12,0	125,2
15	Lager 1	46,4	1	46,4	15,0	695,7	12,0	556,6
16	Lager 2	26,4	1	26,4	15,0	395,9	12,0	316,7
17	Versorgungsraum	10,5	1	10,5	15,0	156,9	12,0	125,5
18	Entsorgungsraum	28,5	1	28,5	15,0	426,9	12,0	341,5
19	Technik	58,2	1	58,2	0,0	0,0	0,0	0,0
19	Technik	154,2	1	154,2	15,0	2.313,6	12,0	1.850,9
	Summe			1.204,0		25.447,8		35.689,5

Tabelle 3.3.6/1: Gesamtlasten, Flächen und Volumenströme der Intensivstation bei Nord-Süd-Orientierung

Gegenüber einer Ost-West-Orientierung reduzieren sich die Kühllasten bei Nord-Süd-Orientierung auf 35.689,5 W, entsprechend 85,7 %. Weiter ist zu berücksichtigen, dass sich die durchschnittliche monatliche spezifische Gesamtstrahlung gemäß VDI 2078 (07/1996), Tabellen B2 und B3 verändert.

Monat	Südseite			Nordseite		
	Fensterfläche	durchschnittliche monatliche spezifische Gesamtstrahlung	durchschnittliche monatliche äußere Kühllast	Fensterfläche	durchschnittl. monatliche spezifische Gesamtstrahlung	durchschnittliche monatliche äußere Kühllast
	m ²	W/(m ² · Mo)	kW/Mo	m ²	W/(m ² · Mo)	kW/Mo
Januar	11,7	393	4,60	11,7	27	0,32
Februar	11,7	353	4,13	11,7	35	0,41
März	11,7	320	3,74	11,7	44	0,51
April	11,7	246	2,88	11,7	61	0,71
Mai	11,7	180	2,11	11,7	75	0,88
Juni	11,7	76	0,89	11,7	42	0,49
Juli	11,7	165	1,93	11,7	76	0,89
August	11,7	236	2,76	11,7	62	0,73
September	11,7	276	3,23	11,7	46	0,54
Oktober	11,7	355	4,15	11,7	34	0,40
November	11,7	371	4,34	11,7	28	0,33
Dezember	11,7	51	0,60	11,7	27	0,32

Tabelle 3.3.6/2: durchschnittliche monatliche äußere Kühllasten der Intensivstation Nord-Süd-Orientierung

Beim Energieverbrauch ergibt sich nach den unter 3.3.4 verwendeten Verfahren folgendes Bild:

	Energieverbrauch		Primärenergie-Faktor	Primärenergieverbrauch		Energiekosten		
	absolut kWh/a	relativ %		absolut kWh/a	relativ %	spezifisch €/kWh	absolut €/a	relativ %
Thermische Energie für Luftaufbereitung	857.812	75,2	1,10	943.593	53,0	0,0227	19.472	30,6
Elektrische Energie für Luftförderung	183.864	16,1	3,00	551.592	31,0	0,1591	29.253	46,0
Elektrische Energie für Beleuchtung	38.626	3,4	3,00	115.878	6,5	0,1591	6.145	9,7
Elektrische Energie für Geräte	54.360	4,8	3,00	163.080	9,2	0,1591	8.649	13,6
Thermische Energie für Warmwasser	5.974	0,5	1,10	6.571	0,4	0,0227	136	0,2
Summe	1.140.636	100,0		1.780.715	100,0		63.655	100,0

Tabelle 3.3.6/3: Energieverbrauch, Primärenergieverbrauch, Energiekosten Intensivstation bei Nord-Süd-Orientierung

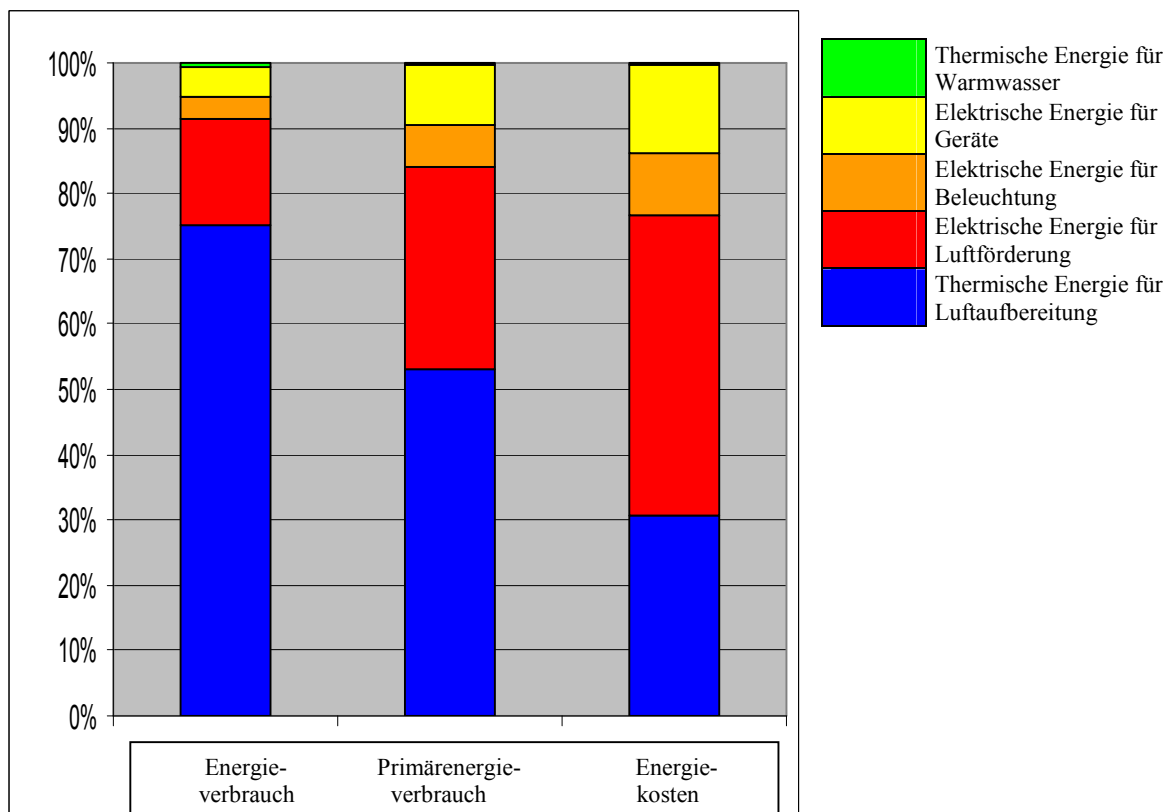


Abbildung 3.3.6/1: Säulendiagramm Energieverbrauch, Primärenergieverbrauch, Energiekosten der Intensivstation bei Nord-Süd-Orientierung

Die Situation verändert sich nur noch geringfügig, wenn die Orientierung vollständig nach Norden ausgerichtet wird. Der Energieverbrauch für die thermische Aufbereitung der Zuluft reduziert sich dann auf 852.315 kWh/a. Dieser Fall wird daher nicht weiter verfolgt.

3.3.7 Auswertung

Intensivstationen sind hochtechnisierte Einrichtungen in Krankenhäusern. Diese Abteilungen können nur mit einem sehr spezifischen und detaillierten architektonischen Konzept funktionieren, das exakt auf die Bedürfnisse der Patienten, der ärztlichen und pflegerischen Kräfte und auf den geplanten Arbeitsablauf abgestimmt sein muss. Unabdingbare Voraussetzung ist eine umfangreiche, sehr spezielle gebäudetechnischen Ausrüstung, die bereits in einer sehr frühen Planungsphase integriert, auf den baulichen Entwurf abgestimmt und koordiniert werden muss.

Ein wesentliches bestimmendes Kriterium in diesem Zusammenhang ist die Frage der Notwendigkeit einer RLT-Anlage. Diese Anlage entscheidet wesentlich über den zukünftigen Energieverbrauch. Sie verursacht in jedem Fall einen erheblichen Energieverbrauch, der maßgeblich auf die extrem hohen Betriebszeiten zurück zu führen ist. Im Unterschied zu OP-Abteilungen gibt es hier praktisch

keine betriebsfreien oder –reduzierten Zeiten, sodass die Anlage immer mit 100 % Leistung gefahren werden muss. Intensivstationen, die mit RLT-Anlagen ausgerüstet sind, sind immer hochenergetische Abteilungen.

Der Einfluss der Kühllasten ist zwar nicht unerheblich, jedoch geringer als zunächst zu vermuten war. Der Grund hierfür liegt in der hohen Raumtemperatur und –enthalpie. Der Kühlbedarf wird dadurch relativ gering. Aufgrund der langen Betriebszeiten entsteht jedoch ein großer Energieverbrauch für die thermische Luftaufbereitung, da die Anlage mit 100 % Außenluft gefahren wird und der Außenluftzustand nur in sehr kurzen Zeiten über dem Zuluftzustand liegt, sodass nur wenig Kühlenergie benötigt wird. Gleichwohl sind die gebäudetechnischen Anlagen für den Kühlfall vorzusehen, um die Zuluft so konditionieren zu können, dass der geforderte Raumzustand jederzeit gehalten wird. Die Bedürfnisse der Patienten und Mitarbeiter haben hier Vorrang vor den energetischen Betrachtungen.

Der Entwurf des Architekten muss in Verbindung mit der gebäudetechnischen Ausrüstung diesem Umstand Rechnung tragen und versuchen, den Energieverbrauch so weit wie möglich zu reduzieren. Wesentliche Kriterien sind dabei:

- Nord-Süd-Ausrichtung der außenwandberührten Fassaden bzw. nur nach Norden. Die maximale Kühllast auf der Südseite wird dadurch zwar größer als bei einer Ost-West-Ausrichtung. Der Energieverbrauch wird über die Betriebszeit der Anlage jedoch geringer, da die Maximallasten nur kurze Zeit anstehen und auf der Nordseite nahezu keine Kühllasten entstehen.
- Äußerer Sonnenschutz. Der Anteil der Direktstrahlung wird damit reduziert.
- Verwendung von Sonnenschutzgläsern. Auf den Fassadenseiten, die direkte Sonneneinstrahlung haben, wird dadurch sowohl die Direkt- als auch die Diffusstrahlung und damit die äußere Kühllast reduziert. Dies gilt insbesondere für die nach Westen oder Osten orientierten Räume, da hier der Anteil der horizontalen Direktstrahlung hoch ist.
- Speichermassen. Sie sollten so weit wie möglich aktiviert werden. Damit werden die Auswirkungen der solaren Einträge und die Temperaturspitzen in den Räumen gemindert, sodass die RLT-Anlage geringere Kühllasten abführen muss.
- Ausreichend Platz für die gebäudetechnischen Installationen. Hier gelten die gleichen Grundsätze wie in der OP-Abteilung (vgl. 3.2.2.3), also
 - genügend Platz in den abgehängten Decken (Abhängehöhe $\geq 1,25$ m)
 - kurze Wege zwischen RLT-Zentrale und Versorgungsbereich
 - ausreichend bemessene Flächen und Höhen in den RLT-Zentralen.

Die RLT-Anlagen können dann mit geringen Luftgeschwindigkeiten und somit mit geringen Widerständen ausgelegt werden, wodurch der Verbrauch an elektrischer Energie für die Luftförderung minimiert wird.

Ungünstigster Fall ist eine Ost-West-Orientierung bei gleichzeitig ungünstigen Installationsverhältnissen (siehe 3.3.5). Der günstigste Fall ist eine Nord-Süd-

Orientierung bei günstigen Installationsverhältnissen (siehe 3.3.6). Daraus ergibt sich das beeinflussbare Potenzial:

- beim Energieverbrauch absolut

$$\Delta Q = 1.385.606 \text{ kWh/a} - 1.140636 \text{ kWh/a}$$

$$\underline{\Delta Q = 244.970 \text{ kWh/a}}$$

- beim Primärenergieverbrauch absolut

$$\Delta Q_P = 2.413.864 \text{ kWh/a} - 1.780.715 \text{ kWh/a}$$

$$\underline{\Delta Q_P = 633.149 \text{ kWh/a}}$$

- bei den Energiekosten

$$\Delta K = 95.324 \text{ €/a} - 63.655 \text{ €/a}$$

$$\underline{\Delta K = 31.669 \text{ €/a}}$$

Der Architekt hat damit nicht unerhebliche Möglichkeiten, den Energieverbrauch und die damit die Energiekosten der Intensivstation zu beeinflussen. Bezogen auf den Ausgangswert von 95.324 €/a beträgt das Potenzial ca. 33,2 %. Ansatzpunkt sind die äußeren Lasten und die gebäudetechnischen Anlagen. Die inneren Lasten (Energieverbrauch für Geräte, Beleuchtung, Personen, Warmwasser) sind vom Architekten praktisch nicht beeinflussbar, da sie ausschließlich mit dem medizinischen Betrieb zusammen hängen. Der Planer und Errichter der gebäudetechnischen Anlagen hat ebenso Möglichkeiten zur Reuzierung des Energieverbrauches durch Einsatz von hocheffizienten Systemen zur Wärme- und Kälterückgewinnung.

Flächenbezogene Energieaufwandszahlen

Um auch hier eine Vergleichbarkeit und Übertragbarkeit auf andere Entwurfs-situationen zu erreichen, werden auch für die Intensivstation die flächenbezogenen Energieaufwandszahlen für die drei untersuchten Fälle bestimmt.

Fall A: Intensivstation bei Nord-Süd- bzw. Nordorientierung, (s. 3.3.6)

Primärenergieverbrauch: $Q_{PrA} = 1.780.715 \text{ kWh/a}$ (s. Tab. 3.3.6/3)

Fläche der Intensivstation: $A_R = 1.204,0 \text{ m}^2$ (s. Tab. 3.3.6/1)

$$E_{AA} = \frac{Q_{PrA}}{A_R} = \frac{1.780.715 \text{ kWh/a}}{1.204,0 \text{ m}^2}$$

$$\underline{E_{AA} = 1.479 \text{ kW/h/(m}^2\text{a)}}$$

Fall B: Intensivstation bei Ost-West-Orientierung, (s. 3.3.4)

Primärenergieverbrauch: $Q_{PrB} = 1.839.628 \text{ W}$ (s. Tab3.3.4/2)

OP-Saal-Fläche : $A_R = 1.204,0 \text{ m}^2$

$$E_{AB} = \frac{Q_{PrB}}{A_R} = \frac{2.413.864 \text{ kWh/a}}{1.204,0 \text{ m}^2}$$

$$\underline{E_{AB} = 1.528 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})}$$

Fall C: Intensivstation bei Ost-West-Orientierung und ungünstigen Installationsverhältnisse (s. 3.3.5)

Primärenergieverbrauch: $Q_{PrC} = 2.413.864 \text{ W}$ (s. Tab3.3.5/1)

OP-Saal-Fläche : $A_R = 1.204,0 \text{ m}^2$

$$E_{AC} = \frac{Q_{PrC}}{A_R} = \frac{2.413.864 \text{ kWh/a}}{1.204,0 \text{ m}^2}$$

$$\underline{E_{AC} = 2.005 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})}$$

Der Primärenergieverbrauch liegt im Fall C um ca. 36 % höher als im Fall A und gilt für eine Intensivstation. Häufig haben Krankenhäuser jedoch mehrere Intensivstationen, sodass das absolute Potenzial noch erheblich höher liegen kann. Unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten ist zu berücksichtigen, dass dieses Einsparpotenzial für die gesamte Lebensdauer der Intensivstation festgeschrieben wird und nachträgliche Korrekturen praktisch ausgeschlossen sind. Die dynamische Betrachtung mit der Kapitalwertmethode gibt Aufschluss, ob Investitionen in Einsparmaßnahmen bei der Errichtung der Intensivstation sinnvoll sind (vgl. 3.2.4).

$\Delta K = \text{Energiekostendifferenz} = 31.669 \text{ €/a}$ (s. 3.3.7)

Nach Gleichung (39) ergibt sich damit ein Kapitalwert von

$$\underline{C_O = 446.341 \text{ €}}$$

Dies ist ein erheblicher Betrag, der für bauliche und gebäudetechnische Maßnahmen zur Energieeinsparung verwendet werden kann.

3.4 Röntgendiagnostik

3.4.1 Funktionen, Ausstattung, Allgemeines

Die Abteilungen für Röntgendiagnostik – kurz Röntgendiagnostik – erfüllen in den Krankenhäusern wichtige diagnostische Aufgaben. Sie unterscheiden sich zwischen den Krankenhäusern erheblich. Die Organisations- und Betriebsstrukturen hängen sehr stark von den individuellen Bedürfnissen und vor allem von den Möglichkeiten der Krankenhäuser und deren Standorte ab.

Daher ist zunächst eine Abgrenzung über die hier zu betrachtenden Bereiche notwendig, insbesondere zur Unterscheidung von der Radiologie. Allgemein ist die Radiologie definiert als „Wissenschaft und Lehre der medizinischen Nutzbarmachung bestimmter Strahlungsarten in Diagnostik und Therapie; verschiedene Teilgebiete: Röntgendiagnostik, Strahlentherapie, Nuklearmedizin; im weiteren Sinn auch Anwendung anderer bildgebender Verfahren wie Ultraschalldiagnostik, Kernspintomographie.“⁵⁰. Fast alle Teilgebiete verwenden Strahlen. Die Röntgendiagnostik beschränkt sich jedoch auf diagnostische Aufgaben. Hierzu zählen neben den konventionellen Röntgenaufnahmen die Mammografie, die Durchleuchtung und Ultraschalluntersuchungen. In radiologischen Abteilungen sind in der Regel auch therapeutische Funktionen zu erfüllen.

Hier hat in den vergangenen Jahrzehnten ein enormer Wandel stattgefunden, der maßgeblich von der Entwicklung der Medizintechnik beeinflusst wurde und wird. Röntgenstrahlen (unter Missachtung seines Testamentes benannt nach Conrad Wilhelm Röntgen) werden in der Medizin bereits seit mehr als 100 Jahren eingesetzt und haben die Diagnostik entscheidend geprägt. Parallel dazu wurden und werden Strahlen auch zur Therapie, z. B. bei bestimmten Krebserkrankungen eingesetzt. Mit der Entwicklung von neuen bildgebenden Geräten, insbesondere dem Computertomographen (CT) und dem Magnetresonanztomographen (MRT) wurde jedoch der Rahmen der üblichen Röntgenabteilungen erheblich erweitert. Der apparative, räumliche und organisatorische Aufwand für diese Geräte ist allerdings so groß, dass sie zum Teil nicht in den röntgendiagnostischen Abteilungen untergebracht werden können und daher oft als selbstständige Organisationseinheiten geführt werden.

⁵⁰ Pschyrembel, Klinisches Wörterbuch, 258. Auflage, 1998

Darüber hinaus ist die konventionelle Röntgendiagnostik heute so weit in den normalen Krankenhausbetrieb integriert, dass die Röntgengeräte z. T. dezentral in den Abteilungen untergebracht sind. Deshalb finden sich sehr unterschiedliche Organisationen für die Funktionen der Röntgendiagnostik und Radiologie:

- Die Aufgaben der Röntgendiagnostik, der CT- und MRT-Diagnostik, der Strahlen- und Nuklearmedizin sowie weiterer Therapieformen finden sich in einer Betriebsstelle.

Beispiel: Klinikum Ibbenbüren (keine Strahlentherapie)⁵¹.

- Die Aufgaben der Röntgendiagnostik, der CT- und MRT-Diagnostik werden in einer Betriebsstelle durchgeführt. Die Strahlen- und Nuklearmedizin sind davon getrennt. Sofern möglich bzw. notwendig, finden sich hierfür eigene Einheiten.

Beispiel: Elisabeth-Krankenhaus Leipzig⁵².

- Das Krankenhaus betreibt selbst eine röntgendiagnostische Abteilung. Die sehr teure und aufwändige MRT-Einrichtung ist jedoch wirtschaftlich und organisatorisch an niedergelassene Ärzte ausgegliedert, baulich aber in das Krankenhaus integriert. Die MRT-Untersuchungen der Patienten des Krankenhauses und von niedergelassenen Ärzten, die dorthin überweisen, werden hier durchgeführt.

Beispiel: Franziskus-Hospital, Münster

- Die Röntgendiagnostik, die CT und die MRT-Diagnostik gehören wirtschaftlich nicht zum Krankenhaus, sind baulich und organisatorisch jedoch darin integriert. Die Einrichtung wird von externen Radiologen geführt und steht auch Patienten, die von niedergelassenen Ärzten und anderen Krankenhäusern überwiesen werden, zur Verfügung.

Beispiel: Maria-Josef-Hospital, Greven⁵³.

Radiologische Abteilungen oder Kliniken, in denen das gesamte Spektrum der radiologischen Leistungen unter einem Dach angeboten wird, finden sich praktisch gar nicht, ggf. in sehr großen Krankenhäusern der Maximalversorgung (Universitätskliniken).

Zum Leistungsspektrum, das in radiologischen Abteilungen angeboten werden kann, gehören:

Röntgendiagnostische Leistungen:

- Konventionelle und digitale Röntgendiagnostik
- Digitale Durchleuchtungsdiagnostik
- Computertomographie (CT – Schichtaufnahmen mit Röntgenstrahlen)
- Magnetresonanztomographie (MRT – Darstellung durch Nutzbarmachung starker Magnetfelder)
- Mammographie

⁵¹ <http://www.klinikum-ibbenbueren.de>

⁵² <http://www.ek-leipzig.de/medeinr/radiologie-ek-leipzig.html>

⁵³ <http://www.greven.net/sozialgesund/gesundheit/mjh.html>

- Ultraschall und Doppler-Ultraschall

Therapeutische Leistungen

- Angiographie (röntgenologische Darstellung der Blutgefäße nach Injektion eines Kontrastmittels)
- Perkutane Punktionen (Punktionen durch die Haut)
- CT-gesteuerte Schmerzbehandlung
- Vertebroplastie (Zementinfiltration von porösen Wirbelkörpern)

Nuklearmedizinische Diagnostik und Therapie

- Szintigraphie (bildgebendes Verfahren unter Verwendung kurzlebiger Radionuklide)
- Radiojodtherapie
- Radiosynoviorthese (Therapie der entzündeten Innenschicht der Gelenkkapseln mit Radioinukliden)

Diese Aufzählung bildet nur einen Teil der möglichen Leistungen in Radiologischen Abteilungen, die Leistungspalette ist also sehr groß. Für viele dieser Leistungen sind spezielle Geräte erforderlich, die in der Regel sehr aufwändig sind und daher nicht immer vorgehalten werden können. Deshalb ist es kaum möglich, einheitliche Betriebs- und Organisationsstrukturen zu definieren, die auf viele röntgendiagnostische oder radiologische Abteilungen anwendbar ist.

Trotzdem benötigen die Krankenhäuser nach wie vor insbesondere röntgendiagnostische Leistungen, die baulich und räumlich dann in den entsprechenden Betriebsstellen untergebracht werden müssen, wofür die notwendigen Geräte vorzuhalten sind. Dabei handelt es sich in erster Linie um konventionelle Röntgengeräte. Daneben steht praktisch immer ein CT zur Verfügung. Magnetresonanztomographen finden immer stärkere Verbreitung und sind in sehr vielen Häusern bereits vorhanden, obwohl der räumliche, organisatorische und betriebliche Aufwand hierfür sehr hoch ist.



Abbildung 3.4.1/1: konventionelles Röntgengerät⁵⁴



Abbildung 3.4.1/2: Computertomograph⁵⁵

⁵⁴ www.med.uni-heidelberg.de/zentr/strlsch/Bilder/Roentgengeract.jpg

⁵⁵ www.rnk-berlin.de/.../bilder/1ct.jpg



Abbildung 3.4.1/3: Magnetresonanztomograph⁵⁶

Zur Gliederung und Organisation sowie zum Raumbedarf sind in der RKI-Richtlinie Hinweise enthalten⁵⁷. Richtschnur ist dabei die Vermeidung von Infektionen und Aufrechterhaltung des notwendigen hygienischen Niveaus.

Zum Raumbedarf kann zunächst die RKI-Richtlinie heran gezogen werden. Danach sind:

- Getrennte Wartezonen für stationäre und ambulante Patienten
- Patiententoiletten in der Wartezone und neben den Untersuchungsräumen
- Vorbereitungs- und Untersuchungsräume
- Ggf. spezielle Untersuchungsräume für die invasive Diagnostik (Angiographie/Arthrographie)
- Räume für die Ver- und Entsorgung zu berücksichtigen⁵⁸.

Darüber hinaus ergibt sich aus dem Betrieb die Notwendigkeit für weitere Räume, insbesondere:

- Räume zur Befundung
- Räume zur Röntgendemonstration
- Arzträume
- Personalaufenthaltsräume
- Personaltoiletten
- Patienten Anmeldung
- Technikräume

⁵⁶ www.techfak.uni-bielefeld.de/.../MRT_picture.jpg

⁵⁷ RKI-Richtlinie für Krankenhaushygiene und Infektionsprävention, Abschnitt 4.3.6

⁵⁸ RKI-Richtlinie für Krankenhaushygiene und Infektionsprävention, Abschnitt 4.3.6, Nr. 4

Auch in der Röntgendiagnostik spielt die technische Gebäudeausrüstung eine wichtige Rolle für die Funktion der Abteilung:

RLT-Anlage:

Unter hygienischen Aspekten ist auch hier die RLT-Anlage von großer Bedeutung, da mit ihr die verschiedenen Räume bzw. Raumgruppen durch die Einrichtung von Druckstufen getrennt werden können. Die RKI-Richtlinie fordert nicht zwingend eine RLT-Anlage in der Röntgendiagnostik. Falls sie jedoch notwendig ist, ist sie nach DIN 1946/4 (03/1999) zu planen und auszulegen. Die Notwendigkeit für eine RLT-Anlage kann sich aus drei Gründen ergeben:

- Es sind hygienische Aspekte zu berücksichtigen.
- Es gibt klimaphysiologische Gründe.
- Der Strahlenschutz ist zu berücksichtigen.

Nach DIN 1946/4 (03/1999), Tab. 2, Nr. 1.5.3.1 sind die Räume der Röntgendiagnostik in Raumklasse II (übliche Anforderungen an die Keimarmut) einzuordnen. Die RLT-Anlage ist hier weder aus klimaphysiologischen Gründen noch zur Infektionsprophylaxe unentbehrlich. Falls jedoch eine RLT-Anlage notwendig ist, ist ein hygienischer Mindest-Außenluft-Volumenstrom von $15 \text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$ einzuhalten.

Beleuchtung:

Nach DIN 5035/3 (09/1988), Nr. 3.2.2 werden keine speziellen Anforderungen für die Beleuchtung gestellt. Die Höhe der Allgemeinbeleuchtung soll sich nach den Untersuchungsverfahren richten. Bei Arbeiten mit Monitor soll die Allgemeinbeleuchtung auf 10 bis 30 lx herab gesetzt werden können. Daher sind dann Dimmerschaltungen notwendig.

Medizinische Gasversorgung:

Z. T. werden Anschlussstellen für O_2 , N_2 , Druckluft und Narkosegas in den Vorbereitungsräumen benötigt.

Elektroversorgung:

Die Elektroversorgung muss in erster Linie die Betriebssicherheit der Untersuchungsgeräte sicherstellen. Die CT- und MRT-Geräte können nicht vollständig abgeschaltet werden. Viele Geräte haben umfangreiche und leistungsstarke digitale Datenverarbeitungsanlagen, die erhebliche Anschluss- und Abwärmeleistungen haben. Das Elektronetz in Röntgenabteilungen muss daher neben einer Allgmeinstrom- auch eine Ersatzstromversorgung und z. T. eine unterbrechungsfreie Stromversorgung (USV) haben.

Weitere gebäudetechnische Anlagen können notwendig sein. Wegen der z. T. sehr hohen Einzelgewichte der medizintechnischen Geräte, die auf sehr kleinen Flächen wirken, stellt die Statik sehr hohe Anforderungen an die Baukonstruktion. Medizintechnische Großgeräte haben Gewichte von mehreren Tonnen. Daher werden hohe Nutzlasten gefordert, die von den tragenden Bauteilen bis in die

Gründung abzutragen sind. Die baukonstruktive Ausbildung der Räume richtet sich im Wesentlichen nach den hygienischen und betrieblichen Anforderungen.

3.4.2 Laststruktur

Zur Bestimmung der Laststruktur in der Röntgenabteilung muss zunächst ermittelt werden, welche Räume für eine natürliche Belüftung in Frage kommen. Das hygienische Niveau ist deutlich niedriger als z. B. in Intensivstationen. Darüber hinaus benötigen nicht alle Räume natürliches Licht. Für einige Räume ist dies nicht empfehlenswert. Räume, die natürliches Licht und keine künstliche Belüftung benötigen, sollten deshalb an der Außenfassade angeordnet werden. Räume, die hohe innere Lasten haben, sollten innen liegend sein, um zusätzliche äußere Lasten abzuhalten.

Weiter sind von Bedeutung:

- Hygienischer Mindest-Außenluftstrom nach DIN 1946/4 (03/1999), Tab. 2 für Räume der Röntgendiagnostik, sofern künstlich belüftet 15 m³/(h·m²)
- Nennbeleuchtungsstärke nach DIN 5035/3 (09/1988), Nr. 3.2 für Untersuchungs- und Behandlungsräume bis 500 lx
- Nennbeleuchtungsstärke nach DIN EN 12464 (01/2002), Nr. 7.7.1 für Allgemeinbeleuchtung 300 lx

Weitere thermische Lasten entstehen auch hier durch Personen, Geräte in besonderem Maße und solare Gewinne durch transparente Außenflächen. In der Röntgenabteilung werden viele Geräte mit leistungsstarken DV-Anlagen und hohen Abwärmeleistungen eingesetzt. So weit wie möglich sollten diese Anlagen in eigenen Räumen zusammengefasst und nicht in den Daueraufenthalts-, Untersuchungs- oder Vorbereitungsräumen angeordnet werden. Dies gilt insbesondere dann, wenn diese Räume künstlich belüftet werden. Dadurch können die Luftmengen niedrig gehalten werden und das Raumklima wird nicht zusätzlich belastet.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass in Röntgenabteilungen sehr heterogene Laststrukturen herrschen. Die thermischen Lasten können, in Abhängigkeit von der Lage der Räume, stark schwanken. In jedem Fall treten auch hier wieder Lasten auf durch:

- Beleuchtung
- Geräte
- Personen
- Solare Lasten

In Abhängigkeit von der Anordnung der Räume wird nachfolgend eine qualitative Bewertung vorgenommen:

Nr.	Raumbezeichnung	Natürlich belichtet	Natürlich belüftet	Last durch Beleuchtung	Geräte	Personen	Solare Einträge
1. Allgemein/konventionelle Röntgendiagnostik							
1.1	Wartezone stationäre Patienten	nein	nein	gering	keine	durchschnittlich	Keine
1.2	Wartezone ambulante Patienten	nein	nein	gering	keine	durchschnittlich	Keine
1.3	Patiententoiletten	nein	nein	gering	keine	gering	Keine
1.4	Vorbereitungsräume	ja	ja	durchschnittlich	gering	gering	durchschnittlich
1.5	Untersuchungsräume	nein	nein	gering	durchschnittlich	gering	durchschnittlich
1.6	Untersuchungsräume	ja	ja	gering	durchschnittlich	gering	durchschnittlich
1.7	Untersuchungsräume z. B. Angiographie	nein	nein	gering	durchschnittlich	gering	Keine
1.8	Flure	nein	nein	gering	gering	gering	keine
1.9	Versorgung	nein	nein	gering	keine	gering	keine
1.10	Entsorgung	nein	nein	gering	keine	gering	keine
1.11	Befundung	ja	ja	gering	gering	gering	durchschnittlich
1.12	Röntgendemonstration	Ja oder nein	ja	gering	durchschnittlich	durchschnittlich	durchschnittlich
1.13	Arzträume	ja	ja	gering	gering	gering	durchschnittlich
1.14	Personalaufenthalt	ja	ja	gering	gering	durchschnittlich	durchschnittlich
1.15	Personaltoiletten	nein	nein	gering	keine	gering	Keine
1.16	Patientenanmeldung	ja	ja	durchschnittlich	durchschnittlich	durchschnittlich	durchschnittlich
1.17	Technikraum	nein	nein	gering	Sehr hoch	gering	keine
2. CT-Bereich							
2.1	Untersuchungsraum	nein	nein	hoch	hoch	gering	Keine
2.2	Schaltraum/Auswertung	nein	nein	durchschnittlich	hoch	gering	Keine
2.3	Technikraum	nein	nein	gering	Sehr hoch	gering	Keine
2. MRT-Bereich							
2.1	Untersuchungsraum	nein	nein	hoch	hoch	gering	keine
2.2	Schaltraum/Auswertung	nein	nein	durchschnittlich	hoch	gering	keine
2.3	Technikraum	nein	nein	gering	Sehr hoch	gering	keine

Tabelle 3.3.2: Qualitative Bewertung der Lasten in der Röntgenabteilung

Der CT- und der MRT-Bereich ähneln sich in ihrer räumlichen Struktur. Sowohl in der konventionellen Röntgendiagnostik wie auch in der CT- und MRT-Diagnostik werden Technikräume für die Schalt- und Steueranlagen benötigt, die thermisch extrem hoch belastet sind.

3.4.3 Referenz-Röntgendiagnostik

Auf der Grundlage des so ermittelten Raumbedarfs wird zunächst eine Referenz-Röntgenabteilung mit zugehörigem CT- und MRT-Bereich als Modell zur Analyse der energetischen Strukturen bestimmt (vgl. 3.2.3.2). Grundlage sind die Daten von 14 ausgewählten Krankenhäusern der Allgemeinversorgung (siehe Tab. 4.2/2). Es wird zunächst eine Ost-West-Orientierung der Fassaden zu Grunde gelegt.

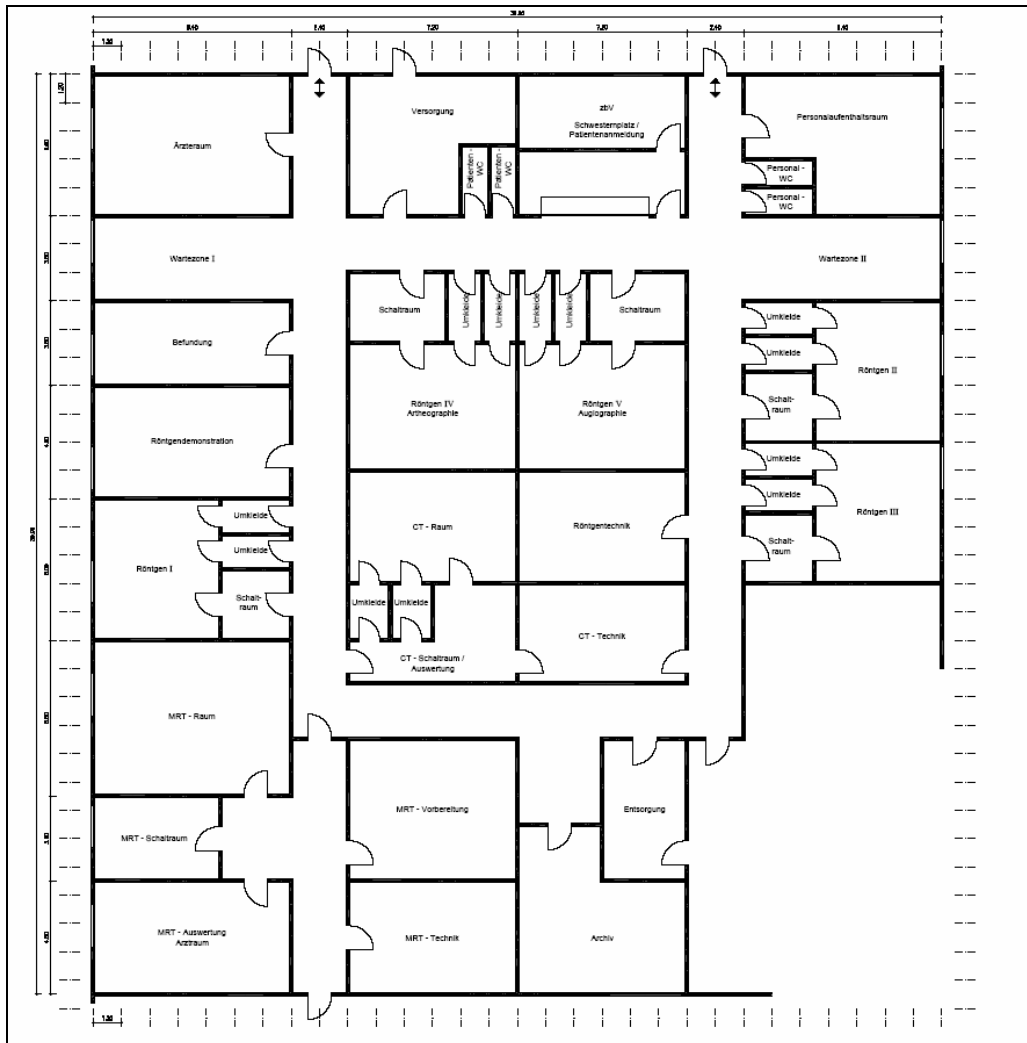


Abbildung 3.4.3/1: Referenz-Röntgenabteilung

Kritischer Lastfall ist auch hier wieder der Kühlfall. Daher sind nachfolgend die inneren und externen Kühllasten zu bestimmen, wobei nur die künstlich zu belüftenden Räume betrachtet werden, da die Kühllasten in den anderen Räumen nicht abgeführt werden. Dabei werden soweit wie möglich die in 3.2.3 ff ermittelten spezifischen Kühllasten angesetzt.

Versorgungsraum, Entsorgungsraum, Archiv, WC-Räume, Flure

Es handelt sich um thermisch sehr gering belastete Räume

$$\dot{Q}_{K,max} = 12,0 \text{ W/m}^2 \text{ (vgl. Tabelle 3.2.3.1/3)}$$

Patientenanmeldung, Vorbereitung

Der Bereich ist thermisch aufgrund der Beleuchtung und der Geräte, vor allem Computer relativ hoch belastet.

$$\dot{Q}_{K,max} = 23,3 \text{ W/m}^2 \text{ (vgl. Tabelle 3.2.3.1/1)}$$

Röntgenräume für Arthrographie/Angiographie, CT-Raum, CT-Schaltraum, MRT-Raum, MRT-Schaltraum

Die Räume sind wegen der Geräte thermisch sehr hoch belastet.

$$\dot{Q}_{K,max} = 30,3 \text{ W/m}^2 \text{ (vgl. Tabelle 3.2.3.1/2)}$$

Die den innen liegenden Röntgenräumen zugeordneten Schalträume haben zusätzliche hohe thermische Einzellasten, die von den dort vorhandenen Entwicklungs- und Schaltgeräten verursacht wird. Deshalb wird die relativ wenig belastete Zuluft für die innen liegenden Röntgenräume häufig zu einem großen Teil als Abluft über die Schalträume geführt, sodass die Zuluftmengen sich hier auf den hygienischen Mindest-Außenluft-Volumenstrom beschränken können.

MRT-Technikraum, CT-Technikraum, Röntgentechnikraum

Diese Räume haben extrem hohe innere Lasten, da hier die Schalt- und Steueranlagen für die zugehörigen Untersuchungsgeräte zusammen gefasst sind. Hier wird nur ein sehr geringer Außenluftanteil benötigt, der noch unter dem hygienischen Mindest-Außenluft-Volumenstrom liegen kann, da hier keine Patienten behandelt werden.

Sowohl im MRT- als auch im CT-Technikraum treten die Lasten permanent auf, da die Geräte nicht abgeschaltet werden können. Die Röntgengeräte werden in betriebsfreien Zeiten abgeschaltet, sodass dann auch keine Lasten in dem zugehörigen Technikraum auftreten. Die RLT-Anlage kann hier dann abgeschaltet werden.

Für diese Räume werden folgende Lasten angesetzt:

Röntgentechnikraum

$$\dot{Q}_{Ki} = 7.500 \text{ W}$$

$$\text{Spezifische Kühllast } q_K = \frac{7.500 \text{ W}}{32,9 \text{ m}^2} = 227,9 \text{ W/m}^2$$

CT-Technikraum

$$\dot{Q}_{Ki} = 5.000 \text{ W}$$

$$\text{Spezifische Kühllast } q_K = \frac{5.000 \text{ W}}{32,9 \text{ m}^2} = 151,9 \text{ W/m}^2$$

MRT-Technikraum

$$\dot{Q}_{Ki} = 10.000 \text{ W}$$

$$\text{Spezifische Kühllast } q_K = \frac{10.000 \text{ W}}{32,9 \text{ m}^2} = 303,9 \text{ W/m}^2$$

Damit können die Flächen, Zuluftvolumenströme und inneren Kühllasten bestimmt werden:

Nr.	Raum	Raumfläche m ²	Anz. der Räume	Raumfläche gesamt	spezif. Zuluftvolumenstrom m ³ /(h·m ²)	Zuluftvolumenstrom gesamt m ³ /h	spezif. innere Kühllast W/m ²	innere Kühllast Gesamt W
1	Röntgenraum Arthro-/Angioskopie	58,2	2	116,3	15,0	1.744,8	30,3	3.524,5
2	Patientenanmeldung	41,2	1	41,2	15,0	618,0	23,3	960,0
3	Versorgungsraum	34,4	1	34,4	15,0	516,0	12,0	412,8
4	Patienten-WC	3,0	2	6,0	15,0	90,0	12,0	72,0
5	Personal-WC	3,0	2	6,0	15,0	90,0	12,0	72,0
6	CT-Raum	40,2	1	40,2	15,0	603,0	30,3	1.218,1
7	CT-Schaltraum/Auswertung	16,8	1	16,8	15,0	252,0	30,3	509,0
8	CT-Technik	28,6	1	28,6	15,0	429,0	5.000,0	5.000,0
9	MRT-Raum	53,2	1	53,2	15,0	798,0	30,3	1.612,0
10	MRT-Schaltraum	13,9	1	13,9	15,0	208,5	30,3	421,2
11	MRT-Vorbereitung	41,2	1	41,2	15,0	618,0	23,3	960,0
12	MRT-Flur	33,9	1	33,9	15,0	508,5	12,0	406,8
13	MRT-Technik	32,8	1	32,8	15,0	492,0	10.000,0	10.000,0
14	Entsorgungsraum	20,2	1	20,2	15,0	303,0	12,0	242,4
15	Archiv	36,7	1	36,7	15,0	550,5	12,0	440,4
16	Flur allgemein	105,4	1	105,4	15,0	1.581,0	12,0	1.264,8
17	Röntgen-Technikraum	32,8	1	32,8	15,0	492,0	7.500,0	7.500,0
	Summe			659,6		9.894,3		34.615,8

Tabelle 3.4.3/1: Flächen, Luftmengen und innere Kühllasten der Röntgendiagnostik

Summierte Daten der Röntgendiagnostik:

Fläche	659,6 m ²
Innere Kühllast	9.894,3 W
Zuluftvolumenstrom	34.615,8 m ³ /h

Auffallend ist, dass 22.500 W, entsprechend 64,9 % der inneren Kühllasten in den Technikräumen entstehen. Es handelt sich ausschließlich um Abwärme von Geräten und EDV-Anlagen. Sie lässt sich daher weder durch den Entwurf des Architekten noch durch die technische Gebäudeausrüstung beeinflussen bzw. reduzieren und ist vollständig betriebsbedingt. Aus diesem Grund muss das Ziel darin liegen, diese Lasten nicht noch weiter zu erhöhen und sie möglichst energiesparend abzuführen.

Über die in Tabelle 3.4.3/1 enthaltenen Räume, die eine RLT-Anlage benötigen, hat die Röntgenabteilung weitere Räume, die nicht daran angeschlossen sind. Die Gesamtflächen ergeben sich somit wie folgt:

Nr.	Raum	Raum- fläche m ²	Anz. d. Räu- me	Raum- fläche gesamt	spezif. Zuluft- volumen- strom m ³ /(hm ²)	Zuluft- volumen- strom gesamt m ³ /h	spezif. innere Kühllast W/m ²	innere Kühllast gesamt W
1	Röntgenraum Arthro-/ Angioskopie	58,2	2	116,3	15,0	1.744,8	30,3 W/m ²	3.524,5
2	Patientenanmeldung	41,2	1	41,2	15,0	618,0	23,3 W/m ²	960,0
3	Versorgungsraum	34,4	1	34,4	15,0	516,0	12,0 W/m ²	412,8
4	Patienten-WC	3,0	2	6,0	15,0	90,0	12,0 W/m ²	72,0
5	Personal-WC	3,0	2	6,0	15,0	90,0	12,0 W/m ²	72,0
6	CT-Raum	40,2	1	40,2	15,0	603,0	30,3 W/m ²	1.218,1
7	CT-Schaltraum/Auswertung	16,8	1	16,8	15,0	252,0	30,3 W/m ²	509,0
8	CT-Technik	28,6	1	28,6	15,0	429,0	5.000,0 W	5.000,0
9	MRT-Raum	53,2	1	53,2	15,0	798,0	30,3 W/m ²	1.612,0
10	MRT-Schaltraum	13,9	1	13,9	15,0	208,5	30,3 W/m ²	421,2
11	MRT-Vorbereitung	41,2	1	41,2	15,0	618,0	23,3 W/m ²	960,0
12	MRT-Flur	33,9	1	33,9	15,0	508,5	12,0 W/m ²	406,8
13	MRT-Technik	32,8	1	32,8	15,0	492,0	10.000,0 W	10.000,0
14	Entsorgungsraum	20,2	1	20,2	15,0	303,0	12,0 W/m ²	242,4
15	Archiv	36,7	1	36,7	15,0	550,5	12,0 W/m ²	440,4
16	Flur allgemein	105,4	1	105,4	15,0	1.581,0	12,0 W/m ²	1.264,8
17	Röntgen-Technikraum	32,8	1	32,8	15,0	492,0	7.500,0 W	7.500,0
18	Ärzteraum	48,3	1	48,3	0,0	0,0	0,0 W/m ²	0,0
19	Wartezone I	28,5	1	28,5	0,0	0,0	0,0 W/m ²	0,0
20	Befundung	28,5	1	28,5	0,0	0,0	0,0 W/m ²	0,0
21	Röntgendemonstration	38,4	1	38,4	0,0	0,0	0,0 W/m ²	0,0
22	Röntgen I	48,3	1	48,3	0,0	0,0	0,0 W/m ²	0,0
23	Personalaufenthaltsraum	48,3	1	48,3	0,0	0,0	0,0 W/m ²	0,0
24	Wartezone II	28,5	1	28,5	0,0	0,0	0,0 W/m ²	0,0
25	Röntgen II	48,3	1	48,3	0,0	0,0	0,0 W/m ²	0,0
26	Röntgen III	48,3	1	48,3	0,0	0,0	0,0 W/m ²	0,0
27	MRT-Auswertung	38,4	1	38,4	0,0	0,0	0,0 W/m ²	0,0
	Summe			1.063,4		9.894,3		34.615,8

Tabelle 3.4.3/2: Gesamtflächen, Luftmengen und innere Kühllasten der Röntgendiagnostik

Summierte Daten der Röntgendiagnostik:

Gesamtfläche	1.063,4 m ²
Innere Kühllast	35.614,8 W
Zuluftvolumenstrom	9.894,3 m ³ /h

Die solaren Einträge entstehen in den Räumen, die Außenfenster haben und an die RLT-Anlage angeschlossen sind. Es kann von der Situation wie in den OP-Nebenräumen ausgegangen werden (vgl. 3.2.3.5). In folgenden Räumen sind solare Lasten zu berücksichtigen:

MRT-Raum:

Innere Kühllast	$\dot{Q}_{Ki} =$	1.612 W
Solare Kühllast	$\dot{Q}_S =$	1.317 W
Transmissions-Kühllast	$\dot{Q}_{KT} =$	66 W

Gesamtkühllast $\dot{Q}_K = 2.995 \text{ W}$

Spezifische Kühllast $q_K = \frac{2.995 \text{ W}}{53,2 \text{ m}^2} = 56,3 \text{ W/m}^2$

Enthalpiedifferenz Außenluft-Raumluft: $\Delta h = 49 \text{ kJ/kg} - 42,5 \text{ kJ/kg} = 6,5 \text{ kJ/kg}$
 $\rho_L = 1,165 \text{ kg/m}^3$

$$\dot{V}_L = \frac{\dot{Q}_K}{\Delta h \cdot \rho_L}$$

$$\dot{V}_L = \frac{2,995 \text{ kW}}{6,5 \text{ kJ/kg} \cdot 1,165 \text{ kg/m}^3} \cdot 3.600 \text{ s/h} = 1.423,8 \text{ m}^3/\text{h}$$

$\dot{V}_L = 1.424 \text{ m}^3/\text{h}$

Raumfläche $A_R = 53,2 \text{ m}^2$

Damit ergibt sich der erforderliche spezifische Zuluftvolumenstrom :

$$v_{ZU} = \frac{1.424 \text{ m}^3/\text{h}}{53,2 \text{ m}^2}$$

$v_{ZU} = 26,8 \text{ m}^3/(\text{h m}^2)$

MRT-Schaltraum:

Innere Kühllast	$\dot{Q}_{Ki} =$	421 W
Solare Kühllast	$\dot{Q}_S =$	1.317 W
Transmissions-Kühllast	$\dot{Q}_{KT} =$	66 W

Gesamtkühllast $\dot{Q}_K = 2.343 \text{ W}$

Spezifische Kühllast $q_K = \frac{2.343 \text{ W}}{13,9 \text{ m}^2} = 168,6 \text{ W/m}^2$

Enthalpiedifferenz Außenluft-Raumluft: $\Delta h = 49 \text{ kJ/kg} - 42,5 \text{ kJ/kg} = 6,5 \text{ kJ/kg}$
 $\rho_L = 1,165 \text{ kg/m}^3$

$$\dot{V}_L = \frac{\dot{Q}_K}{\Delta h \cdot \rho_L}$$

$$\dot{V}_L = \frac{2,343 \text{ kW}}{6,5 \text{ kJ/kg} \cdot 1,165 \text{ kg/m}^3} \cdot 3.600 \text{ s/h} = 1.113,9 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\dot{V}_L = 1.114 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\text{Raumfläche } A_R = 13,9 \text{ m}^2$$

Damit ergibt sich der erforderliche spezifische Zuluftvolumenstrom :

$$v_{ZU} = \frac{1.114 \text{ m}^3/\text{h}}{13,9 \text{ m}^2}$$

$$v_{ZU} = 80,1 \text{ m}^3/(\text{h m}^2)$$

Nr.	Raum	Raumfläche m ²	Anz. d. Räume	Raumfläche gesamt	spezif. Zuluftvolumenstrom m ³ /(h m ²)	Zuluftvolumenstrom gesamt m ³ /h	spezif. Kühllast		Gesamtkühllast W
1	Röntgenraum Arthro-/Angioskopie	58,2	2	116,3	15,0	1.744,8	30,3	W/m ²	3.524,5
2	Patientenanmeldung	41,2	1	41,2	15,0	618,0	23,3	W/m ²	960,0
3	Versorgungsraum	34,4	1	34,4	15,0	516,0	12,0	W/m ²	412,8
4	Patienten-WC	3,0	2	6,0	15,0	90,0	12,0	W/m ²	72,0
5	Personal-WC	3,0	2	6,0	15,0	90,0	12,0	W/m ²	72,0
6	CT-Raum	40,2	1	40,2	15,0	603,0	30,3	W/m ²	1.218,1
7	CT-Schaltraum/Auswertung	16,8	1	16,8	15,0	252,0	30,3	W/m ²	509,0
8	CT-Technik	28,6	1	28,6	15,0	429,0	5.000,0	W	5.000,0
9	MRT-Raum	53,2	1	53,2	26,8	1.425,8	56,3	W/m ²	2.995,2
10	MRT-Schaltraum	13,9	1	13,9	80,1	1.113,4	168,6	W/m ²	2.343,5
11	MRT-Vorbereitung	41,2	1	41,2	15,0	618,0	23,3	W/m ²	960,0
12	MRT-Flur	33,9	1	33,9	15,0	508,5	12,0	W/m ²	406,8
13	MRT-Technik	32,8	1	32,8	15,0	492,0	10.000,0	W	10.000,0
14	Entsorgungsraum	20,2	1	20,2	15,0	303,0	12,0	W/m ²	242,4
15	Archiv	36,7	1	36,7	15,0	550,5	12,0	W/m ²	440,4
16	Flur allgemein	105,4	1	105,4	15,0	1.581,0	12,0	W/m ²	1.264,8
17	Röntgen-Technikraum	32,8	1	32,8	15,0	492,0	7.500,0	W	7.500,0
	Summe			659,6		11.427,0			37.921,4

Tabelle 3.4.3/2: Flächen, Luftmengen und Gesamt-Kühllasten der Röntgendiagnostik (einschließlich solare Gewinne)

Summierte Daten der Röntgendiagnostik:

Fläche	659,6 m ²
Gesamt-Kühllast	37.921,4 W
Zuluftvolumenstrom	11.427,0 m ³ /h

Bei Berücksichtigung der solaren Gewinne erhöht sich die Kühllast um lediglich 3.305,6 W, entsprechend ca. 9,6 %. Die äußeren Kühllasten bilden nur einen kleinen Teil der Gesamtkühllasten, da die inneren Kühllasten bereits sehr hoch sind. Auch der erforderliche Zuluftvolumenstrom erhöht sich um 1.532,7 m³/h, entsprechend 15,5 %. Die externen Lasten haben also nur einen relativ geringen Einfluss auf die erforderlichen Luftmengen. Bei der Bestimmung der Luftmengen wurden in den Technikräumen und in den Fluren die nach DIN 1946/4 (03/1999), Tab. 2, geforderten hygienischen Mindest-Außenluft-Volumenströme in Ansatz

gebracht. Hier sind, in Absprache mit dem Hygieniker sicher Reduzierungen möglich. Auch die WC-Räume erhalten üblicherweise keine eigene Zuluft, sodass die Gesamt-Zuluftmengen tatsächlich geringer sein dürften.

Bei den solaren Gewinnen wurde eine Ost-West-Orientierung der Fassaden zu Grunde gelegt, die den ungünstigsten Fall darstellt. Der Einfluss dieser solaren Gewinne ist allerdings gering. Eine günstigere Ausrichtung nach Nord-Süd lässt daher nur geringe Reduzierungen der Kühllast erwarten, sodass auf diese Betrachtung an dieser Stelle verzichtet wird.

3.4.4 Energieverbrauch Röntgendiagnostik

Entscheidend für den Energieverbrauch sind die MRT-, CT- und Röntgentechnikräume. Hier fallen die größten Kühllasten über die gesamte Betriebszeit an. Für den Energieverbrauch ist es von essentieller Bedeutung, welcher Aufwand notwendig ist, um diese Lasten abzuführen. Hier ist eine wesentliche Voraussetzung, dass die Technikräume eigenständig sind, sich also nicht im Raumverbund mit anderen Räumen befinden. Dadurch werden die Kühllasten gekapselt und es ist möglich, sie gezielt und ohne Rückkopplungen aus der übrigen RLT-Anlage zu behandeln.

Zunächst ist daher zu bestimmen, welche Luftmengen hierfür benötigt werden. Die Berechnung wird an dieser Stelle über die Innen- und Zulufttemperaturen und nicht, wie bisher, über die Enthalpie durchgeführt, da hier lediglich die Innentemperaturen relevant sind. Sie müssen begrenzt werden, da die Geräte und Anlagen in den Räumen, insbesondere die EDV-Anlagen sonst nicht störungsfrei arbeiten. Die relative Luftfeuchtigkeit kann in einem großen Bereich variieren. Die Funktionsfähigkeit der EDV-, Schalt- und Steueranlagen wird dadurch nicht beeinträchtigt. Nur bei extremen Situationen kann u. U. eine Beeinträchtigung durch Kriechströme infolge sehr hoher Luftfeuchtigkeit (> ca. 80 %) oder durch statische Aufladung infolge sehr niedriger Luftfeuchtigkeit (< ca. 20 %) eintreten. Diese Fälle sind jedoch nicht von Bedeutung, da sie bei den in Deutschland üblichen Witterungslagen praktisch nicht eintreten. Die Luftfeuchtigkeit bleibt deshalb hier unberücksichtigt.

Es gilt:

Raumtemperatur	$\vartheta_R = 26 \text{ °C}$
Mindest-Zulufttemperatur	$\vartheta_{Zu, min} = 16 \text{ °C}$

$$\dot{V}_L = \frac{\dot{Q}_{Ki}}{\Delta\vartheta \cdot c_L}$$

CT-Technikraum:

$$\dot{Q}_{Ki} = 5.000 \text{ W}$$

$$\dot{V}_L = \frac{5,000 \text{ kW}}{(26 \text{ °C} - 16 \text{ °C}) \cdot 1,006 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})} \cdot 3.600 \text{ s/h} = 1.789,3 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\underline{\underline{\dot{V}_L = 1.789 \text{ m}^3/\text{h}}}$$

MRT-Technikraum:

$$\dot{Q}_{Ki} = 10.000 \text{ W}$$

$$\dot{V}_L = \frac{10,000 \text{ kW}}{(26 \text{ °C} - 16 \text{ °C}) \cdot 1,006 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})} \cdot 3.600 \text{ s/h} = 3.578,5 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\underline{\underline{\dot{V}_L = 3.579 \text{ m}^3/\text{h}}}$$

Röntgen-Technikraum:

$$\dot{Q}_{Ki} = 7.500 \text{ W}$$

$$\dot{V}_L = \frac{7,500 \text{ kW}}{(26 \text{ °C} - 16 \text{ °C}) \cdot 1,006 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})} \cdot 3.600 \text{ s/h} = 2.683,9 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\underline{\underline{\dot{V}_L = 2.684 \text{ m}^3/\text{h}}}$$

Nur für die Technikräume ist somit eine Luftmenge von 8.052 m³/h erforderlich. Kennzeichnend ist, dass hier ausschließlich Wärme abgeführt werden muss und keine hygienischen Anforderungen und auch keine Komfortansprüche zu erfüllen sind. Die erforderliche Minimal-Zulufttemperatur kann daher um 10 K oder mehr unter der geforderten Raumtemperatur liegen und ist nur begrenzt durch die Taupunkttemperatur der Raum- und Zuluft. Die Raumlufttemperatur wird durch die in den Räumen vorhandenen Geräte vorgegeben und stellt die Temperatur dar, bei der die Geräte noch ohne Störungsgefahr arbeiten können. Sie liegt in der Regel bei deutlich über 24 °C.

Der erforderliche Außenluftanteil für diese Räume ist vernachlässigbar gering, da er nur für die sich kurzzeitig darin aufhaltenden Techniker benötigt wird. Trotzdem kann und sollte die Anlage zum Großteil mit Außenluft gefahren werden, da die Außenlufttemperatur im größten Teil des Jahres unter der Minimal-Zulufttemperatur liegt. Erst, wenn die Außenlufttemperatur über der Minimal-Zulufttemperatur liegt, muss zusätzliche mechanische Kühlung zur Verfügung stehen.

Gleichzeitig wird jedoch für die übrigen Räume, die vergleichsweise geringe innere Kühllasten haben, eine RLT-Anlage benötigt, die im wesentlichen mit Außenluft arbeitet und auf einen ganz anderen Zuluftpunkt gefahren werden muss.

Aus diesen Gründen ist es für eine Struktur wie in einer Röntgendiagnostik unbedingt sinnvoll, zwei RLT-Anlagen vorzusehen:

- RLT-Anlage Technikräume: - Mischluftanlage
- nur Kühlung als thermische Luftbehandlung
- einstufige Filterung der Zuluft
- RLT-Anlage übrige Räume: - Außenluftanlage
- Vollklimaanlage
- zweistufige Filterung der Zuluft

Auf diese Anlagenkonzeption muss der bauliche Entwurf Rücksicht nehmen und die Flächen und Räume zur Unterbringung der notwendigen gebäudetechnischen Anlagen bereitstellen. Im Folgenden wird der Energieverbrauch für die beiden RLT-Anlagen betrachtet. Er geht in den Gesamt-Energieverbrauch der Röntgenabteilung ein.

RLT-Anlage Technikräume

Nach VDI 2078 (07/1996), Tabelle B1, Kühllastzone 1, werden die Gesamt-Jahresstunden ermittelt, in denen die Außenlufttemperatur über 16 °C liegt. Bis zu diesem Punkt können die Räume ausschließlich mit Außenluft gekühlt werden und der Energieverbrauch bestimmt sich nur aus dem Stromverbrauch für die Luftförderung. Darüber wird die Anlage im Umluftbetrieb mit mechanischer Kühlung gefahren. Der Energieverbrauch setzt sich dann aus dem Stromverbrauch für die Luftförderung und der Kälteerzeugung zusammen. Die Gesamt-Jahresstunden der Außenlufttemperatur über 16°C betragen 2.720 h/a.

Die Kälteleistung ist die Summe der inneren Kühllasten der CT-, MRT- und Röntgen-Technikräume. Die inneren Kühllasten treten nicht zu allen Zeiten zu 100 % auf und sind abhängig von der Auslastung und den Betriebszeiten und es ist kaum möglich, eine exakte Bestimmung der eingesetzten Geräte und ihrer Betriebszeiten vorzunehmen. Die Verwendung richtet sich auch hier ausschließlich nach medizinischen Notwendigkeiten und Gesichtspunkten. Die technischen Anlagen des CT und MRT können nicht abgeschaltet werden, haben in betriebsfreien Zeiten jedoch eine reduzierte Abwärmeleistung. Dann ist mindestens ein Röntgengerät für Notfälle in Betrieb. Auf dieser Grundlage wird die durchschnittliche Abwärmeleistung bestimmt.

Tagbetrieb:

Innere Kühllast CT-Technikraum	$\dot{Q}_{KiCT} = 5,00 \text{ kW}$
Innere Kühllast MRT-Technikraum	$\dot{Q}_{KiMRT} = 10,00 \text{ kW}$
Innere Kühllast Röntgen-Technikraum	$\dot{Q}_{KiRö} = 7,50 \text{ kW}$
Belastungsgrad	$\eta_B = 0,7$
Betriebsstunden	$t_T = 3.024 \text{ h/a}$

Nachtbetrieb:

Belastungsgrad CT-Technikraum $\eta_{BCT} = 0,3$

Belastungsgrad MRT-Technikraum $\eta_{BMRT} = 0,3$

Belastungsgrad Röntgen-Technikraum $\eta_{BR\ddot{o}} = 0,1$

Betriebsstunden $t_N = 8.760 \text{ h/a} - t_T$

jahresdurchschnittliche innere Kühllast CT-, MRT- und Röntgentechnikräume

$$\dot{Q}_{Ki} = \frac{(\dot{Q}_{KiCT} + \dot{Q}_{KiMRT} + \dot{Q}_{R\ddot{o}i}) \cdot t_T + (\eta_{BCT} \cdot \dot{Q}_{KiCT} + \eta_{BMRT} \cdot \dot{Q}_{KiMRT} + \eta_{BR\ddot{o}} \cdot \dot{Q}_{R\ddot{o}i}) \cdot t_N}{8.760 \text{ h/a}} \quad (41)$$

$$\dot{Q}_{Ki} = \frac{(5,0 + 10,0 + 7,5) \text{ kW} \cdot 3.024 \text{ h/a} + (0,3 \cdot 5,0 + 0,3 \cdot 10,0 + 0,1 \cdot 7,5) \text{ kW} \cdot (8.760 - 3.024) \text{ h/a}}{8.760 \text{ h/a}}$$

$$\underline{\dot{Q}_{Ki} = 8,875 \text{ kW}}$$

RLT-Anlage Technikräume – elektrische Energie für die Luftförderung

Luftmenge: $\dot{V}_L = 8.052 \text{ m}^3/\text{h}$

Differenzdruck Zuluftventilator $\Delta p_{Zu} = 300 \text{ Pa}$

Differenzdruck Abluftventilator $\Delta p_{Ab} = 300 \text{ Pa}$

jährliche Betriebszeit $t_B = 8.760 \text{ h/a}$

$$Q = \frac{\dot{V}_L \cdot (\Delta p_{Zu} + \Delta p_{Ab}) \cdot t_B}{3.600 \text{ s/h} \cdot 1000} \quad (42)$$

$$\underline{Q = 11.756 \text{ kWh/a}}$$

RLT-Anlage Technikräume – thermische Luftaufbereitung

Für die thermische Luftaufbereitung ist die innere Kühllast maßgeblich. Sie ist dann durch eine thermisch aufbereitete Zuluft auszugleichen, wenn die Außentemperatur über 16 °C liegt. Die hierfür aufzuwendende elektrische Energie der Kälteerzeugung ergibt sich durch Berücksichtigung der Leistungsziffer der Kälteerzeugung.

Gesamt-Jahresstunden der Außenlufttemperatur über 16°C $t_{16^\circ\text{C}} = 2.720 \text{ h/a}$

Leistungsziffer der Kälteerzeugung $\varepsilon = 4,0$

Innere Kühllast der CT-, MRT- und Röntgen-Technikräume $\dot{Q}_{Ki} = 8,875 \text{ W}$

$$Q_U = 8,875 \text{ kW} \cdot 2.720 \text{ h/a}$$

$$\underline{Q_U = 24.140 \text{ kWh/a}}$$

Hierfür aufzuwendende elektrische Energie:

$$Q_{el} = Q \cdot 1/\varepsilon = 24.140 \text{ kWh/a} \cdot 1/4$$

$$\underline{Q_{el} = 6.035 \text{ kWh/a}}$$

RLT-Anlage sonstige Räume - thermische Luftaufbereitung

Die Luftmenge ist der in Tab. 3.4.3/2 ermittelte Volumenstrom, vermindert um die Anteile für die CT-, MRT- und Röntgen-Technikräume. Gleiches gilt für die Kühllast und die Flächen.

Luftmenge:	$\dot{V}_L = 10.140 \text{ m}^3/\text{h}$
Fläche sonstige Räume	$A_R = 565,4 \text{ m}^2$
Differenzdruck Zuluftventilator	$\Delta p_{Zu} = 300 \text{ Pa}$
Differenzdruck Abluftventilator	$\Delta p_{Ab} = 300 \text{ Pa}$
Gesamt-Jahresstunden der Außenlufttemperatur über 16°C	$t_{16^\circ\text{C}} = 2.720 \text{ h/a}$
Gesamt-Jahresstunden	$t_a = 8.760 \text{ h/a}$
Leistungsziffer der Kälteerzeugung	$\varepsilon = 4,0$
Gesamt-Kühllast sonstige Räume (vgl. Tab. 3.4.3/2)	$\dot{Q}_K = 15.421 \text{ W}$

Die Berechnung des Energieverbrauches für die thermische Luftaufbereitung erfolgt nach Gleichung (34) und (35). Nachts und an Wochenenden findet eingeschränkter Betrieb statt. Die Luftmenge wird reduziert, die inneren und äußeren Kühllasten sind dann Null.

Es gilt im Tagbetrieb:

Die Heizlast ist mit der der OP-Nebenräume vergleichbar (Berechnung analog 3.4.4). :

$$\dot{Q}_{T12} = 34,728 \text{ kW} \cdot \frac{565,4 \text{ m}^2}{1.196,1 \text{ m}^2} = 16,416 \text{ kW}$$

$$\dot{V}_{ZUT} = 10.140 \text{ m}^3/\text{h} = 2,82 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\dot{Q}_{T12} = 16,416 \text{ kW}$$

$$\dot{Q}_{KT} = 15,421 \text{ kW}$$

Es gilt im Nachtbetrieb

$$\dot{V}_{ZUN} = \dot{V}_{ZUT} = 5.070 \text{ m}^3/\text{h} = 1,41 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\dot{Q}_{T12} = 16,416 \text{ kW}$$

$$\dot{Q}_{KN} = 0 \text{ kW}$$

	ϑ_{AUT}	h_{AUT}	t_T	Q_{UT}	ϑ_{AUN}	h_{AUN}	t_N	Q_{UN}
	°C	kJ/kg	h/Mo	kWh/Mo	°C	kJ/kg	h/Mo	kWh/Mo
Januar	1,95	10,9	372	25.938	1,45	10,8	372	9.626
Februar	2,64	11,8	336	23.018	1,88	11	336	8.673
März	5,93	16,3	372	23.075	4,58	14,8	372	8.683
April	10,2	22,9	360	18.823	7,33	20	360	7.109
Mai	14,3	30,5	372	15.176	11,9	27,8	372	5.380
Juni	17,5	37,8	360	10.632	14	34	360	3.564
Juli	18,5	41,3	360	8.647	15,4	37,1	360	2.771
August	18,2	41,2	372	8.952	15,1	36,9	372	2.903
September	16	36,5	360	11.216	13,1	33,1	360	3.756
Oktober	11,7	28,5	372	16.063	9,8	26	372	5.743
November	6,28	18,8	360	20.787	5,38	17,8	360	7.592
Dezember	3,08	13,5	372	24.422	2,49	12,5	372	9.201
Summe				206.749				75.001

Tabelle 3.4.4/1: Außentemperaturen, Außenluftenthalpien, Betriebszeiten und Energieverbrauch für die thermische Luftaufbereitung der sonstigen Räume der röntgendiagnostischen Abteilung

Der Gesamtenergieverbrauch für die thermische Aufbereitung der Zuluft der sonstigen Räume der Röntgenabteilung ergibt sich damit zu $Q_U = 281.751 \text{ kWh/a}$.

Übrige Räume - Energieverbrauch für Beheizung

Die Röntgenabteilung ist nur zum Teil mit einer RLT-Anlage ausgestattet, über die auch die Beheizung der Räume erfolgt. Der Energieverbrauch für die Beheizung ist daher im Energieverbrauch für die thermische Luftaufbereitung enthalten. Die übrigen Räume werden mit einer statischen Heizung beheizt.

Heizlast (Berechnung analog zu 3.4.4):

$$\dot{Q}_{T12} = 34,728 \text{ kW} \cdot \frac{1.063,4 \text{ m}^2 - 565,4 \text{ m}^2}{1.196,1 \text{ m}^2} = 14,459 \text{ kW}$$

$$\underline{\dot{Q}_{T12} = 14,459 \text{ kW}}$$

Der Energieverbrauch wird mit der durchschnittlichen monatliche Heizlast und den monatlichen Betriebsstunden bestimmt. Die nächtliche Temperaturabsenkung beträgt 5 °C

Raumtemperatur Tagbetrieb

$$\vartheta_{RT} = 22 \text{ °C}$$

Raumtemperatur Nachtbetrieb

$$\vartheta_{RN} = 17 \text{ °C}$$

$$\dot{Q}_T = \dot{Q}_{T12} \cdot \frac{\vartheta_R - \vartheta_{AU}}{\vartheta_R - (-12 \text{ °C})}$$

	ϑ_{AUT}	t_T	Q_{UT}	ϑ_{AUN}	t_N	Q_{UN}
	°C	h/Mo	kWh/Mo	°C	h/Mo	kWh/Mo
Januar	1,95	252	2.149	1,45	492	3.814
Februar	2,64	240	1.976	1,88	432	3.257
März	5,93	276	1.886	4,58	468	2.898
April	10,17	240	1.207	7,33	480	2.314
Mai	14,27	228	750	11,93	516	1.304
Juni	17,48	252	484	14	468	700
Juli	18,53	264	390	15,38	480	388
August	18,24	264	422	15,13	480	448
September	16,02	264	671	13,13	456	880
Oktober	11,72	252	1.102	9,8	492	1.766
November	6,28	252	1.685	5,38	468	2.711
Dezember	3,08	240	1.931	2,49	504	3.646
Summe			14.653			24.127

Tabelle 3.4.4/2: durchschnittliche monatliche Außentemperaturen, Betriebszeiten und Energieverbrauch für die statische Heizung der sonstigen Räume der röntgendiagnostischen Abteilung

Der Gesamtenergieverbrauch beträgt

$$\underline{Q_U = 38.779 \text{ kWh/a}}$$

Zur Plausibilitätsprüfung wird die Vollbetriebsstundenzahl ermittelt. Sie ergibt sich zu

$$B_{VH} = \frac{Q_U}{\dot{Q}_{T12}} = \frac{38.779 \text{ kWh/a}}{14,459 \text{ kW}} = 2.682 \text{ h/a}$$

Dies ist ein realistischer Wert, der mit den Daten, wie sie sich aus VDI 2067/(12/1993), Tab. 6, ergeben, vergleichbar ist. Die VDI-Richtlinie ist zwar zurückgezogen worden, für die Plausibilitätsprüfung kann sie jedoch an dieser Stelle noch mit hinreichender Sicherheit herangezogen werden.

RLT-Anlage sonstige Räume - Elektrischer Energieverbrauch für Luftförderung

Die Berechnung erfolgt nach Gleichung (21):

$$Q_V = \left(\frac{1}{0,64} \cdot (3.024 \text{ h/a} \cdot 2,82 \text{ m}^3/\text{s} \cdot (300 \text{ Pa} + 300 \text{ Pa}) + (365 \text{ d/a} \cdot 24 \text{ h/d} - 3.024 \text{ h/a}) \cdot 1,41 \text{ m}^3/\text{s} \cdot 0,5 \cdot (300 \text{ Pa} \cdot 0,5^2 + 300 \text{ Pa} \cdot 0,5^2)) \right) \cdot \frac{1}{1.000}$$

$$\underline{Q_V = 8.943 \text{ kWh/a}}$$

Elektrischer Energieverbrauch für Beleuchtung

In der Röntgenabteilung ist die Beleuchtung während der gesamten Nutzungsdauer in Betrieb. Der Energieverbrauch ergibt sich aus der elektrischen Anschlussleistung und der Betriebszeit. Die Nennbeleuchtungsstärke beträgt 500 lx (s. 3.2.3.1), sie wird jedoch nur zu einem Teil tatsächlich benötigt bzw. geschaltet, da in den Untersuchungsräumen oft nur eine eingeschränkte Beleuchtung benötigt wird. Auch in den Fluren wird nur eine geringere Beleuchtung benötigt. Daher wird die elektrische Anschlussleistung mit einem geschätzten Reduktionsfaktor versehen. Es ist der Energieverbrauch für Beleuchtung der gesamten Röntgenabteilung zu bestimmen.

Elektrische Anschlussleistung

für Beleuchtung allgemein

$$P_{el} = 10,1 \text{ W/m}^2 \text{ (vgl. 3.2.3.1)}$$

Fläche der Röntgenabteilung

$$A_R = 1.063,4 \text{ m}^2$$

Betriebszeit:

$$t_T = 3.024 \text{ h/a}$$

Reduktionsfaktor

$$f_R = 0,5$$

Der elektrische Energieverbrauch für die Beleuchtung wird damit wie folgt bestimmt:

$$Q_B = P_{el} \cdot A_R \cdot t_T \cdot f_R$$

(43)

$$Q_B = 10,1 \text{ W/m}^2 \cdot 1.063,4 \text{ m}^2 \cdot 3.024 \text{ h/a} \cdot 1/1.000 \cdot 0,5 = 16.239,4 \text{ kWh/a}$$

$$\underline{Q_B = 16.239 \text{ kWh/a}}$$

Elektrischer Energieverbrauch für Geräte

Ähnlich wie in den anderen Abteilungen des Krankenhauses ist es auch in der Röntgenabteilung nicht möglich, eine exakte allgemeine Bestimmung der eingesetzten Geräte und ihrer Betriebszeiten vorzunehmen (s.o.). Die Verwendung richtet sich hier ebenfalls ausschließlich nach medizinischen Notwendigkeiten und Gesichtspunkten. Allerdings liegt der Schwerpunkt eindeutig bei den Untersuchungsgeräten, da der Energiebedarf der Röntgen-, CT- und MRT-Geräte enorm und die Betriebszeiten sehr hoch sind. Daher wird an dieser Stelle zwischen den CT-, MRT- und Röntgentechnikräumen einerseits und den sonstigen Räumen andererseits differenziert.

CT-, MRT- und Röntgentechnikräume

Die durchschnittliche Maschinen- und Geräteleistung ist die jahresdurchschnittliche innere Kühllast der CT-, MRT- und Röntgentechnikräume aus Gleichung (41).

$$Q_{MTechn} = \dot{Q}_{Ki} \cdot t_a$$

(44)

$$Q_{MTechn} = 8,875 \text{ kW} \cdot 8.760 \text{ h/a}$$

$$Q_{MTechn} = 77.745 \text{ kWh/a}$$

Sonstige Räume

Die spezifischen elektrischen Anschlussleistungen sind vergleichbar mit denen der OP-Nebenräume gemäß 3.2.3.1:

Röntgenräume, CT-Raum, CT-Schaltraum, MRT-Raum, MRT-Schaltraum,

$$P_{el} = 12,6 \text{ W/m}^2$$

$$A_R = 240,4 \text{ m}^2$$

Ärzteraum, Befundung, Röntgendemonstration, MRT-Auswertung,
MRT-Vorbereitung, Patientenanmeldung

$$P_{el} = 6,3 \text{ W/m}^2$$

$$A_R = 236,0 \text{ m}^2$$

$$Q_{MsonstR} = (12,6 \text{ W/m}^2 \cdot 240,4 \text{ m}^2 + 6,3 \text{ W/m}^2 \cdot 236,0 \text{ m}^2) \cdot 3.024 \text{ h/a} \cdot 1/1.000$$

$$Q_{MsonstR} = 13.655,9 \text{ kWh/a}$$

$$\underline{Q_{MsonstR} = 13.656 \text{ kWh/a}}$$

Elektrischer Energieverbrauch für Geräte gesamt

$$\boxed{Q_M = Q_{MTechn} + Q_{MsonstR}}$$

(45)

$$Q_M = 77.745 \text{ kWh/a} + 13.656 \text{ kWh/a}$$

$$\underline{Q_M = 91.401 \text{ kWh/a}}$$

Energieverbrauch für Warmwasser

Für Waschzwecke wird in Röntgenabteilungen nur vernachlässigbar wenig Warmwasser benötigt. Der Bereich ist jedoch einmal täglich zu reinigen. Die Situation ist mit der Intensivstation vergleichbar.

Warmwasserverbrauch

Die Berechnung erfolgt nach Gleichung (36).

$$q_R = 0,1 \text{ l/m}^2 = 0,1 \text{ kg/m}^2$$

$$Q_{WW} = 0,1 \text{ kg/m}^2 \cdot 1.063,4 \text{ m}^2 \cdot 365 \text{ d/a} \cdot (42 \text{ °C} - 10 \text{ °C}) \cdot 1,2 \cdot 4,182 \text{ kJ/(kg K)} \cdot 1/3600 \text{ kWh/kJ}$$

$$\underline{Q_{WW} = 1.731 \text{ kWh/a}}$$

Der sich so ergebende Energieverbrauch wird dem bisherigen Gliederungs-
schema zugeordnet:

Energieart	Energiemenge	Zuordnung
RLT-Anlage Technikräume – elektrische Energie für die Luftförderung	11.756 kWh/a	Elektrische Energie für Luftförderung
RLT-Anlage Technikräume – thermische Luftaufbereitung	24.140 kWh/a	Thermische Energie für Luftaufbereitung
RLT-Anlage sonstige Räume - thermische Luftaufbereitung	281.751 kWh/a.	Thermische Energie für Luftaufbereitung
Übrige Räume - Energieverbrauch für Beheizung	38.779 kWh/a	Thermische Energie für Luftaufbereitung
RLT-Anlage sonstige Räume - Elektrischer Energieverbrauch für Luftförderung	8.943 kWh/a	Elektrische Energie für Luftförderung
Elektrischer Energieverbrauch für Beleuchtung	16.239 kWh/a	Elektrische Energie für Beleuchtung
Elektrischer Energieverbrauch für Geräte	91.401 kWh/a	Elektrischer Energieverbrauch für Geräte
Energieverbrauch für Warmwasser	1.731 kWh/a	Thermische Energie für Warmwasser

Tabelle 3.4.4/3: Röntgenabteilung, Energiearten, -mengen und Zuordnung der Röntgendiagnostik

Damit ergibt sich folgendes Bild des Energieverbrauches, des Primärenergieverbrauches und der Energiekosten in der Röntgendiagnostik:

	Energieverbrauch		Primärenergie- Faktor	Primärenergie- verbrauch		Energiekosten		
	absolut kWh/a	relativ %		absolut kWh/a	relativ %	spezifisch €/kWh	absolut €/a	relativ %
Thermische Energie für Luftaufbereitung	344.670	72,6	1,10	379.137	49,5	0,0227	7.824	27,7
Elektrische Energie für Luftförderung	20.699	4,4	3,00	62.097	8,1	0,1591	3.293	11,6
Elektrische Energie für Beleuchtung	16.239	3,4	3,00	48.717	6,4	0,1591	2.584	9,1
Elektrische Energie für Geräte	91.401	19,3	3,00	274.203	35,8	0,1591	14.542	51,4
Thermische Energie für Warmwasser	1.731	0,4	1,10	1.904	0,2	0,0227	39	0,1
Summe	474.740	100,0		766.058	100,0		28.282	100,0

Tabelle 3.4.4/4: Energieverbrauch, Primärenergieverbrauch, Energiekosten der Röntgendiagnostik

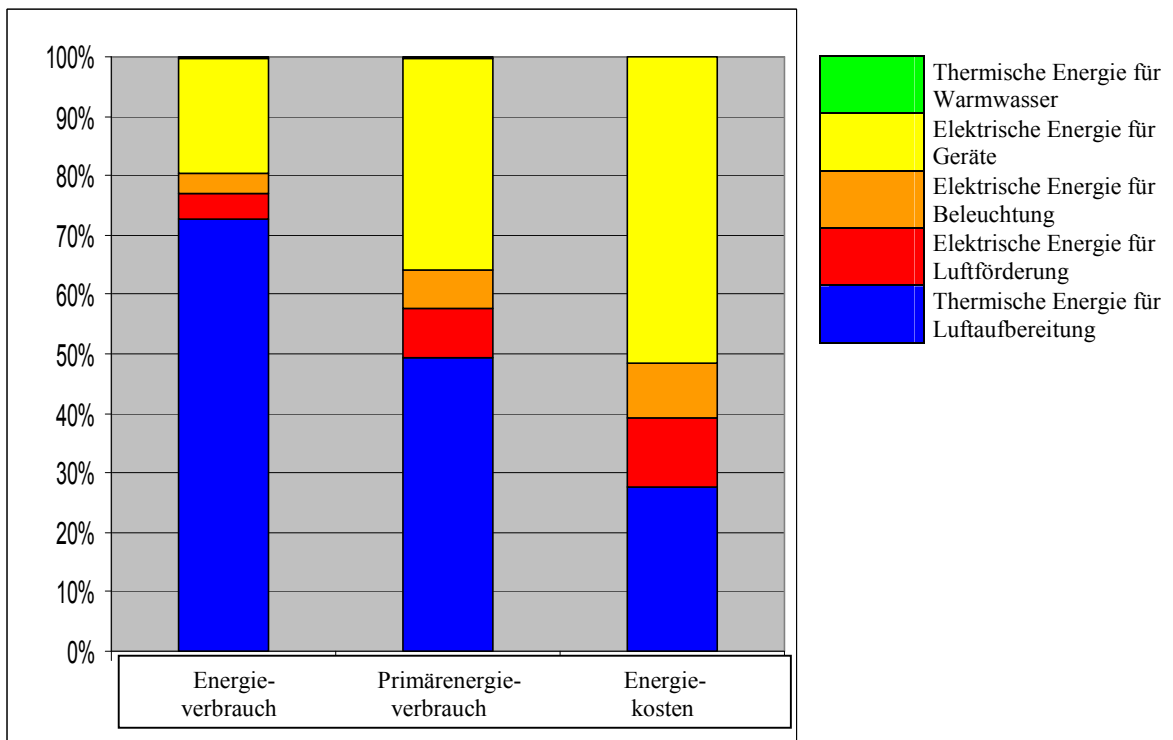


Abbildung 3.4.4/1: Säulendiagramm Energieverbrauch, Primärenergieverbrauch, Energiekosten der Röntgendiagnostik

Etwa 3/4 des Energieverbrauches wird für die thermische Aufbereitung der Zuluft benötigt und ist im Wesentlichen notwendig, um die inneren Kühllasten abzufahren und die hygienischen Anforderungen zu erfüllen. Anhand einer rechnerischen Überprüfung mit Reduktion der äußeren Kühllasten auf 0 W wurde festgestellt, dass dies nur einen äußerst geringen Einfluss auf den Energieverbrauch für die thermische Luftaufbereitung hat, der sich dadurch auf lediglich 342.909 kWh/a reduziert. Daher ist es nicht sinnvoll, eine weitere Reduzierung der äußeren Kühllasten anzustreben.

In der hier zu Grunde liegenden Entwurfssituation sind separate Räume und eine eigene RLT-Anlage für die CT-, MRT- und Röntgentechnik vorgesehen. Für den Fall, dass die entsprechenden Geräte in die Nutzräume integriert werden, hat dies erhebliche Konsequenzen, da diese Räume dann an die normale RLT-Anlage angeschlossen werden müssen. Diese Situation kann auch eintreten, wenn die Installationsverhältnisse eine eigene RLT-Anlage für die Technikräume nicht zulassen. Nachfolgend wird dieser Fall untersucht bei gleichzeitig ungünstigen Installationsverhältnissen.

3.4.5 Energieverbrauch Röntgendiagnostik bei nutzraumintegrierten Technikbereichen

Zunächst sind die erforderlichen neuen Luftmengen zu bestimmen. Da die inneren Kühllasten der Technikräume in Nutzräumen anfallen, muss eine geringere Temperaturdifferenz zwischen Zu- und Raumluf gefahren werden. Die minimale Zulufttemperatur beträgt 18°C, ansonsten ist mit Zugerscheinungen und Komforteinbußen zu rechnen. Es gilt:

Raumtemperatur $\vartheta_R = 24 \text{ °C}$
 Mindest-Zulufttemperatur $\vartheta_{Zu, min} = 18 \text{ °C}$

CT-Technikbereich:

$\dot{Q}_{Ki} = 5.000 \text{ W}$
 Zuluft-Volumenstrom $\dot{V}_L = 2.982 \text{ m}^3/\text{h}$

MRT-Technikbereich:

$\dot{Q}_{Ki} = 10.000 \text{ W}$
 Zuluft-Volumenstrom $\dot{V}_L = 5.964 \text{ m}^3/\text{h}$

Röntgen-Technikraum:

$\dot{Q}_{Ki} = 7.500 \text{ W}$
 Zuluft-Volumenstrom $\dot{V}_L = 4.473 \text{ m}^3/\text{h}$

Die Gesamtflächen, -volumenströme und -kühllasten sehen dann wie folgt aus:

Nr.	Raum	Raumfläche m ²	Anz. d. Räume	Raumfläche gesamt	spezif. Zuluftvolumenstrom	Zuluftvolumenstrom gesamt m ³ /h	spezif. Kühllast W/m ²	Gesamt-Kühllast gesamt W
1	Röntgenraum Arthro-/Angioskopie	58,2	2	116,3	15,0 m ³ /(hm ²)	1.744,8	30,3 W/m ²	3.524,5
2	Patientenanmeldung	41,2	1	41,2	15,0 m ³ /(hm ²)	618,0	23,3 W/m ²	960,0
3	Versorgungsraum	34,4	1	34,4	15,0 m ³ /(hm ²)	516,0	12,0 W/m ²	412,8
4	Patienten-WC	3,0	2	6,0	15,0 m ³ /(hm ²)	90,0	12,0 W/m ²	72,0
5	Personal-WC	3,0	2	6,0	15,0 m ³ /(hm ²)	90,0	12,0 W/m ²	72,0
6	CT-Raum	40,2	1	40,2	15,0 m ³ /(hm ²)	603,0	30,3 W/m ²	1.218,1
7	CT-Schaltraum/Auswertung	16,8	1	16,8	15,0 m ³ /(hm ²)	252,0	30,3 W/m ²	509,0
8	CT-Technik	28,6	1	28,6	15,0 m ³ /(hm ²)	2.982,0	5.000,0 W/m ²	5.000,0
9	MRT-Raum	53,2	1	53,2	26,8 m ³ /(hm ²)	1.425,8	56,3 W/m ²	2.995,2
10	MRT-Schaltraum	13,9	1	13,9	80,1 m ³ /(hm ²)	1.113,4	168,6 W/m ²	2.343,5
11	MRT-Vorbereitung	41,2	1	41,2	15,0 m ³ /(hm ²)	618,0	23,3 W/m ²	960,0
12	MRT-Flur	33,9	1	33,9	15,0 m ³ /(hm ²)	508,5	12,0 W/m ²	406,8
13	MRT-Technik	32,8	1	32,8	15,0 m ³ /(hm ²)	5.964,0	10.000,0 W/m ²	10.000,0
14	Entsorgungsraum	20,2	1	20,2	15,0 m ³ /(hm ²)	303,0	12,0 W/m ²	242,4
15	Archiv	36,7	1	36,7	15,0 m ³ /(hm ²)	550,5	12,0 W/m ²	440,4
16	Flur allgemein	105,4	1	105,4	15,0 m ³ /(hm ²)	1.581,0	12,0 W/m ²	1.264,8
17	Röntgen-Technikraum	32,8	1	32,8	15,0 m ³ /(hm ²)	4.473,0	7.500,0 W/m ²	7.500,0
	Summe			659,6		23.433,0		37.921,4

Tabelle 3.4.5/1: Flächen, Luftmengen und Gesamt-Kühllasten der Röntgendiagnostik bei nutzraumintegrierten Technikbereichen (einschl. solarer Gewinne)

Summierte Daten der Röntgendiagnostik:

Fläche	659,6 m ²
Gesamt-Kühllast	37.921,4 W
Zuluftvolumenstrom	23.433,0 m ³ /h

Die Kühllasten sind unverändert (vgl. Tab. 3.4.3/2). Die Luftmenge liegt jedoch um 5.243 m³/h, entsprechend 28,8 % über der vorher benötigten Luftmenge für zwei getrennte RLT-Anlagen (Technikräume bzw. sonstige Räume, s. o.). Mit den Berechnungsverfahren aus 3.4.4 wird der Energieverbrauch für die thermische Luftaufbereitung bestimmt.

In betriebsfreien Zeiten kann die Luftmenge nur zum Teil reduziert werden. In den Technikräumen muss die RLT-Anlage in Betrieb bleiben, ebenso wie in den CT- und MRT-Räumen und in einem Röntgenraum. Aus der Ermittlung der jahresdurchschnittlichen inneren Kühllast der Technikräume gemäß 3.4.4 werden die inneren Kühllasten dieser Räume im Tag- und im Nachtbetrieb bestimmt. Sie ergeben sich zu

Innere Kühllast CT-, MRT-, Röntgentechnikräume
im Tagbetrieb
in der betriebsfreie Zeit

$$\dot{Q}_{KiTechnT} = 15,75 \text{ kW}$$

$$\dot{Q}_{KiTechnN} = 5,25 \text{ kW}$$

Die inneren Kühllasten der sonstigen Räume werden als konstant angesetzt.

RLT-Anlage - thermische Luftaufbereitung

Es gilt im Tagbetrieb:

$$\dot{V}_{ZUT} = 23.433 \text{ m}^3/\text{h} = 6,51 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\dot{Q}_{TI2} = 16,416 \text{ kW}$$

$$\dot{Q}_{KiT} = 37,921 \text{ kW} - 22,5 \text{ kW} + 15,75 \text{ kW} = 31,17 \text{ kW}$$

Es gilt im Nachtbetrieb

$$\dot{V}_{ZUN} = 16.320,2 \text{ m}^3/\text{h} = 4,54 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\dot{Q}_{TI2} = 16,416 \text{ kW}$$

$$\dot{Q}_{KiN} = 5,25 \text{ kW}$$

	ϑ_{AUT}	h_{AUT}	t_T	Q_{UT}	ϑ_{AUN}	h_{AUN}	t_N	Q_{UN}
	°C	kJ/kg	h/Mo	kWh/Mo	°C	kJ/kg	h/Mo	kWh/Mo
Januar	1,95	10,9	372	57.738	1,45	10,8	372	36.428
Februar	2,64	11,8	336	51.090	1,88	11	336	32.759
März	5,93	16,3	372	50.555	4,58	14,8	372	32.781
April	10,17	22,9	360	40.306	7,33	20	360	27.027
Mai	14,27	30,5	372	31.294	11,93	27,8	372	20.689
Juni	17,48	37,8	360	20.577	14	34	360	14.323
Juli	18,53	41,3	360	15.882	15,38	37,1	360	11.502
August	18,24	41,2	372	16.508	15,13	36,9	372	12.059
September	16,02	36,5	360	22.167	13,13	33,1	360	15.103
Oktober	11,72	28,5	372	33.780	9,8	26	372	22.269
November	6,28	18,8	360	45.444	5,38	17,8	360	28.950
Dezember	3,08	13,5	372	54.142	2,49	12,5	372	34.854
Summe				439.482				288.744

Tabelle 3.4.5/2: Außentemperaturen, Außenluftenthalpien, Betriebszeiten und Energieverbrauch für die thermische Luftaufbereitung der Röntgendiagnostik bei nutzraumintegrierten Technikbereichen

Zu diesem Energieverbrauch ist der Energieverbrauch für die Beheizung der übrigen Räume hinzuzurechnen (siehe Tab. 3.4.4/3). Der Gesamtenergieverbrauch für die thermische Aufbereitung der Zuluft der sonstigen Räume der Röntgenabteilung bei nutzungsintegrierter Technik ergibt sich damit zu

$$Q_U = 767.005 \text{ kWh/a.}$$

Dies stellt gegenüber dem in 3.4.4/4 bestimmten Energieverbrauch für die thermische Aufbereitung der Zuluft eine Erhöhung um 422.335 kWh/a, entsprechend 122,5 % dar.

RLT-Anlage - Elektrischer Energieverbrauch für Luftförderung

Die Berechnung erfolgt nach 3.2.2.1, Gleichung (18) ff. Ausgangspunkt sind Differenzdruck Zuluftventilator $\Delta p_{Zu} = 300 \text{ Pa}$ und Differenzdruck Abluftventilator $\Delta p_{Ab} = 300 \text{ Pa}$

und gilt für eine Luftgeschwindigkeit in der Luftleitung von 3,5 m/s (s. 3.4.4). Bei den hier herrschenden ungünstigen Installationsverhältnissen erhöht sich die Luftgeschwindigkeit auf 5,5 m/s. Damit gelten folgende Parameter für die Bestimmung des Verbrauches an elektrischer Energie der Ventilatorantriebe.

$$\begin{aligned} \dot{V}_T &= 6,51 \text{ m}^3/\text{s} \\ \dot{V}_N &= 4,54 \text{ m}^3/\text{s} \\ \Delta p_{ZUT} &= 300 \text{ Pa} \\ \Delta p_{ABT} &= 300 \text{ Pa} \\ f_R &= \dot{V}_N / \dot{V}_T = 0,7 \\ \eta &= 0,64 \\ t_T &= 3.024 \text{ h/a} \end{aligned}$$

Der elektrische Energieverbrauch für die Luftförderung wird nach Gleichung (21) bestimmt.

$$Q_V = \left(\frac{1}{0,64} \cdot (3.024 \text{ h/a} \cdot 6,51 \text{ m}^3/\text{s} \cdot (300 \text{ Pa} + 300 \text{ Pa}) + (365 \text{ d/a} \cdot 24 \text{ h/d} - 3.024 \text{ h/a}) \cdot 6,51 \text{ m}^3/\text{s} \cdot 0,7 \cdot (300 \text{ Pa} \cdot 0,7^2 + 300 \text{ Pa} \cdot 0,7^2)) \right) \cdot \frac{1}{1.000}$$

$$Q_V = 30.463 \text{ kWh/a}$$

Elektrischer Energieverbrauch für Beleuchtung, Elektrischer Energieverbrauch für Geräte, Energieverbrauch für Warmwasser

Hier ergeben sich durch die nutzraumintegrierte Anordnung der CT-, MRT- und Röntgen-Technikbereiche keine Veränderungen. Damit ergibt sich ein neues Bild des Energieverbrauches.

	Energieverbrauch		Primärenergie-Faktor	Primärenergieverbrauch		Energiekosten		
	absolut kWh/a	relativ %		absolut kWh/a	relativ %	spezifisch €/kWh	absolut €/a	relativ %
Thermische Energie für Luftaufbereitung	767.005	84,6	1,10	843.706	67,0	0,0227	17.411	44,2
Elektrische Energie für Luftförderung	30.463	3,4	3,00	91.389	7,3	0,1591	4.847	12,3
Elektrische Energie für Beleuchtung	16.239	1,8	3,00	48.717	3,	0,1591	2.584	6,6
Elektrische Energie für Geräte	91.401	10,1	3,00	274.203	21,8%	0,1591	14.542	36,9
Thermische Energie für Warmwasser	1.731	0,2	1,10	1.904	0,2	0,0227	39	0,1
Summe	906.839	100,0		1.259.919	100,0		39.422	100,0

Tabelle 3.4.5/3: Energieverbrauch, Primärenergieverbrauch, Energiekosten der Röntgendiagnostik bei nutzraumintegrierten Technikbereichen

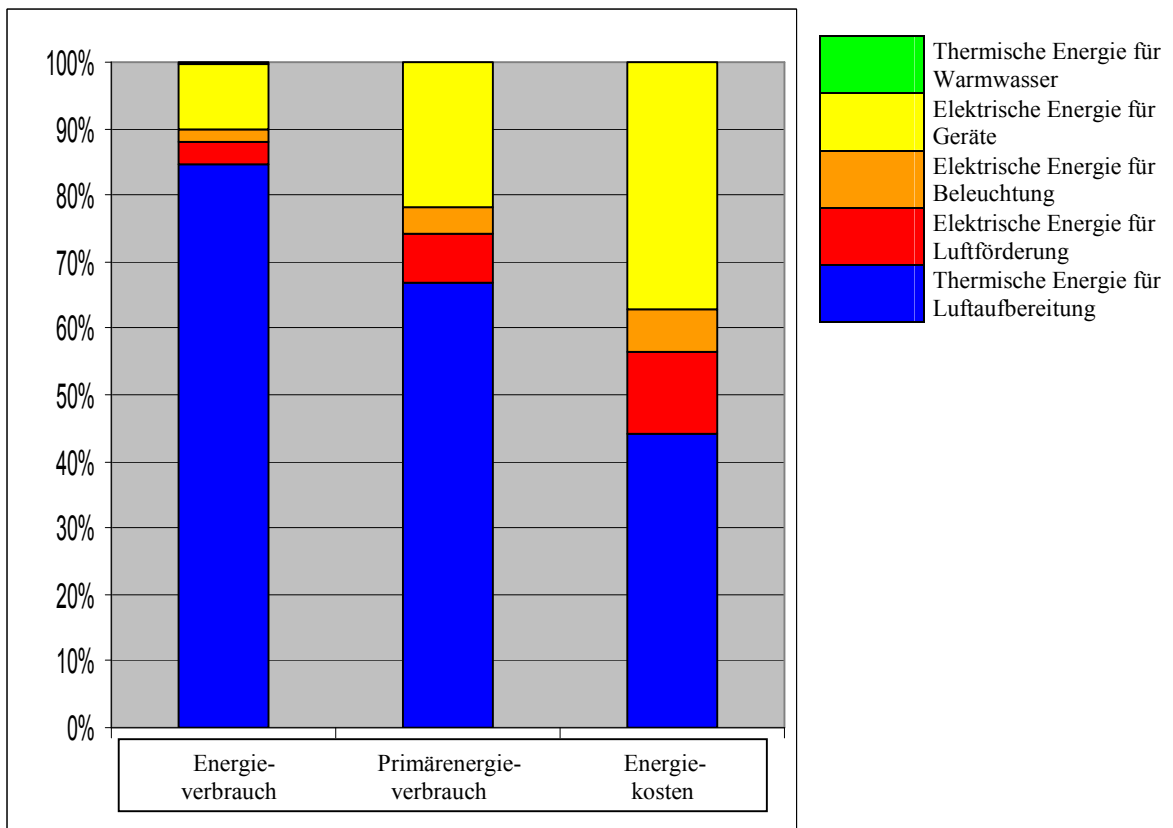


Abbildung 3.4.5/1: Säulendiagramm Energieverbrauch, Primärenergieverbrauch, Energiekosten der Röntgendiagnostik bei nutzraumintegrierten Technikbereichen

Es ist festzustellen, dass der Energieverbrauch stark ansteigt, wenn die Technikräume in die Nutzräume integriert werden. Gegenüber dem Ausgangswert ist ein Anstieg um 432.099 kWh/a zu verzeichnen, der im Wesentlichen auf die thermische Luftaufbereitung zurück zu führen ist. Der Anteil ist dort von 72,6 % auf 84,6 % gestiegen. Beim Primärenergieverbrauch beträgt die Steigerung 493.861 kWh/a, entsprechend 64,5 % und bei den Energiekosten beträgt sie 11.140 €/a, entsprechend 39,4 %. Die relative Steigerung fällt für die drei Bereiche nicht gleich aus, da die Erhöhung in erster Linie bei dem thermischen und nicht beim elektrischen Energieverbrauch stattfindet.

3.4.6 Auswertung

Die röntgendiagnostischen Abteilungen stellen in einem Krankenhaus eine der wichtigsten Säulen der diagnostischen Arbeit dar. Sie sind gekennzeichnet durch einen sehr hohen medizintechnischen Geräteaufwand. Hier sind in erster Linie konventionelle Röntgengeräte, Computertomographen (CT) und Magnetresonanztomographen zu nennen. Sie haben Schalt-, Steuerungs- und Auswertungsanlagen, die sehr hohe elektrische Anschlussleistungen haben und daher ebenso hohe Abwärmelasten hervorrufen. Diese Lasten müssen abgeführt werden, um die Funktion der Geräte nicht zu gefährden. Hier liegt der Aufgabenschwerpunkt für

die technische Gebäudeausrüstung. Daneben sind auch hygienische Anforderungen zu erfüllen, obwohl in der Röntgendiagnostik üblicherweise keine besonderen Anforderungen gelten (Raumklasse II nach DIN 1946/4 (03/1999)). Diese Frage hängt von den in den Untersuchungsräumen vorgesehenen Tätigkeiten ab.

Das architektonische Konzept muss hierauf eingehen und primär die Erfüllung der funktionalen Anforderungen sicherstellen. Das Raumkonzept muss die Funktionsbereiche voneinander trennen und gleichzeitig gewährleisten, dass die Teilbereiche der Röntgendiagnostik miteinander arbeiten können und die hygienischen Aspekte berücksichtigt werden. Darüber hinaus ist es notwendig, dass für die technische Gebäudeausrüstung ausreichend Flächen und Bereiche geschaffen werden.

Die Untersuchungsräume sollen so weit wie möglich natürlich belüftet und belichtet werden. Nur, wenn hygienische Gesichtspunkte zu berücksichtigen sind, ist eine künstliche Belüftung vorzusehen. Die Räume sollten dann in den Innenbereich gelegt werden, um sie von äußeren Lasten frei zu halten.

Der Lastschwerpunkt in der Röntgendiagnostik liegt eindeutig bei den Technikräumen der Diagnosegeräte. Hier treten extrem hohe Abwärmeleistungen auf. Es zieht gravierende Steigerungen des Energieverbrauches nach sich, wenn diese Lasten in Nutzräumen auftreten, da dann die gesamte Luftmenge auf den erforderlichen Zuluftpunkt gebracht und die Luftmengen wegen der kleineren Zulufttemperaturdifferenzen erhöht werden müssen.

Der Einfluss der äußeren Kühllasten, insbesondere der solaren Gewinne ist dagegen gering, da sie nur in wenigen Räumen auftreten und relativ hohe Raumtemperaturen gefahren werden müssen. Die Ausrichtung der Fassaden spielt daher nur eine untergeordnete Rolle. Äußerer Sonnenschutz und/oder Blendschutz bzw. Verdunkelungseinrichtungen sollten dennoch vorgesehen werden.

Mit dem Entwurf des Architekten müssen die Voraussetzungen dafür geschaffen werden, den Energieverbrauch so weit wie möglich zu senken. Wesentliche Kriterien sind dabei:

- Prüfung und Festlegung, welche Untersuchungsräume eine künstliche Belüftung benötigen. Verlagerung dieser Räume in den Innenbereich.
- Kapselung der Bereiche, in denen sehr hohe innere thermische Lasten anfallen. Schaffung von entsprechenden Technikräumen, möglichst im Innenbereich.
- Räume, die künstlich belüftet werden müssen, sind in den Innenbereich zu verlagern.
- Räume, die eine künstliche Belüftung, aber eine natürliche Belichtung benötigen, erhalten äußeren Sonnenschutz, Sonnenschutzgläser und/oder Verdunkelungseinrichtungen, sofern dies aufgrund der Himmelsrichtung nicht ohnehin notwendig ist.

- Aktivierung von Speichermassen in Räumen mit hohen inneren und äußeren Wärmegewinnen.
- Ausreichend Platz für die gebäudetechnischen Installationen. Hier gelten die gleichen Grundsätze wie in der OP-Abteilung (vgl. 3.2.2.3), also
 - genügend Platz in den abgehängten Decken (Abhängehöhe $\geq 1,25$ m)
 - kurze Wege zwischen RLT-Zentrale und Versorgungsbereich
 - ausreichend bemessene Flächen und Höhen in den RLT-Zentralen.
 Die RLT-Anlagen können dann mit geringen Luftgeschwindigkeiten und somit mit geringen Widerständen ausgelegt werden, wodurch der Verbrauch an elektrischer Energie für die Luftförderung minimiert wird.

Der ungünstigste Fall tritt ein, wenn die Technikbereiche in Nutzräume integriert sind (siehe 3.4.5). Der günstigste Fall liegt vor, wenn die CT-, MRT- und Röntgentechnikbereiche in eigenen Räumen untergebracht sind, die Untersuchungsräume weitgehend natürlich belüftet sind und die künstlich zu belüftenden Bereiche im Innenbereich angeordnet sind (siehe 3.4.4). Daraus ergibt sich das beeinflussbare Potenzial (siehe Tab. 3.4.5/3 und 3.4.4/4):

- beim Energieverbrauch absolut

$$\Delta Q = 906.839 \text{ kWh/a} - 474.740 \text{ kWh/a}$$

$$\underline{\Delta Q = 432.099 \text{ kWh/a}}$$
- beim Primärenergieverbrauch absolut

$$\Delta Q_P = 1.259.919 \text{ kWh/a} - 766.058 \text{ kWh/a}$$

$$\underline{\Delta Q_P = 493.861 \text{ kWh/a}}$$
- bei den Energiekosten

$$\Delta K = 39.422 \text{ €/a} - 28.282 \text{ €/a}$$

$$\underline{\Delta K = 11.140 \text{ €/a}}$$

Damit steht ein nicht unerhebliches Potenzial zur Verfügung, den Energieverbrauch, den Primärenergieverbrauch und die Energiekosten zu beeinflussen. Durch den Entwurf nicht veränderbar ist der Energieverbrauch, der durch die inneren Lasten der medizintechnischen Geräte entsteht. Beeinflussbar sind in erster Linie der Energieverbrauch für die thermische Luftaufbereitung und für die Luftförderung. Die gebäudetechnischen Anlagen sind vom TGA-Planer durch die Auswahl und Konzeption der RLT-Anlagen und der Energierückgewinnungssysteme zu optimieren. Der architektonische Entwurf muss hierfür die notwendigen Flächen und Voraussetzungen schaffen.

Flächenbezogene Energieaufwandszahlen

Nachfolgend werden auch hier flächenbezogene Energieaufwandszahlen bestimmt.

Fall A: energieoptimierte Technikbereiche

Primärenergieverbrauch: $Q_{PrA} = 766.058 \text{ kWh/a}$ (s. Tab. 3.4.4/4)

Fläche Röntgenabteilung: $A_R = 1.063,4 \text{ m}^2$ (s. Tab. 3.3.6/1)

$$E_{AA} = \frac{Q_{PrA}}{A_R} = \frac{766.058 \text{ kWh/a}}{1.063,4,0 \text{ m}^2}$$

$$\underline{E_{AA} = 720 \text{ kW/h/(m}^2\text{a)}}$$

Fall B: nutzraumintegrierte Technikbereiche

Primärenergieverbrauch: $Q_{PrB} = 1.259.919 \text{ W}$ (s. Tab. 3.4.5/3)

Fläche Röntgenabteilung: $A_R = 1.063,4 \text{ m}^2$

$$E_{AB} = \frac{Q_{PrB}}{A_R} = \frac{1.259.919 \text{ kWh/a}}{1.063,4 \text{ m}^2}$$

$$\underline{E_{AB} = 1.185 \text{ kWh/(m}^2\text{a)}}$$

Der Primärenergieverbrauch liegt im Fall B um ca. 64,5 % höher. Das Einsparpotenzial wird für die gesamte Lebensdauer der Röntgenabteilung festgeschrieben. Die dynamische Betrachtung mit der Kapitalwertmethode gibt Aufschluss, welches finanzielle Potenzial darin enthalten ist (vgl. 3.2.4).

Nach Gleichung (39) ergibt sich ein Kapitalwert von

$$\underline{C_O = 157.007 \text{ €}}$$

Der Betrag ist im Vergleich zum Einsparpotenzial der anderen Abteilungen relativ gering. Trotzdem ist es eine erhebliche Summe, die für energiesparende Maßnahmen verwendet werden kann. Betriebswirtschaftlich ist mit geringen Energiekosten immer eine Reduktion der Fixkosten verbunden. In Anbetracht von steigenden Energiepreisen und einer zunehmend unsicheren Versorgungslage kommt diesem Aspekt eine immer größere Bedeutung zu.

3.5 Pflegestation

3.5.1 Funktionen, Ausstattung, Allgemeines

Innerhalb eines Krankenhauses gibt es kaum einen Bereich, der vom Patienten so intensiv wahrgenommen und erlebt wird wie die Pflegestation, auf der er liegt. Hier verbringt er die meiste Zeit seines Aufenthaltes im Krankenhaus, hier hat er die meisten und wichtigsten Sozialkontakte, hier erlebt er seinen Genesungsprozess. Die Pflegestation ist für ihn eine Art Ersatz-Zuhause, quasi seine „Wohnung“.

Darüber hinaus hat der Patient hier einen sehr viel engeren Bezug und häufigere Berührungspunkte zu den ihn betreuenden Mitarbeitern des Krankenhauses, vor allem natürlich zu den Pflegekräften, die ihrerseits ebenso nirgendwo anders im Krankenhaus einen so persönlichen Bezug zu den ihnen anvertrauten Patienten haben. Sie werden von der Ankunft und Aufnahme auf der Station über praktisch alle Phasen ihres Aufenthaltes, während der Genesung oder auch im Sterben von ihnen begleitet.

Den Pflegestationen kommt daher eine ganz besondere Bedeutung zu, ihnen gilt ein sehr spezielles planerisches Interesse, das sich, stärker als in den anderen Bereichen, an den Bedürfnissen des Patienten orientieren muss und bei dem die funktionellen Aspekte eine geringere Gewichtung haben. Es kommt wesentlich stärker darauf an, für die Patienten eine angenehme und wohnliche Atmosphäre zu schaffen

Der Begriff der Pflegestation ist dabei nicht klar umrissen und eindeutig definiert. Die RKI-Richtlinie differenziert zwischen Pflegeeinheiten und Spezialpflegeeinheiten⁵⁹. Letztere werden nochmals unterteilt in Pflegeeinheiten für Wöchnerinnen und Neugeborene, Kinder, chronisch Kranke und psychisch Kranke⁶⁰. Daneben werden in einem eigenen Kapitel die Intensivstationen behandelt (siehe Abschnitt 3.3). Es findet hier also eine Negativ-Abgrenzung statt. Der Begriff Pflegeeinheit wird als Oberbegriff benutzt, die Spezialpflegeeinheiten als Untergruppierung geführt und Intensivpflegeeinheiten aufgrund ihrer besonderen Aufgabe und Ausstattung nicht zu diesen Einheiten gezählt.

Der Begriff der Normalpflege findet sich bei Dirichlet/Labryga/Poelzig/Schlenzig⁶¹, wobei dort lediglich auf eine Definition von Eichhorn Bezug genommen wird. Danach ist der Begriff relativ unscharf umrissen, kennzeichnet jedoch im wesentlichen eine Pflege von bettlägerigen Patienten, die „nur einer normalen pflegerischen Betreuung sowie einer der Intensität nach variierenden ärztlichen Betreuung bedürfen und nicht in der Lage sind, für ihre Grundbedürf-

⁵⁹ RKI-Richtlinie für Krankenhaushygiene und Infektionsprävention, Abschnitt 4.3.1

⁶⁰ RKI-Richtlinie für Krankenhaushygiene und Infektionsprävention, Abschnitt 4.3.1, Nr. 5

⁶¹ Dirichlet/Labryga/Poelzig/Schlenzig, Krankenhausbau, Maßkoordination-Entwurfsstrategie-Anwendungsbeispiele, 1979

nisse selbst zu sorgen.⁶² Weiter wird die Normalpflege zur Spezialpflege abgegrenzt, wobei Ersteres eine Teilleistung von Zweitem ist. Der Spezialpflege zuzuordnen sind danach die Wöchnerinnen-, Neugeborenen-, Säuglings-, Kinder- und Infektionskrankenpflege sowie die Pflege von strahlenbehandelten und psychisch kranken Patienten⁶³. Die Intensivpflegebereiche werden auch hier als selbstständige Einheiten geführt.

Sowohl in der RKI-Richtlinie als auch bei Dirichlet/Labryga/Poelzig/Schlenzig wird also zwischen Pflegeeinheiten bzw. Normalpflegestationen einerseits und Spezialpflegestationen andererseits unterschieden. Wesentlichstes Unterscheidungsmerkmal ist die Pflegeaufgabe, die sich nach den Patienten richtet. Die Pflegebereiche werden dabei in der Regel nach Fachgebieten gegliedert, was auch unter hygienischen Gesichtspunkten vorteilhaft ist.

Die Aufgabe der Pflege im Krankenhaus ist dabei im ganz allgemeinen Sinne die Hilfeleistung bei hilfsbedürftigen Menschen im medizinischen Kontext⁶⁴. Der International Council of Nurses (ICN) hat die Pflege wie folgt definiert: „Pflege umfasst die eigenverantwortliche Versorgung und Betreuung, allein oder in Kooperation mit anderen Berufsangehörigen, von Menschen aller Altersgruppen, von Familien oder Lebensgemeinschaften, sowie von Gruppen und sozialen Gemeinschaften, ob krank oder gesund, in allen Lebenssituationen. Pflege schließt die Förderung der Gesundheit, Verhütung von Krankheiten und die Versorgung und Betreuung kranker, behinderter und sterbender Menschen ein.“⁶⁵

Die im Zusammenhang mit der Pflege in Krankenhäusern zu erbringenden Leistungen leiten sich aus dem letzten Satz der ICN-Definition ab. Es sind sehr umfassende Leistungen, die den ganzen Menschen betreffen und im Zusammenhang mit der Erkrankung des Patienten notwendig werden. Es lassen sich mehrere Teilgebiete unterscheiden, die in der Regel von den Pflegenden abgedeckt werden müssen:

- Tätigkeiten, die sich aus der medizinischen Behandlung ergeben, um einen möglichst optimalen Genesungsprozess zu unterstützen, z. B.:
 - Verbände anlegen und wechseln
 - Verabreichen von Medikamenten
 - Anlegen, Einstellen, Überwachen und Entfernen von Überwachungsgeräten
 - Feststellung von Körperfunktionen (Blutdruck, Temperatur, Puls, Atemtätigkeit)
 - Überwachung des medizinischen Behandlungsplans

⁶² Dirichlet/Labryga/Poelzig/Schlenzig, Krankenhausbau, Maßkoordination-Entwurfsstrategie-Anwendungsbeispiele, 1979, Seite 227

⁶³ Dirichlet/Labryga/Poelzig/Schlenzig, Krankenhausbau, Maßkoordination-Entwurfsstrategie-Anwendungsbeispiele, 1979, Seite 226

⁶⁴ http://de.wikibooks.org/wiki/Pflege:_Pflegedefinition

⁶⁵ <http://www.dbfk.de/verband/pflege-definition-icn.html>

- Tätigkeiten zur Versorgung des Patienten, zu denen er selbst nicht in der Lage ist. Dies muss nicht unbedingt mit der Erkrankung im Zusammenhang stehen, die zu seinem Krankenhausaufenthalt geführt hat. z. B.:
 - Verabreichen von Verpflegung, ggf. Füttern
 - Waschen, Duschen, Baden, Hilfestellung bei der Toilettenbenutzung
 - Hilfestellung beim An- und Auskleiden
 - Hilfestellung beim Aufstehen, Hinlegen, Setzen
- Serviceleistungen, die der Patient wegen seiner Erkrankung nicht selbst erbringen kann, z. B.:
 - Begleitung zu Behandlungen,
 - Umlagerung in ein anderes Bett
 - ggf. Besorgungen (Zeitungen, Bücher o. ä.)
- Soziale Leistungen, z. B.:
 - Ansprechpartner für den Patienten, Angehörige und Besucher
 - Beratung des Patienten
 - Vermitteln von sozialen Leistungen anderer Sozialträger

Daneben wird ein Teil der ärztlichen Leistungen in den Pflegestationen erbracht, z. B. manuelle Untersuchungen ohne medizintechnische Geräte, Besprechungen mit dem Patienten und dem Pflegepersonal, Festlegung des Behandlungsplans etc..

Die Grenzen und Übergänge sind sicher fließend. Die Gewichtung der Leistungen ist äußerst unterschiedlich und von der Erkrankung und dem Zustand des Patienten abhängig. Trotzdem müssen alle diese Leistungen von den Pflegenden erbracht werden und in den Pflegestationen möglich sein. Dabei spielt es keine Rolle, ob es sich um eine Normal- oder eine Spezialpflegestation handelt.

Im Unterschied zu den anderen Stationen und Abteilungen liegt der Schwerpunkt der Arbeit am Patienten hier jedoch eindeutig bei den Pfllegetätigkeiten und in einem weitaus geringeren Maße in der Therapie. Diesem Umstand müssen auch der Entwurf und die bauliche Gestaltung Rechnung tragen. Der größte Raumbedarf liegt daher bei den Patientenzimmern und erst in zweiter Linie bei Funktionsräumen.

Hinweise zum Raumbedarf sind wiederum in der RKI-Richtlinie für Krankenhaushygiene und Infektionsprophylaxe enthalten⁶⁶. Danach gehören zu einer Pflegeinheit:

Krankenzimmer mit Sanitäreinrichtungen

Die Krankenzimmer können sowohl als Ein- wie auch als Mehrbettzimmer konzipiert werden. Einbettzimmer bieten die Möglichkeit der Isolation von Patienten. Darüber hinaus wird seitens der Patienten häufiger der Wunsch nach einer Unterbringung in Einzelzimmern geäußert. Der Patient hat hier mehr Ruhe, da

⁶⁶ RKI-Richtlinie für Krankenhaushygiene und Infektionsprävention, Abschnitt 4.3.1, Nr. 4

Störungen, z. B. durch Besuche oder Versorgungstätigkeiten nur ihm gelten. Einzelzimmer erfordern mehr Fläche pro Bett und der Betreuungs- und Pflegeaufwand ist höher.

Mehrbettzimmer bieten dem Patienten mehr Möglichkeiten zu sozialen Kontakten und es findet eine Art gegenseitiger Überwachung der Patienten statt. Veränderungen des Zustandes von Patienten werden so u. U. früher bemerkt, sodass auch eher eingegriffen werden kann. Nachteilig ist, dass es häufigere Störungen gibt und ein gewisses Konfliktpotenzial durch die gemeinsam genutzten Einrichtungen, z. B. Fernseher, Sanitäreinrichtungen oder durch die unterschiedlichen Charaktere und Verhaltensweisen der Patienten gibt.

Unter pflegewirtschaftlichen Gesichtspunkten sind Mehrbettzimmer vorteilhafter als Einzelzimmer. In der Entstehungszeit der Krankenhäuser bestanden die Pflegebereiche im Wesentlichen aus großen Krankensälen (vgl. Abb. 3.1/1). Es setzte jedoch relativ früh ein Trend zu kleineren Krankenzimmern mit immer weniger Patienten ein. Mehrbettzimmer haben heute üblicherweise zwei oder drei Betten, 4-Bettzimmer sind kaum noch zu finden. Insgesamt ist allerdings ein zunehmender Wunsch nach Unterbringung in Einbettzimmern zu verzeichnen. Dieser Trend ist schon in den 70er Jahren des letzten Jahrhunderts festgestellt worden⁶⁷ und es ist davon auszugehen, dass er sich bis heute wegen der zunehmenden Individualisierung noch verstärkt hat.



Abbildung 3.5.1/1: Krankenzimmer als Einbettzimmer⁶⁸

⁶⁷ Dirichlet/Labryga/Poelzig/Schlenzig, Krankenhausbau, Maßkoordination-Entwurfsstrategie-Anwendungsbeispiele, 1979, Seite 235

⁶⁸ www.ulrici-kliniken.de/typo3temp/d487da086d.jpg



Abbildung 3.5.1/2: Krankenzimmer als Zweibettzimmer⁶⁹

Letztlich ist die Frage, ob ein Patient in einem Ein- oder Mehrbettzimmer untergebracht werden soll, nur individuell zu entscheiden. Sie richtet sich nach dem Zustand und der allgemeinen Verfassung des Patienten, nach der Art der Erkrankung, nach dem erforderlichen Pflegaufwand, nach dem Behandlungsplan und ganz entscheidend nach dem Wunsch des Patienten. Eine allgemein gültige Antwort lässt sich nicht finden.

Ergänzend ist an dieser Stelle anzumerken, dass eine Unterbringung in einem Einzelzimmer in der Regel eine zusätzliche Vergütung bedeutet, die von den gesetzlichen Krankenkassen nicht übernommen wird. Die Patienten dieser Versorgungsträger werden deshalb üblicherweise in Mehrbettzimmern untergebracht. Patienten, die einer privaten Krankenkassen angehören oder eine private Zusatzversicherung haben, können üblicherweise ein Einzelzimmer verlangen, das dann auch von ihrer Krankenkasse bezahlt wird.

Eine Pflegestation sollte deshalb immer sowohl Ein- als auch Mehrbettzimmer haben, um den unterschiedlichen Patientenanforderungen gerecht werden zu können. Die RKI-Richtlinie sieht mindestens 10 % der Betten in Einzelzimmern vor⁷⁰. Hier finden sich auch Hinweise zu den Abstandsmaßen. Wegen des stärkeren Wunsches der Patienten nach Unterbringung in Einbettzimmern sollte der Anteil jedoch deutlich darüber liegen.

⁶⁹ www.klinik-schwarzach.de/.../images/pat2.JPG

⁷⁰ RKI-Richtlinie für Krankenhaushygiene und Infektionsprävention, Abschnitt 4.3.1, Nr. 3

Die Sanitäreinrichtungen sollten aus hygienischen Gründen im Raumverbund mit den Krankenzimmern stehen⁷¹. Sie werden dann nur von den Patienten eines Krankenzimmers benutzt, sodass das Risiko von Kreuzkontaminationen stark reduziert ist.

Patientenaufenthalts- und Besucherraum

Der Raum dient in erster Linie der Pflege sozialer Kontakte und bietet den dem Patienten die Möglichkeit, eine gewisse Abwechslung in seinen ansonsten oft recht eintönigen Aufenthalt zu bringen. Der Patient kann den Raum nur nutzen, wenn er aufstehen darf bzw. kann. Der Raum sollte wohnlich gestaltet sein, ausreichend Sitzgelegenheiten bieten, Ablageflächen, Zeitschriftenständer haben und ausreichend belichtet sein.

Patientenbad/bäder

In den Sanitärräumen der Patientenzimmer können keine Badewannen untergebracht werden. Wannentbäder, die häufig auch aus therapeutischen Gründen notwendig sind, können deshalb nur in den Patientenbädern genommen werden. Der Raum sollte mit einer dreiseitig begehbaren Badewanne, einem Waschtisch, einem WC und ggf. einer bodengleichen Dusche ausgestattet sein. Die Badewanne benötigt eine Hebevorrichtung für nicht gehfähige Patienten. Die anderen Sanitäröbjekte sollten behindertengerecht, insbesondere für Rollstuhlfahrer, ausgeführt werden.



Abbildung 3.5.1/3: Patientenbad/Stationsbad⁷²

⁷¹ RKI-Richtlinie für Krankenhaushygiene und Infektionsprävention, Abschnitt 4.3.1, Nr. 3

⁷² www.burggraf.at/images/altenhkrankenhabtenau02.jpg

Reiner Arbeitsraum

Der Raum wird für die Vorbereitung von Infusionen, Injektionen, Verbänden, Medikamentendosierungen u. ä. benötigt. Zum Teil werden hier auch reine Arbeitsmaterialien gelagert. Es werden ausreichend Arbeitsflächen und Schränke benötigt.

Unreiner Arbeitsraum

Hier werden unreine Arbeitsvorgänge erledigt, z. B. Entsorgung im Steckbeckengerät und von Einwegmaterialien z. B. schmutzige Verbände, Kanülen, Spritzen, Windeln etc.. Der Raum benötigt ein Steckbeckengerät sowie ausreichend Flächen zur Aufstellung von Entsorgungsbehältern.

Dienstraum oder –platz für Pflegekräfte

Hier werden im Wesentlichen Bürotätigkeiten wie Lagerung und Bearbeitung von Patientenakten, Telefonate, Erstellen von Dienstplänen, ggf. Dienstbesprechungen durchgeführt. Der Raum bzw. Bereich sollte auch Anlaufstelle für Patienten und Besucher sein. Er benötigt hierfür Ablage- und Schreibflächen, ggf. einen Tresen, EDV- und Telefonanschlüsse.

Arztdienstraum

Hier werden im Wesentlichen Bürotätigkeiten durchgeführt, z. B. Anfertigen von Berichten, Diktate u. ä.. Der Arzt kann hier ggf. auch Gespräche mit Patienten und Angehörigen führen. Der Raum benötigt eine Büroeinrichtung sowie EDV- und Telefonanschlüsse.

Untersuchungs- und Behandlungsraum

Der Raum ist für kleinere manuelle und visuelle Untersuchungen und Behandlungen, die nicht am Krankenbett durchgeführt werden sollen. Er hat ein niedriges hygienisches Niveau und benötigt neben einer Untersuchungs- und Behandlungsliege auch ausreichend Stau- und Ablageflächen für die benötigten Materialien und Geräte.

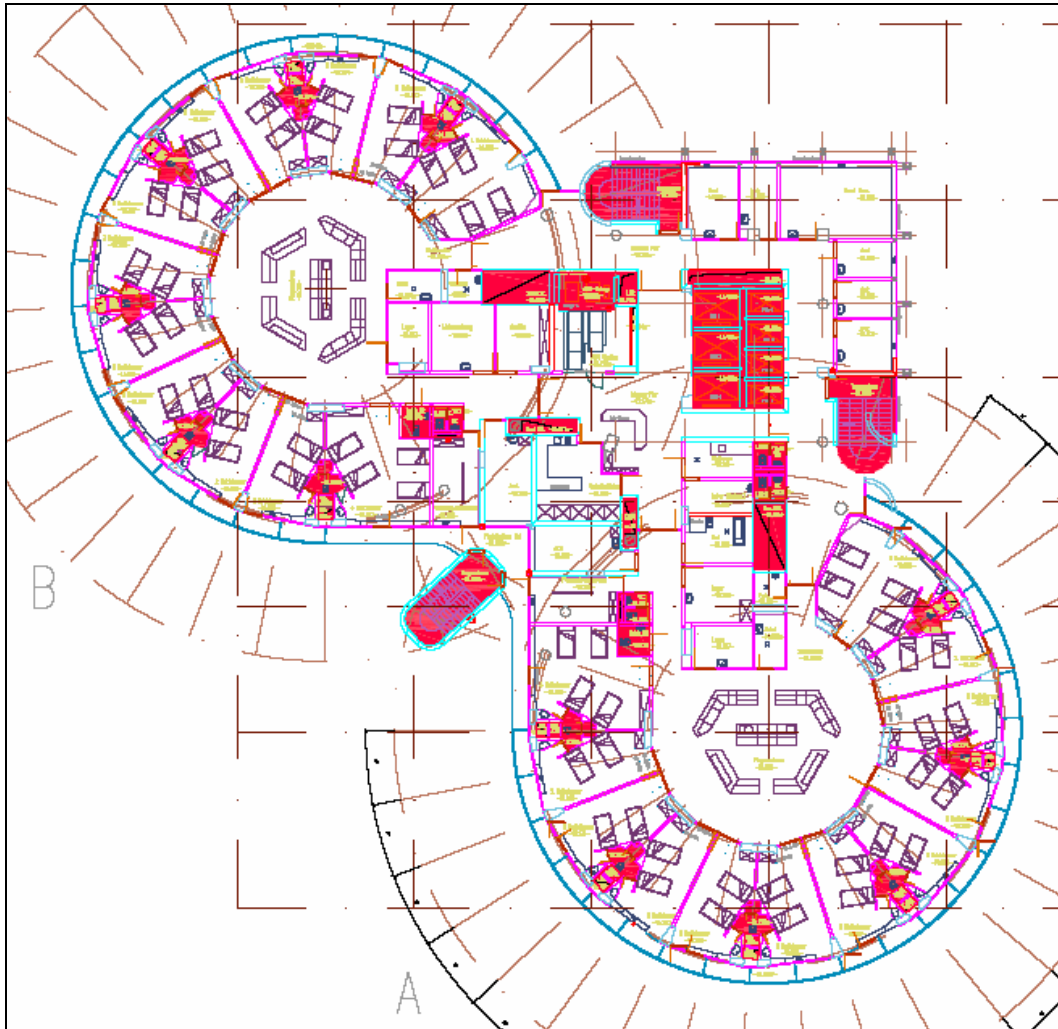


Abbildung 3.5.1/4: Pflegestation Universitätsklinik Münster,
Bettenturm Ost, Ebene 15,⁷³

⁷³ BLB NRW Münster, Planarchiv

Weitere Räume

Neben diesen wesentlichen in Pflegestationen benötigten Räumen werden noch weitere Flächen benötigt, insbesondere eine Stationsküche, Geräte- und Vorratsräume, ein Entsorgungsraum, ein Personalaufenthaltsraum, Personaltoiletten und ein Putzraum. Ein Raum für die Bettenaufbereitung und ein Personalumkleideraum werden dann auf der Station benötigt, wenn diese Funktionen nicht im Krankenhaus zentralisiert sind. Weitere Räume können entsprechend den individuellen Bedürfnissen notwendig werden. Mit den genannten Räumlichkeiten sind jedoch die wesentlichen Funktionen einer Pflegestation – unabhängig von ihrer speziellen Nutzung und fachgebietspezifischen Zuordnung zu realisieren.

Die technische Gebäudeausrüstung hat für die in einer Pflegestation zu erfüllenden Aufgaben eine wesentlich geringere Bedeutung als in den meisten anderen Stationen und Abteilungen eines Krankenhauses. Dies ist vor allem in dem niedrigeren Hygieneniveau begründet. Trotzdem ist zu prüfen, inwieweit gebäude-technische Anlagen notwendig sind und für welchen Zweck.

RLT-Anlage:

Eine RLT-Anlage ist aus hygienischen Gründen nicht erforderlich⁷⁴. Falls sie jedoch notwendig ist, ist sie nach DIN 1946/4 (03/1999) auszuführen. Die Notwendigkeit für eine RLT-Anlage kann sich insbesondere aus klimaphysiologischen Gründen ergeben, wenn die äußeren Lasten und/oder der Winddruck sehr hoch sind, sodass eine natürliche Lüftung nicht möglich ist.

In DIN 1946/4 (03/1999), Tab. 2 sind keine Angaben zum hygienischen Mindest-Außenluft-Volumenstrom in Normalpflegestationen enthalten. Für andere Pflegestationen schwanken die Angaben zwischen 10 und 30 m³/(h·m²). Sofern also aus klimaphysiologischen Gründen eine RLT-Anlage benötigt wird, ist die Zuluftmenge nach den Lasten zu bestimmen. Hilfsweise können ggf. Analogieschlüsse zu den in DIN 1946/4 (03/1999), Tab. 2 angegebenen Werten gezogen werden.

Beleuchtung:

Die Anforderungen an die Beleuchtung für Bettenzimmer sind in DIN 5035/3 (09/1988), Nr. 3.1 geregelt. Danach soll die Allgemeinbeleuchtung wohnlich sein und 100 lx betragen. Am Bettenplatz muss eine Lesebeleuchtung mit 200 lx auf Leseebene vorhanden sein. Für Untersuchungen und Behandlungen am Krankentbett soll die Nennbeleuchtungsstärke 300 lx in der Untersuchungsebene betragen. Für diese differenzierten Anforderungen werden mehrere Beleuchtungsanlagen benötigt, die getrennt geschaltet werden:

- Eine zweistufige Allgemeinbeleuchtung
- Eine spezielle Lesebeleuchtung
- Eine Orientierungsbeleuchtung für die Nacht unterhalb der Liegeebene

⁷⁴ RKI-Richtlinie für Krankenhaushygiene und Infektionsprävention, Abschnitt 4.3.1, Nr. 7

In den anderen Räumen der Pflegestationen richtet sich die Beleuchtungsstärke nach den Anforderungen an die Sehaufgabe und ist z. T. in DIN 5035/3 (09/1988), Tab. 2, geregelt:

Flure/Treppen Tag/Nacht	200/50 lx
Nasszellen, den Bettenräumen zugeordnet	100 lx
Toiletten	200 lx
Schmutzarbeitsräume	300 lx
Arzt-/Schwesterndienstzimmer	300 lx

Medizinische Gasversorgung:

Üblicherweise wird keine medizinische Gasversorgung benötigt. In manchen Stationen, z. B. für geriatrische Patienten oder für Säuglinge wird eine Sauerstoffversorgung vorgesehen. Die Notwendigkeit ist individuell mit dem Nutzer und dem Hygieniker abzustimmen.

Elektroversorgung:

Die Elektroversorgung hat keine speziellen Anforderungen zu erfüllen, da Untersuchungs- und Behandlungsgeräte standardmäßig nicht vorhanden sind. Trotzdem sind Anschlussmöglichkeiten am Patientenbett vorzusehen, da diese Geräte z. T. für die Therapie und Überwachung gebraucht werden. Die Elektroanlage der Krankenzimmer muss deshalb eine hohe Betriebssicherheit vorweisen. In den anderen Räumen der Pflegestationen wird die Elektroversorgung für den Betrieb von Geräten, z. B. Steckbeckengeräten, Spül- und Waschmaschinen, Kochgeräten etc. benötigt.

3.5.2 Laststruktur

Für die Laststruktur in Pflegestationen ist wesentlich, dass es keine krankenhausbedingte Notwendigkeit für eine RLT-Anlage gibt. Alle Räume der Station können daher natürlich belüftet werden, sofern keine klimaphysiologischen Gründe, eine zu große Raumtiefe, entwurfsspezifische Notwendigkeiten oder andere Gründe dagegen sprechen. Die natürliche Belüftung bedingt auch, dass eine natürliche Belichtung realisiert werden kann. Daher verbleibt als wesentliche von den gebäudetechnischen Anlagen abzuführende Last nur die Heizlast. Es gibt zwar in geringem Umfang auch innere Wärmequellen, die jedoch nicht abgeführt werden, sondern nur zur Verringerung der Heizlast, die von der Gebäudeheizung zu decken ist, beitragen.

Die Laststruktur ist daher recht einfach und beschränkt sich auf die Heizlast als bestimmende Last. Eine gänzlich andere Situation ergibt sich, wenn es künstlich belüftete und/oder klimatisierte Räume gibt. In diesem Fall müssen die inneren und äußeren Kühllasten von der RLT-Anlage abgeführt werden, sodass eine andere Gewichtung entsteht.

3.5.3 Referenz-Pflegestation

Für die Analyse der energetischen Struktur ist auch hier wieder die Modellbildung anhand einer Referenz-Pflegestation notwendig (vgl. 3.2.3.2). Sie basiert auf dem ermittelten Raumbedarf. Die Anzahl der Patientenbetten ist in diesem Zusammenhang die wichtigste Größe. Das Robert-Koch-Institut gibt eine Obergrenze von 40 Betten pro Station an⁷⁵. Bei Dirichlet/Labryga/Poelzig/Schlenzig findet sich eine Stationsgröße von 35 Betten, die zu unterschiedlichen Abteilungsgrößen zusammengefasst werden⁷⁶. Nach Neufert beträgt die Größe einer Abteilung, die einem Schwesterndienstplatz zugeordnet werden, 30-34 Patienten⁷⁷. Eine eher geringere Bettenanzahl pro Station findet sich häufig in der Realität:

- AKH Wien: max. 30 Betten pro Normalpflegestation⁷⁸
- Krankenhaus Nordwest GmbH, FFM: durchschnittlich 30 Betten pro Allgemeinpflegestation⁷⁹
- Heinrich-Braun-Krankenhaus Zwickau: 812 Betten auf 33 Stationen, entspricht 24,6 Betten pro Station⁸⁰
- Universitätsklinikum Münster, Zentralklinikum: 30 Betten pro Station⁸¹

Es werden 30 Betten für die Referenz-Pflegestation in einem konstruktiven Raster von 2 x 7,80 m zu Grunde gelegt, vgl. Dirichlet/Labryga/Poelzig/Schlenzig, Krankenhausbau, Maßkoordination-Entwurfsstrategie-Anwendungsbeispiele, 1979, Seite 244. Der Anteil der Betten in Einzelzimmern beträgt 20 %. Die Referenz-Pflegestation kann damit definiert werden.

⁷⁵ RKI-Richtlinie für Krankenhaushygiene und Infektionsprävention, Abschnitt 4.3.1, Nr. 1

⁷⁶ Dirichlet/Labryga/Poelzig/Schlenzig, Krankenhausbau, Maßkoordination-Entwurfsstrategie-Anwendungsbeispiele, 1979, Seite 233

⁷⁷ Neufert, Bauentwurfslehre, 35. Auflage, 1998, S. 543

⁷⁸ <http://www.akhwien.at/default.aspx?pid=790>

⁷⁹ http://www.krankenhaus-frankfurt.de/nwk/pflege_organisationsstruktur.htm

⁸⁰ <http://www.hbk-zwickau.de/klinikum/hbk.html>

⁸¹ Broschüre „Zentralgebäude der medizinischen Einrichtungen der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster“, 1986, Seite 20

Die Pflegestationen haben zum größten Teil natürlich belüftete und belichtete Räume. Lediglich die innen liegenden Nasszellen und der Flur benötigen eine künstliche Belichtung, die Nasszellen auch eine mechanische Entlüftung. Die Kühllasten brauchen nicht bestimmt zu werden, da sie nicht abgeführt werden und daher hierfür keine Energie aufgewendet wird.

Es ergeben sich folgende Flächen, Raumvolumina und Abluftmengen:

Nr.	Raum	Raumfläche m ²	Anz. d. Räume	Raumfläche gesamt	Raumhöhe m	Raumvolumen m ³	Luftwechselzahl h ⁻¹	Abluftvolumenstrom m ³ /h
1	1-Bett-Zimmer	12,5	6	74,8	3,0	224,3	0,0	0,0
2	2-Bett-Zimmer	16,9	12	202,3	3,0	607,0	0,0	0,0
3	Nasszellen Krankenzimmer	4,1	18	73,6	3,0	220,9	5,0	1.104,3
4	Arztdienstraum	24,4	1	48,8	3,0	146,5	0,0	0,0
5	Untersuchungsraum	24,4	1	48,8	3,0	146,4	0,0	0,0
6	Stationsbad	18,1	1	18,1	3,0	54,3	0,0	0,0
7	Stationsküche	18,1	1	18,1	3,0	54,3	0,0	0,0
8	Arbeitsraum - rein	18,1	1	18,1	3,0	54,3	0,0	0,0
9	Arbeitsraum - unrein	18,1	1	18,1	3,0	54,3	0,0	0,0
10	WC	24,4	1	24,4	3,0	73,2	0,0	0,0
11	Putzmittelraum	11,8	1	11,8	3,0	35,4	0,0	0,0
12	Entsorgungsraum	15,0	1	15,0	3,0	44,9	0,0	0,0
13	Dienstraum Pflegekräfte	10,7	1	10,7	3,0	32,1	0,0	0,0
14	Personalaufenthaltsraum	17,4	1	17,4	3,0	52,3	0,0	0,0
15	Geräte-/Vorratsraum	21,8	1	21,8	3,0	65,4	0,0	0,0
16	Flur	170,6	1	170,6	3,0	511,7	0,0	0,0
	Summe			743,6		2.230,9		1.104,3

Tabelle 3.5.3/1: Flächen, Raumvolumina, Abluftmengen Pflegestation

3.5.4 Energieverbrauch Pflegestation

Der Energieverbrauch in der Pflegestation entsteht zum einen durch die Beheizung der Räume. Zum anderen sind die Nasszellen zu entlüften. Es wird Abluft aus den Patientenzimmern gezogen, die entsprechend vorgeheizt ist. Der Abluftventilator benötigt elektrische Antriebsenergie. Alle Räume benötigen eine Beleuchtung, die jedoch wegen der natürlichen Belichtung nur wenig in Betrieb ist. Es werden nur wenige Geräte benötigt, sodass der elektrische Energieverbrauch hierfür ebenfalls nicht hoch ist. Warmwasser wird für die Körperpflege und die Reinigung der Station benötigt.

Energieverbrauch für die thermische Luftaufbereitung – Transmission

Heizlast (Berechnung analog zu 3.4.4):

$$\dot{Q}_{T12} = 34,728 \text{ kW} \cdot \frac{743,6 \text{ m}^2}{1.196,1 \text{ m}^2} = 21,68 \text{ kW}$$

$$\underline{\dot{Q}_{T12} = 21,68 \text{ kW}}$$

Dies entspricht einer spezifischen Heizlast von 29,04 W/m², was bei einem relativ kompakten Grundriss, einer Dämmung nach EnEV und einem durchschnittlichen Anteil von transparenten Außenflächen als realistisch anzusehen ist.

Der Energieverbrauch wird mit der durchschnittlichen monatliche Heizlast und den monatlichen Betriebsstunden bestimmt. Eine nächtliche Temperaturabsenkung ist wegen der durchgehenden Nutzung nicht realisierbar. Trotzdem ist zwischen Tag- und Nachtbetrieb zu differenzieren, da die Außenlufttemperaturen nachts sich vom Tagzustand unterscheiden.

Raumtemperatur Tagbetrieb

$$\vartheta_{RT} = 22 \text{ °C}$$

Raumtemperatur Nachtbetrieb

$$\vartheta_{RN} = 22 \text{ °C}$$

$$\dot{Q}_T = \dot{Q}_{T12} \cdot \frac{\vartheta_R - \vartheta_{AU}}{\vartheta_R - (-12 \text{ °C})}$$

	ϑ_{AUT} °C	t_T h/Mo	Q_{UT} kWh/Mo	ϑ_{AUN} °C	t_N h/Mo	Q_{UN} kWh/Mo
Januar	1,95	252	3.222	1,45	492	6.447
Februar	2,64	240	2.963	1,88	432	5.542
März	5,93	276	2.828	4,58	468	5.198
April	10,17	240	1.810	7,33	480	4.490
Mai	14,27	228	1.124	11,93	516	3.313
Juni	17,48	252	726	14	468	2.387
Juli	18,53	264	584	15,38	480	2.026
August	18,24	264	633	15,13	480	2.103
September	16,02	264	1.007	13,13	456	2.579
Oktober	11,72	252	1.652	9,8	492	3.827
November	6,28	252	2.526	5,38	468	4.960
Dezember	3,08	240	2.895	2,49	504	6.270
Summe		3.024	21.970		5.736	49.144

Tabelle 3.5.4/1: durchschnittliche monatliche Außentemperaturen, Betriebszeiten und Energieverbrauch statische Heizung Pflegestation

Der Gesamtenergieverbrauch beträgt

$$\underline{Q_{UT} = 71.114 \text{ kWh/a}}$$

Zur Plausibilitätsprüfung wird die Vollbetriebsstundenzahl ermittelt. Sie ergibt sich zu

$$B_{VH} = \frac{Q_{UT}}{\dot{Q}_{T12}} = \frac{71.114 \text{ kWh/a}}{21,68 \text{ kW}} = 3.280 \text{ h/a}$$

Dies ist ein realistischer Wert, der mit den Daten, wie sie sich aus VDI 2067/2 (12/1993) ergeben, vergleichbar ist. Er ist relativ hoch, was sich jedoch aus der fehlenden Absenkung im Nachtbetrieb erklärt.

Energieverbrauch für die thermische Luftaufbereitung – Lüftung

Die Belüftung der Räume erfordert ebenfalls einen Energieverbrauch, der von den statischen Heizflächen zu decken ist. Er ergibt sich aus der Luftwechselzahl, dem Raumvolumen und der durchschnittlichen Raum-/ Außenlufttemperaturdifferenz. Es ist zwischen den Nassräumen und den übrigen Räumen zu differenzieren, da erstere künstlich belüftet werden.

Der Lüftungswärmebedarf wird in Anlehnung an DIN 4701/1 (03/1983), Nr. 5.4.1.8, Gleichung (29), bestimmt. Der Gleichung liegt ein 0,5-facher Luftwechsel für natürlich belüftete Räume zu Grunde. In den Nassräumen ist der Luftwechsel 5-fach. Der Faktor in v. g. Gleichung (29) beträgt in den Nassräumen dann 1,7. Es ist zu unterscheiden zwischen den Nassräumen und den übrigen Räumen der Station. Bei den Nassräumen ist zudem ein Minderungsfaktor zu berücksichtigen, da die Entlüftung nur dann benötigt wird, wenn die Räume benutzt werden. Die Benutzungszeit wird mit 7,5 % der gesamten Tageszeit veranschlagt.

Ausgangsgleichung nach DIN 4701/1 (03/1983), Nr. 5.4.1.8, Gleichung (29):

$$\dot{Q}_{Lmin} = 0,17 \cdot V_R (\vartheta_i - \vartheta_a)$$

Mit

\dot{Q}_{Lmin} = Lüftungswärmebedarf in Watt

V_R = Raumvolumen in m³

ϑ_i = Innentemperatur (entspricht ϑ_R) in °C

ϑ_a = Außentemperatur (entspricht ϑ_{AU}) in °C

Die Gleichung wird erweitert um die Betriebszeiten und es wird weiter zwischen Tag- und Nachtbetrieb unterschieden. Damit ergibt sich folgende Gleichung:

$$Q_{UL} = 0,17 \cdot V_R \cdot ((\vartheta_R - \vartheta_{AUT}) \cdot t_T + (\vartheta_R - \vartheta_{AUN}) \cdot t_N) + 1,7 \cdot 10 \cdot V_{Rnass} \cdot f \cdot ((\vartheta_R - \vartheta_{AUT}) \cdot t_T + (\vartheta_R - \vartheta_{AUN}) \cdot t_N) \quad (46)$$

Für die Außentemperatur gilt die durchschnittliche Außentemperatur. Sie ergibt sich als nach Betriebsstunden gewichtete Tag- bzw. Nacht-Außentemperatur nach DIN 4710 (11/1982), Tab. 4.4.d.

Raumvolumen (vgl. Tabelle 3.5.3/1)	$V_R = 1.635,70 \text{ m}^3$
Durchschnittliche Raumtemperatur	$\vartheta_R = 22,00 \text{ °C}$
Durchschnittliche Außentemperatur Tagbetrieb	$\vartheta_{AUT} = 10,56 \text{ °C}$
Durchschnittliche Außentemperatur Nachtbetrieb	$\vartheta_{AUN} = 9,22 \text{ °C}$
Betriebszeit Tagbetrieb (vgl. Tab. 3.5.3/1)	$t_T = 3.024 \text{ h/a}$
Betriebszeit Nachtbetrieb (vgl. Tab. 3.5.3/1)	$t_N = 5.736 \text{ h/a}$
Raumvolumen Nassräume (vgl. Tabelle 3.5.3/1)	$V_{Rnass} = 220,90 \text{ m}^3$
Minderungsfaktor	$f = 0,075$

$$\begin{aligned}
Q_{UL} &= 0,17 \cdot 1.635,70 \text{ m}^3 \cdot ((22,00 \text{ }^\circ\text{C} - 10,56 \text{ }^\circ\text{C}) \cdot 3.024 \text{ h/a} \\
&\quad + (22,00 \text{ }^\circ\text{C} - 9,22 \text{ }^\circ\text{C}) \cdot 5.736 \text{ h/a}) \\
&\quad + 220,90 \text{ m}^3 \cdot 0,17 \cdot 10 \cdot 0,075 \cdot ((22,00 \text{ }^\circ\text{C} - 10,56 \text{ }^\circ\text{C}) \cdot 3.024 \text{ h/a} \\
&\quad + (22,00 \text{ }^\circ\text{C} - 9,22 \text{ }^\circ\text{C}) \cdot 5.736 \text{ h/a}) = 10.711,01 \text{ kWh/a}
\end{aligned}$$

$$\underline{Q_{UL} = 10.711 \text{ kWh/a}}$$

Der ermittelte Wert ist für die zu Grunde liegende Konzeption und für die heute erreichbaren Bauwerksdichtigkeiten als realistisch anzusehen.

Der Gesamtenergieverbrauch für die Beheizung setzt sich additiv aus dem Energieverbrauch für die Transmission und für die Lüftung zusammen.

$$\boxed{Q_U = Q_{UT} + Q_{UL}} \quad (47)$$

$$Q_U = 71.114 \text{ kWh/a} + 10.711 \text{ kWh/a}$$

$$\underline{Q_U = 81.825 \text{ kWh/a}}$$

Elektrischer Energieverbrauch für Luftförderung

In der Pflegestation werden nur die Nassräume mechanisch entlüftet. Es wird nicht zwischen Tag- und Nachtbetrieb unterschieden, da nachts keine Volumenstromreduzierung erfolgt. Die Nassräume werden einzeln entlüftet und die erforderlichen Differenzdrücke sind gering. Es ergibt sich:

$$\dot{V} = \text{Luftvolumenstrom} = V_R \cdot LW$$

n = Anzahl der Nassräume

Die Berechnung erfolgt analog zu 3.2.2.1. Gleichung (16) wird erweitert:

$$\boxed{Q_V = n \cdot V_R \cdot LW \cdot \Delta p \cdot t \cdot \frac{1}{\eta}} \quad (48)$$

$$Q_V = 18 \cdot 12,3 \text{ m}^2 \cdot 3,0 \text{ m} \cdot 5,0 \text{ h}^{-1} \cdot 150 \text{ Pa} \cdot 8.760 \text{ h/a} \cdot 0,075 \cdot \frac{1}{0,64} \cdot \frac{1}{1000}$$

$$\underline{Q_V = 511 \text{ kWh/a}}$$

Elektrischer Energieverbrauch für Beleuchtung

In der Pflegestation gibt es praktisch keine Bereiche, die nicht natürlich belichtet sind. Lediglich der Flur ist innen liegend und benötigt daher künstliches Licht während der Betriebszeit. Nachts und am Wochenende kann es abgeschaltet und nur bei Bedarf wieder eingeschaltet werden. Weiter sind die Nassräume der Patientenzimmer innen liegend und benötigen daher bei der Benutzung künstliches Licht.

Die Patientenzimmer sind natürlich belichtet. Die Beleuchtung braucht deshalb nur eingeschaltet zu werden, wenn das Tageslicht nicht ausreicht oder fehlt. Auch nachts wird Licht nur sehr selten, z. B. bei Untersuchungen oder anderen Arbeiten am Patienten, benötigt. Ansonsten steht nachts die Orientierungsbeleuchtung zur Verfügung. Eine ähnliche Situation liegt in den Arzt-, Untersu-

chungs- Schwesterndienst- und Personalaufenthaltsräumen vor. Die Benutzung der Beleuchtung ist somit in Pflegestationen sehr unterschiedlich sowohl bezüglich der Beleuchtungsanforderungen wie auch der Nutzung. Aus der installierten Beleuchtungsstärke ist kein direkter Rückschluss auf die Höhe des Energieverbrauches möglich.

Nachfolgend werden die erforderlichen maximalen Beleuchtungsstärken, die spezifischen Leistungen aus der Beleuchtung und die zugehörigen Flächen der Nutzräume aufgeführt. Daraus ergeben sich die Gesamtleistungen, die mit Minderungsfaktoren und mit der jährlichen Gesamtstundenzahl multipliziert werden und damit den Energieverbrauch für die Beleuchtung ergeben. Den Minderungsfaktoren liegen begründete Abschätzungen zu Grunde. Die spezifischen Leistungen wurden auf der Grundlage der in 3.2.3.3 – Elektrischer Energieverbrauch für Beleuchtung – bestimmt. Dort lagen 500 lx Beleuchtungsstärke zu Grunde, die auf die in den betrachteten Räumen der Pflegestation notwendige Beleuchtungsstärke durch Verhältnisbildung umgerechnet wurden.

Nr.	Raum	Raumfläche	Anz. der Räume	Raumfläche gesamt	erforderliche max. Beleuchtungsstärke	spezifische Leistung	Gesamtleistung	Minderungsfaktor	Gesamtjahresstunden	Energieverbrauch für Beleuchtung
		m ²			lx	W/m ²	W		h/a	kWh/a
1	1-Bett-Zimmer, Tagbetrieb	12,5	6	74,8	300	6,06	453,0	0,100	8.760	396,9
2	1-Bett-Zimmer, Nachtbetrieb	12,5	6	74,8	20	0,40	30,2	0,400	8.760	105,8
3	2-Bett-Zimmer, Tagbetrieb	16,9	12	202,3	300	6,06	1.226,1	0,100	8.760	1.074,0
4	2-Bett-Zimmer, Nachtbetrieb	16,9	12	202,3	20	0,40	81,7	0,400	8.760	286,4
5	Nasszellen Krankenzimmer	4,1	18	73,6	100	2,02	148,7	0,075	8.760	97,7
6	Arztdienstraum	24,4	1	24,4	300	6,06	147,9	0,200	8.760	259,2
7	Untersuchungsraum	24,4	1	24,4	500	10,10	246,4	0,250	8.760	539,7
8	Stationsbad	18,1	1	18,1	300	6,06	109,7	0,150	8.760	144,2
9	Stationsküche	18,1	1	18,1	300	6,06	109,7	0,400	8.760	384,6
10	Arbeitsraum-rein	18,1	1	18,1	300	6,06	109,7	0,250	8.760	240,3
11	Arbeitsraum-unrein	18,1	1	18,1	300	6,06	109,7	0,250	8.760	240,3
12	WC	24,4	1	24,4	200	4,04	98,6	0,075	8.760	64,8
13	Putzmittelraum	11,8	1	11,8	100	2,02	23,9	0,050	8.760	10,4
14	Entsorgungsraum	15,0	1	15,0	100	2,02	30,2	0,100	8.760	26,5
15	Dienststr. Pflegekräfte	10,7	1	10,7	300	6,06	64,8	0,500	8.760	283,7
16	Personalaufenthaltsr.	17,4	1	17,4	300	6,06	105,7	0,400	8.760	370,3
17	Geräte-/Vorratsraum	21,8	1	21,8	300	6,06	132,1	0,150	8.760	173,6
18	Flur	170,6	1	170,6	200	4,04	689,2	0,600	8.760	3.622,6
	Summe									8.321,1

Tabelle 3.5.4/2: Flächen, Beleuchtungsstärken, Gesamtleistungen und Energieverbrauch für Beleuchtung in der Pflegestation

Für die Nachtbeleuchtung in den Krankenzimmern wird sehr wenig Strom verbraucht, obwohl die Betriebszeiten sehr lang sind. Ansonsten ist ein hoher Energieverbrauch insbesondere im Flur zu verzeichnen, was sich aus der langen Betriebszeit erklärt.

Elektrischer Energieverbrauch für Beleuchtung:

$$Q_B = 8.321 \text{ kWh/a}$$

Elektrischer Energieverbrauch für Geräte

Auch der Energieverbrauch für Geräte lässt sich nur sehr schwer bestimmen. Für die Therapie am Krankenbett werden nur sehr wenige Geräte eingesetzt. In den Arbeitsräumen sind verschiedene Geräte installiert, z. B. Steckbeckenapparate. Daneben sind weitere Geräte für den allgemeinen Betrieb im Einsatz, z. B. Spülmaschinen in der Stationsküche, Computer für Büroarbeiten, Fernseher an den Patientenbetten. Die Betriebszeiten variieren jedoch sehr stark.

Der Energieverbrauch für die Geräte wird daher ähnlich wie bei der Beleuchtung bestimmt. Es werden jedoch keine spezifischen Leistungen bestimmt, sondern sofort Gesamtleistungen auf der Grundlage von begründeten Abschätzungen angesetzt.

Nr.	Raum	Raumfläche m ²	Anz. der Räume	Raumfläche gesamt m ²	Leistung pro Zimmer W	Gesamtleistung W	Min- derungs- faktor	Gesamt- jahres- stunden h/a	Energie- verbrauch für Geräte kWh/a
1	1-Bett-Zimmer	12,5	6	74,8	500,0	3.000,0	0,200	8.760	5.256,0
2	2-Bett-Zimmer	16,9	12	202,3	600,0	7.200,0	0,200	8.760	12.614,4
3	Nasszellen Krankenzimmer	4,1	18	73,6	300,0	5.400,0	0,020	8.760	946,1
4	Arztdienstraum	24,4	1	24,4	800,0	800,0	0,200	8.760	1.401,6
5	Untersuchungsraum	24,4	1	24,4	1.000,0	1.000,0	0,100	8.760	876,0
6	Stationsbad	18,1	1	18,1	300,0	300,0	0,025	8.760	65,7
7	Stationsküche	18,1	1	18,1	9.500,0	9.500,0	0,050	8.760	4.161,0
8	Arbeitsraum - rein	18,1	1	18,1	1.000,0	1.000,0	0,050	8.760	438,0
9	Arbeitsraum - unrein	18,1	1	18,1	2.000,0	2.000,0	0,310	8.760	5.431,2
10	WC	24,4	1	24,4	0,0	0,0	0,075	8.760	0,0
11	Putzmittelraum	11,8	1	11,8	0,0	0,0	0,050	8.760	0,0
12	Entsorgungsraum	15,0	1	15,0	0,0	0,0	0,100	8.760	0,0
13	Dienstraum Pflegekräfte	10,7	1	10,7	1.000,0	1.000,0	0,200	8.760	1.752,0
14	Personalaufenthaltsraum	17,4	1	17,4	500,0	500,0	0,075	8.760	328,5
15	Geräte-/Vorratsraum	21,8	1	21,8	0,0	0,0	0,150	8.760	0,0
16	Flur	170,6	1	170,6	0,0	0,0	0,150	8.760	0,0
	Summe								33.270,5

Tabelle 3.5.4/3: Flächen, Gesamtleistungen und Energieverbrauch für Geräte in der Pflegestation

$$Q_M = 33.271 \text{ kWh/a}$$

Energieverbrauch für Warmwasser

Warmwasser für Waschw Zwecke wird in Pflegestationen in den Nassräumen der Patienten und im Stationsbad benötigt. Die Station wird einmal täglich gereinigt.

Waschw Zwecke

$$Q_W = \frac{(n_{Du} \cdot n_{Pat} \cdot n_{da} \cdot (V_{WWDu} + 15 \text{ l}) + 160 \text{ l/d} \cdot n_{da}) \cdot (\vartheta_{WW} - \vartheta_{KW}) \cdot (100 \% + \eta_V) / 100 \% \cdot c_W \cdot \rho_W}{(49)}$$

mit

Anzahl der Duschwgänge pro Tag und Patient	n_{Du}	=	1 /d
Anzahl der Patienten (durchschnittlich)	n_{Pat}	=	24
Anzahl der Tage pro Jahr	n_{da}	=	365 d/a
Wasserverbrauch pro Duschwgang	V_{WWDu}	=	40 l
Zuschlag für Waschwgänge pro Patient und Tag			15 l
Zuschlag für Wannebäder im Stationsbad			160 l/d
Warmwassertemperatur	ϑ_{WW}	=	42 °C
Kaltwassertemperatur	ϑ_{KW}	=	10 °C
Transport- und Zirkulationsverluste	η_V	=	20 %
Spezifische Wärmekapazität von Wasser	c_W	=	4,182 kJ/(kg · K)
Dichte von Wasser	ρ_W	=	1,0 kg/l

$$Q_W = (1 \text{ l/d} \cdot 24 \cdot 365 \text{ d/a} \cdot (40 + 15) \text{ l} + 160 \text{ l/d} \cdot 365 \text{ d/a}) \cdot (42 \text{ °C} - 10 \text{ °C}) \cdot 1,2 \cdot 4,182 \text{ kJ/(kg K)} \cdot 1,0 \text{ kg/l} \cdot 1/3.600 \text{ kWh/kJ}$$

$$Q_W = 28.004 \text{ kWh/a}$$

Reinigungszwecke

Der gesamte Bereich der Pflegestation ist einmal pro Arbeitstag zu reinigen. Berechnung erfolgt nach Gleichung (36).

$$q_R = 0,1 \text{ l/(m}^2\text{·d)} = 0,1 \text{ kg/(m}^2\text{·d)}$$

$$Q_R = 0,1 \text{ kg/m}^2 \cdot 743,6 \text{ m}^2 \cdot 252 \text{ d/a} \cdot (42 \text{ °C} - 10 \text{ °C}) \cdot 1,2 \cdot 4,182 \text{ kJ/(kg K)} \cdot 1/3.600 \text{ kWh/kJ}$$

$$Q_R = 835,9 \text{ kWh/a}$$

Energieverbrauch für Warmwasser gesamt:

$$Q_{WW} = Q_W + Q_R = 28.004 \text{ kWh/a} + 836 \text{ kWh/a}$$

$$\underline{Q_{WW} = 28.840 \text{ kWh/a}}$$

Damit ergibt sich folgendes Bild des Energieverbrauches in der Pflegestation:

	Energieverbrauch		Primärenergie- Faktor	Primärenergie- verbrauch		Energiekosten		
	absolut kWh/a	relativ %		absolut kWh/a	relativ %	spezifisch €/kWh	absolut €/a	relativ %
Thermische Energie für Luftaufbereitung	81.825	53,6	1,10	90.008	36,3	0,0227	1.857	20,2
Elektrische Energie für Luftförderung	511	0,3	3,00	1.533	0,6	0,1591	81	0,9
Elektrische Energie für Beleuchtung	8.321	5,4	3,00	24.963	10,1	0,1591	1.324	14,4
Elektrische Energie für Geräte	33.271	21,8	3,00	99.812	40,2	0,1591	5.293	57,5
Thermische Energie für Warmwasser	28.840	18,9	1,10	31.724	12,	0,0227	655	7,1
Summe	152.768	100,0		248.039	100,0		9.211	100,0

Tabelle 3.5.4/4: Energieverbrauch, Primärenergieverbrauch, Energiekosten der Pflegestation

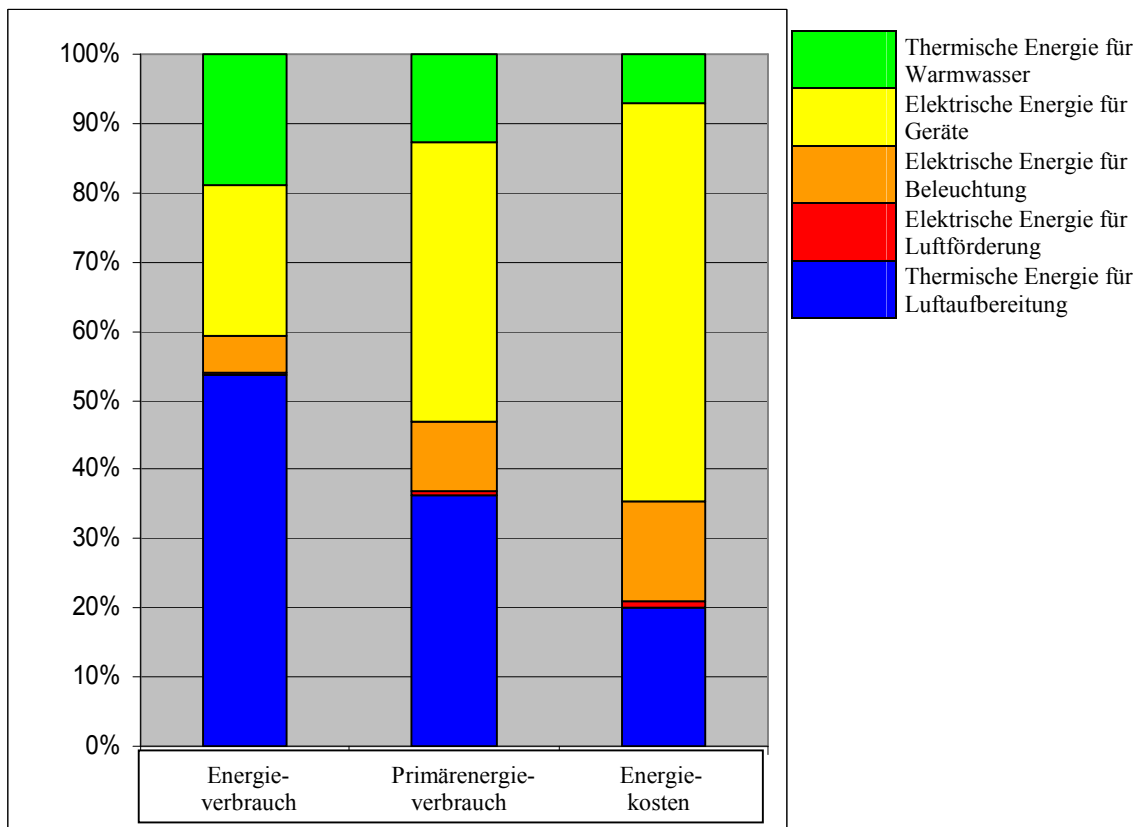


Abbildung 3.5.4/1: Säulendiagramm Energieverbrauch, Primärenergieverbrauch, Energiekosten der Pflegestation

Etwa 54 % des Energieverbrauches entsprechend ca. 20 % der Energiekosten entstehen für die thermische Luftaufbereitung. Der größte Anteil der Energiekosten entfällt auf die Geräte. Ursächlich hierfür sind in erster Linie die Geräte in den Patientenzimmern, vor allem die Fernseher, aber auch in der Stationsküche (Spülmaschine) und im Arbeitsraum unrein (Steckbeckengerät). Dabei ist der Energieverbrauch aber insgesamt als niedrig einzustufen, insbesondere im Vergleich zu den anderen untersuchten Abteilungen.

Der Architekt hat hier praktisch keine Möglichkeit mehr, den Energieverbrauch zu reduzieren, zumal kein wirtschaftlich sinnvoll nutzbares Potenzial vorhanden ist, da die Gesamtenergiekosten nur 9.211 €/a betragen. Nennenswerte Zusatzinvestitionen, um Energie einzusparen, machen daher keinen Sinn.

3.5.5 Energieverbrauch Pflegestation mit RLT-Anlage

Die Situation verändert sich allerdings ganz erheblich, wenn die Station künstlich belüftet werden muss. Dies kann aus klimaphysiologischen Gründen der Fall sein, insbesondere, wenn es sich um eine Hochhaussituation handelt und der Winddruck eine mechanische Belüftung notwendig macht. In diesem Fall sind die Luftmengen nach DIN 1946/4 (03/1999), Tab. 2, auszulegen.

Die inneren Kühllasten sind sehr gering. Es sind praktisch keine Wärmequellen vorhanden, die eine Raumbelastung verursachen. Lediglich in den Arbeitsräumen und in der Stationsküche sind Wärmequellen, die eine nennenswerte Raumbelastung darstellen. Die Geräte in den Krankenzimmern sind nur kurzzeitig in Betrieb, sodass die Luftmengen nicht auf diesen Fall ausgelegt zu werden brauchen. Äußere Kühllasten entstehen durch die Sonneneinstrahlung. Ausgangssituation ist eine Ost-West-Orientierung der Fassaden als ungünstigster Fall.

Nachfolgend werden die inneren Kühllasten gem. Tab. 3.5.4.3 sowie die äußeren Kühllasten für die Pflegestation bilanziert. Bei den inneren Kühllasten kann der Minderungsfaktor reduziert werden, denn die Lasten liegen nur kurzzeitig an, sodass sie den Raum nicht für längere Zeit belasten. Für die äußeren Kühllasten werden die in 3.2.3.5 – Schwesternraum - bestimmten Werte verwendet, da die Situation vergleichbar ist.

Die Summe der inneren und äußeren Kühllasten ergibt die Gesamt-Kühllast. Damit können die erforderlichen Zuluft-Volumenströme bestimmt werden. Die zugrunde zu legenden Raum- und Zuluftzustände sind

Zuluftzustand:

$$\vartheta_{Zu} = 18 \text{ °C}$$

$$\varphi_{Zu} = 75 \%$$

$$X_{Zu} = 9,7 \text{ g/(kg tr. L.)}$$

$$h_{Zu} = 42,5 \text{ kJ/kg}$$

Raumluftzustand:

$$\vartheta_R = 24 \text{ °C}$$

$$\varphi_R = 50 \%$$

$$X_R = 9,8 \text{ g/(kg tr. L.)}$$

$$h_R = 49 \text{ kJ/kg}$$

Mit der Enthalpiedifferenz zwischen Raum- und Zuluftzustand werden dann nach folgender Gleichung die Zuluftmengen ermittelt, die erforderlich sind, um die Lasten abzuführen.

$$\dot{V}_{ZU} = \frac{\dot{Q}_K}{\Delta h \cdot \rho_L}$$

Die sich daraus ergebenden spezifischen Volumenströme sind mit den hygienischen Mindest-Außenluftvolumenströmen nach 1946/4 (03/1999), Tab. 2, zu vergleichen und der jeweils höhere Wert ist für die Bestimmung der Gesamt-Zuluft-Volumenströme zu verwenden.

Für die Bestimmung der Zuluft-Volumenströme sind die maximalen Solarstrahlungen zu berücksichtigen (vgl. 3.2.3.5). Für die Transmissions-Kühllast wird ein Zuschlag von 5 % berücksichtigt. Es ergibt sich für die Fenstersituation in den Räumen.

$$\dot{Q}_S = 1,3 \text{ m} \cdot 1,8 \text{ m} \cdot 563 \text{ W/m}^2 \cdot 1,05 = 1.383 \text{ W}$$

$$\underline{\underline{\dot{Q}_S = 1.383 \text{ W}}}$$

Nr.	Raum	Raum- fläche m ²	Anz. der Räu- me	Raum- fläche gesamt m ²	Kühllast durch Geräte pro Raum W	Min- derungs- faktor Geräte	Gesamt- Kühllast durch Geräte W	Kühllast durch Personen pro Raum W	Kühllast durch Beleuch- tung pro Raum W	Min- derungs- faktor Beleuch- tung	Gesamt- Kühllast durch Beleuch- tung W	innere Kühllast gesamt durch Geräte Personen Beleuch- tung W	äußere Kühllast pro Zimmer W	Gesamt- Kühllast pro Zimmer W	Gesamt- Kühllast W	erforderlicher Zuluft- Volumenstrom nach Kühllasten m ³ /h	erforderlicher spezifischer Volumenstrom bzw. Hygienischer Mindest- Außenluft- Volumenstrom m ² /(h · m ²)	erforderlicher Volumenstrom festgelegt m ² /h
1	1-Bett-Zimmer	12,5	6	74,8	500,0	0,200	100,0	60,0	453	1,000	453,0	613,0	1.383,0	1.996,0	11.976,0	5.718	76,5	5.718
2	2-Bett-Zimmer	16,9	12	202,3	600,0	0,200	120,0	120,0	1226,1	1,000	1.226,1	1.466,1	1.383,0	2.849,1	34.189,2	16.324	80,7	16.324
3	Nasszellen Kranken- zimmer	4,1	18	73,6	300,0	0,000	0,0	0,0	148,7	0,000	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0,0	0
4	Arztdienst- raum	24,4	1	24,4	800,0	0,400	320,0	60,0	147,9	1,000	147,9	527,9	1.383,0	1.910,9	1.910,9	912	37,4	912
5	Untersuchungs- raum	24,4	1	24,4	1.000,0	0,200	200,0	120,0	246,4	1,000	246,4	566,4	1.383,0	1.949,4	1.949,4	931	38,1	931
6	Stationsbad	18,1	1	18,1	300,0	0,000	0,0	120,0	109,7	1,000	109,7	229,7	1.383,0	1.612,7	1.612,7	770	42,5	770
7	Stationsküche	18,1	1	18,1	9.500,0	0,050	475,0	60,0	109,7	1,000	109,7	644,7	1.383,0	2.027,7	2.027,7	968	53,5	968
8	Arbeitsraum - rein	18,1	1	18,1	1.000,0	0,300	300,0	120,0	109,7	1,000	109,7	529,7	1.383,0	1.912,7	1.912,7	913	50,4	913
9	Arbeitsraum - unrein	18,1	1	18,1	2.000,0	0,300	600,0	120,0	109,7	1,000	109,7	829,7	1.383,0	2.212,7	2.212,7	1.056	58,3	1.056
10	WC	24,4	1	24,4	0,0	0,000	0,0	0,0	98,6	0,000	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0,0	0
11	Putzmittelraum	11,8	1	11,8	0,0	0,000	0,0	0,0	23,9	0,000	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0,0	0
12	Entsorgungs- raum	15,0	1	15,0	0,0	0,000	0,0	0,0	30,2	0,000	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0,0	0
13	Dienstraum Pflegerkräfte	10,7	1	10,7	1.000,0	0,200	200,0	120,0	64,8	1,000	64,8	384,8	1.383,0	1.767,8	1.767,8	844	79,0	844
14	Personalaufent- haltsraum	17,4	1	17,4	500,0	0,075	37,5	300,0	105,7	1,000	105,7	443,2	1.383,0	1.826,2	1.826,2	872	50,0	872
15	Geräte- /Vorrats- raum	21,8	1	21,8	0,0	0,000	0,0	60,0	132,1	0,500	66,1	126,1	0,0	126,1	126,1	60	10,0	218
16	Flur	170,6	1	170,6	0,0	1,000	0,0	300,0	689,2	1,000	689,2	989,2	0,0	989,2	989,2	472	10,0	1.706
Summe												7.350,5		62.500,6	29.841		31.233	

Tabelle 3.5.5/1: Innere Kühllasten Pflegestation

Die äußeren Kühllasten entstehen, analog zu 3.2.3.6, durch Sonneneinstrahlung und Transmission (vgl. Tab. 3.2.3.6). Auf jeder Fassdseite sind 15 Fenster mit jeweils 2,34 m² Fläche zu berücksichtigen.

Monat	Westseite			Ostseite		
	Fensterfläche	durchschnittliche monatliche spezifische Gesamtstrahlung	durchschnittliche monatliche äußere Kühllast	Fensterfläche	durchschnittl. monatliche spezifische Gesamtstrahlung	durchschnittliche monatliche äußere Kühllast
	m ²	W/(m ² · Mo)	kW/Mo	m ²	W/(m ² · Mo)	kW/Mo
Januar	35,1	78	2,74	35,1	103	3,62
Februar	35,1	119	4,18	35,1	119	4,18
März	35,1	183	6,42	35,1	177	6,21
April	35,1	231	8,11	35,1	209	7,34
Mai	35,1	249	8,74	35,1	219	7,69
Juni	35,1	242	8,49	35,1	213	7,48
Juli	35,1	237	8,32	35,1	210	7,37
August	35,1	216	7,58	35,1	198	6,95
September	35,1	169	5,93	35,1	165	5,79
Oktober	35,1	120	4,21	35,1	120	4,21
November	35,1	74	2,60	35,1	74	2,60
Dezember	35,1	51	1,79	35,1	51	1,79

Tabelle 3.5.5/2: durchschnittliche monatliche äußere Kühllasten durch solare Strahlung Pflegestation

Mit diesen Daten kann jetzt der Energieverbrauch für die thermische Aufbereitung der Zuluft nach 3.2.3.6, Gleichung (35) und (36) bestimmt werden:

	ϑ_{AUT}	h_{AUT}	t_T	Q_{UT}	ϑ_{AUN}	h_{AUN}	t_N	Q_{UN}
	°C	kJ/kg	h/Mo	kWh/Mo	°C	kJ/kg	h/Mo	kWh/Mo
Januar	1,95	10,9	252	45.296	1,45	10,8	492	26.865
Februar	2,64	11,8	240	42.581	1,88	11	432	23.434
März	5,93	16,3	276	44.913	4,58	14,8	468	21.341
April	10,2	22,9	240	33.404	7,33	20	480	16.055
Mai	14,3	30,5	228	25.229	11,9	27,8	516	7.937
Juni	17,5	37,8	252	20.738	14	34	468	226
Juli	18,5	41,3	264	18.089	15,4	37,1	480	-3.287
August	18,2	41,2	264	18.011	15,1	36,9	480	-3.086
September	16	36,5	264	22.389	13,1	33,1	456	1.119
Oktober	11,7	28,5	252	28.641	9,8	26	492	9.441
November	6,28	18,8	252	37.540	5,38	17,8	468	17.935
Dezember	3,08	13,5	240	40.386	2,49	12,5	504	25.542
Summe				377.216				149.668

Tabelle 3.5.5/3: Außentemperaturen, Außenluftenthalpien, Betriebszeiten und Energieverbräuche der Pflegestation mit solaren Einträgen

Der Energieverbrauch für die thermische Luftaufbereitung beträgt
 $Q_U = 526.884 \text{ kWh/a}$.

elektrischer Energieverbrauch für Luftförderung

Der elektrische Energieverbrauch für die Luftförderung wird nach Gleichung (21) mit den nachfolgenden Parametern bestimmt.

$$\begin{aligned} \dot{V}_T &= 8,68 \text{ m}^3/\text{s} \\ \Delta p_{ZUT} &= 800 \text{ Pa} \\ \Delta p_{ABT} &= 600 \text{ Pa} \\ f_R &= 0,5 \\ \eta &= 0,64 \\ t_T &= 3.024 \text{ h/a} \end{aligned}$$

$$Q_V = \left(\frac{1}{0,64} \cdot (3.024 \text{ h/a} \cdot 8.68 \text{ m}^3/\text{s} \cdot (800 \text{ Pa} + 600 \text{ Pa}) + (365 \text{ d/a} \cdot 24 \text{ h/d} - 3.024 \text{ h/a}) \cdot 8,68 \text{ m}^3/\text{s} \cdot 0,5 \cdot (800 \text{ Pa} \cdot 0,5^2 + 600 \text{ Pa} \cdot 0,5^2)) \right) \cdot \frac{1}{1.000}$$

$Q_V = 71.322 \text{ kWh/a}$

Beim Energieverbrauch für die Beleuchtung, für die Geräte und für die Warmwasserbereitung ergeben sich keine Veränderungen. Damit ergibt sich folgendes Bild für eine Pflegestation mit RLT-Anlage und Berücksichtigung der solaren Einträge.

	Energieverbrauch		Primärenergie-Faktor	Primärenergieverbrauch		Energiekosten		
	absolut kWh/a	relativ %		absolut kWh/a	relativ %	spezifisch €/kWh	absolut €/a	relativ %
Thermische Energie für Luftaufbereitung	526.884	78,8	1,10	579.572	61,0	0,0227	11.960	39,1
Elektrische Energie für Luftförderung	71.322	10,7	3,00	213.966	22,5	0,1591	11.347	37,1
Elektrische Energie für Beleuchtung	8.321	1,2	3,00	24.963	2,6	0,1591	1.324	4,3
Elektrische Energie für Geräte	33.271	5,0	3,00	99.812	10,5	0,1591	5.293	17,3
Thermische Energie für Warmwasser	28.840	4,3	1,10	31.724	3,3	0,0227	655	2,1
Summe	668.638	100,0		950.037	100,0		30.579	100,0

Tabelle 3.5.5/4: Energieverbrauch, Primärenergieverbrauch, Energiekosten der Pflegestation mit RLT-Anlage und solaren Einträgen

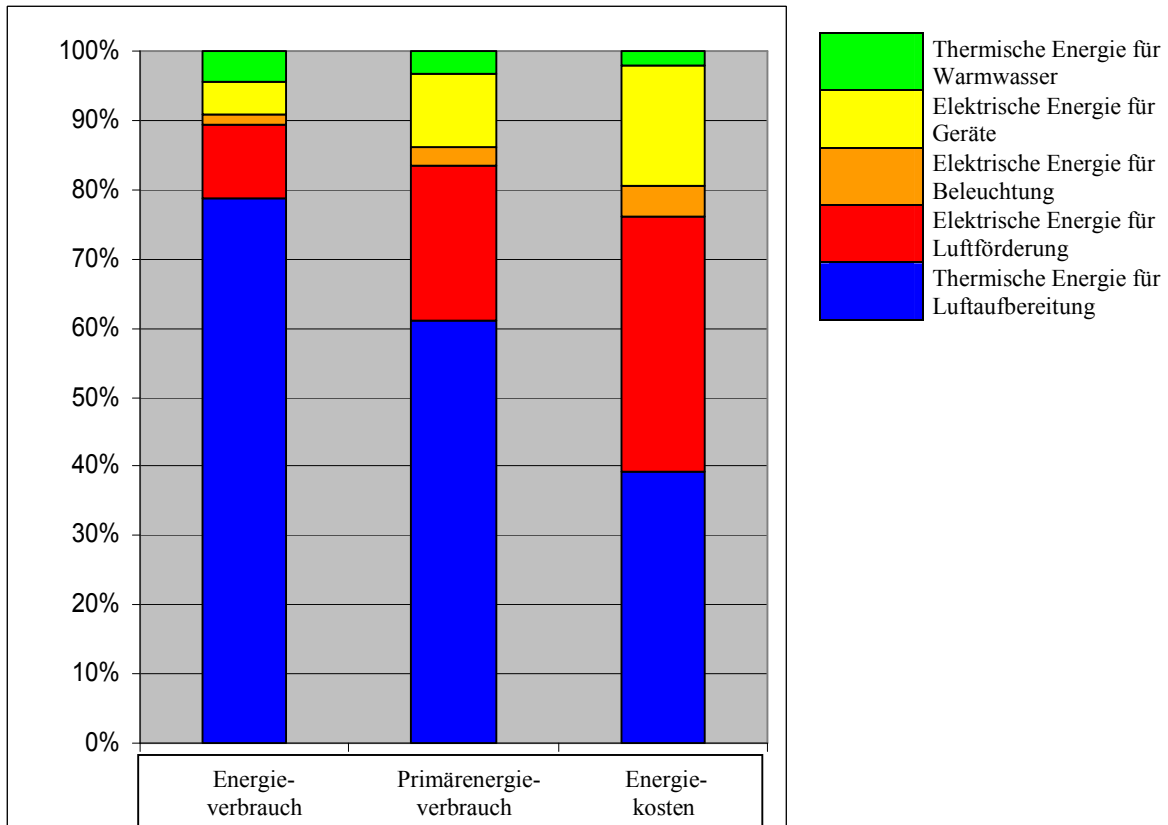


Abbildung 3.5.5/1: Säulendiagramm Energieverbrauch, Primärenergieverbrauch, Energiekosten der Pflegestation mit RLT-Anlage und solaren Einträgen

Der Energieverbrauch ist bei der Pflegestation mit RLT-Anlage um 515.870 kWh/a, entsprechend 338 % gestiegen. Dies ist ausschließlich auf die Energieverbräuche für die thermische Luftaufbereitung und für die Luftförderung zurück zu führen, die um 445.059 kWh/a bzw. 70.811 kWh/a gestiegen sind. Er erklärt sich aus der Notwendigkeit, die Außenluft ganzjährig auf den notwendigen Zuluftzustand aufbereiten zu müssen. Die Zuluftmenge, die in der Pflegestation notwendig ist, ist beträchtlich und resultiert aus den hohen äußeren Lasten.

3.5.6 Energieverbrauch Pflegestation mit RLT-Anlage und solaren Einträgen bei ungünstigen Installationsverhältnissen

Eine weitere Veränderung tritt ein, wenn ungünstige Installationsverhältnisse vorliegen und im Kanalnetz der RLT-Anlage hohe Luftgeschwindigkeiten gefahren werden müssen. Analog zu den bisherigen Betrachtungen wird auch hier von einer Erhöhung der Luftgeschwindigkeit im Kanal von $v_1 = 3,5 \text{ m/s}$ auf $v_2 = 5,5 \text{ m/s}$ ausgegangen. Die sich dadurch ergebenden Differenzdrücke betragen

$$\Delta p_{ZUT} = 1.976 \text{ Pa}$$

$$\Delta p_{ABT} = 1.482 \text{ Pa}$$

Mit Gleichung (21) wird der Energieverbrauch für die Luftförderung ermittelt.

$$Q_V = \left(\frac{1}{0,64} \cdot (3.024 \text{ h/a} \cdot 8.68 \text{ m}^3/\text{s} \cdot (1.976 \text{ Pa} + 1.482 \text{ Pa}) + (365 \text{ d/a} \cdot 24 \text{ h/d} \right.$$

$$- 3.024 \text{ h/a}) \cdot 8,68 \text{ m}^3/\text{s} \cdot 0,5 \cdot (1.976 \text{ Pa} \cdot 0,5^2 + 1.482 \text{ Pa} \cdot 0,5^2))) \cdot \frac{\quad}{1.000}$$

$$Q_V = 175.450 \text{ kWh/a}$$

Beim Energieverbrauch für die thermische Aufbereitung der Zuluft, beim elektrischen Energieverbrauch für die Beleuchtung und die Geräte und bei der Warmwasserbereitung ergeben sich keine Veränderungen. Damit entsteht folgendes Bild für eine Pflegestation mit RLT-Anlage bei ungünstigen Installationsverhältnissen.

	Energieverbrauch		Primärenergie-Faktor	Primärenergieverbrauch		Energiekosten		
	absolut kWh/a	relativ %		absolut kWh/a	relativ %	spezifisch €/kWh	absolut €/a	relativ %
Thermische Energie für Luftaufbereitung	526.884	68,2	1,10	579.572	45,9	0,0227	11.960	25,4
Elektrische Energie für Luftförderung	175.450	22,7	3,00	526.350	41,7	0,1591	27.914	59,2
Elektrische Energie für Beleuchtung	8.321	1,1	3,00	24.963	2,0	0,1591	1.324	2,8
Elektrische Energie für Geräte	33.271	4,3	3,00	99.812	7,9	0,1591	5.293	11,2
Thermische Energie für Warmwasser	28.840	3,7	1,10	31.724	2,5	0,0227	655	1,4
Summe	772.766	100,0		1.262.421	100,0		47.146	100,0

Tabelle 3.5.6/1: Energieverbrauch, Primärenergieverbrauch, Energiekosten der Pflegestation mit RLT-Anlage bei ungünstigen Installationsverhältnissen

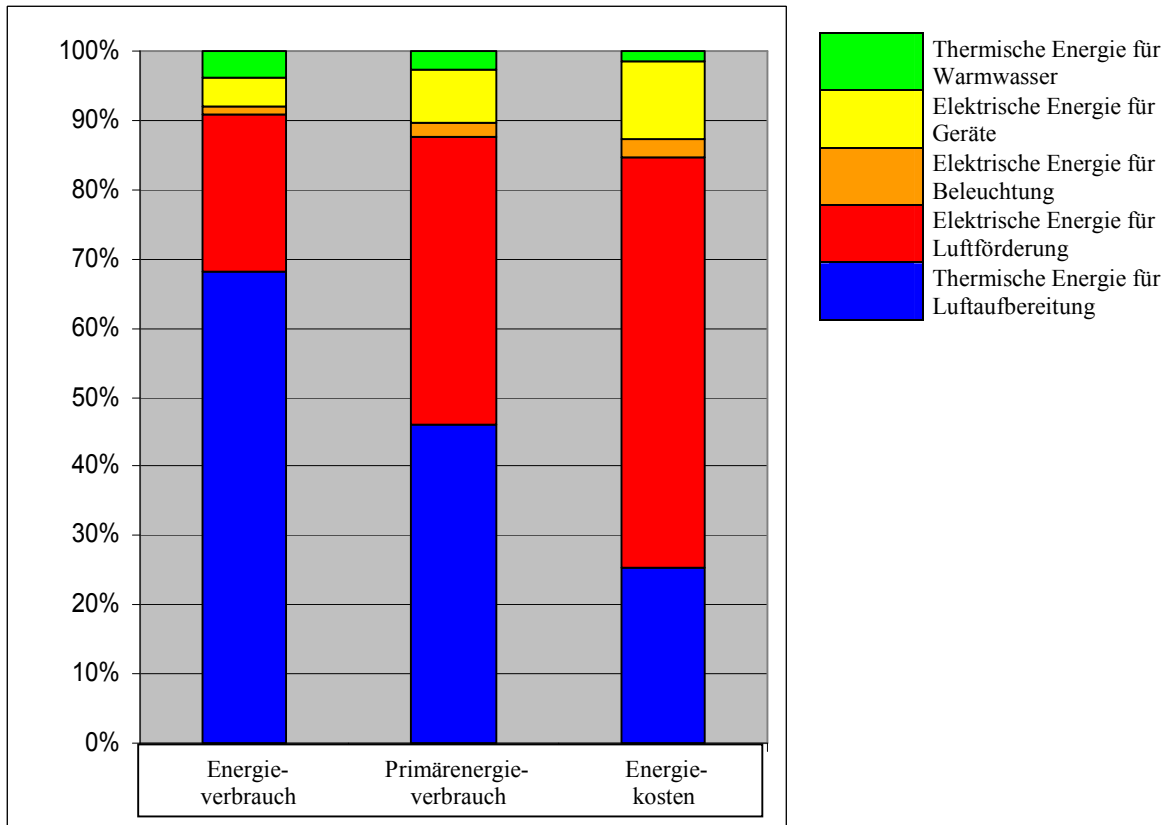


Abbildung 3.5.6/1: Säulendiagramm Energieverbrauch, Primärenergieverbrauch, Energiekosten der Pflegestation mit RLT-Anlage bei ungünstigen Installationsverhältnissen

Dies ist erneut eine ganz erhebliche Steigerung des elektrischen Energieverbrauches. Die Anteile für die thermische Aufbereitung der Zuluft und für die Luftförderung betragen 68,2 % bzw. 22,7 %. Die anderen Verbräuche sind im Vergleich dazu nahezu vernachlässigbar gering. Die Energiekosten betragen 47.146 €/a und sind damit gegenüber einer Pflegestation ohne RLT-Anlage um 37.935 €/a bzw. um das 8,6-fache gestiegen.

3.5.7 Auswertung

Die Pflegestationen sind innerhalb des Krankenhauses die Bereiche, die von den Patienten am intensivsten wahrgenommen und erlebt werden, da sie hier den größten Teil ihres Aufenthaltes verbringen. Aus diesem Grund kommt dem Architekten bei der Planung dieser Bereiche in stärkerem Maße eine gestalterische Aufgabe zu als in anderen Bereichen. Der Patient soll sich hier wohl fühlen und eine angenehme Atmosphäre unterstützt in jedem Fall den Genesungsprozess.

Entscheidend für den Energieverbrauch in einer Pflegestation ist, ob eine RLT-Anlage benötigt wird. Sofern hierzu die Notwendigkeit besteht, entstehen zwangsläufig extrem erhöhte Energiekosten. Aus hygienischer Sicht besteht hierzu in Pflegestationen weder nach den Regeln des Robert-Koch-Institutes noch nach DIN 1946/4 (03/1999) eine Veranlassung. Nur klimaphysiologische Gründe können dies notwendig machen:

- Es besteht eine Hochhaussituation. Die Winddrücke auf der Fassade sind dann so stark, dass eine natürliche Lüftung nicht mehr in Frage kommt und die Belüftung über eine RLT-Anlage realisiert werden muss.

- Es ist mit Schadstoffimmissionen zu rechnen, die in die Innenräume eindringen können, wenn natürlich belüftet wird. Dies kann der Fall sein, wenn eine große Nähe zu Industrieanlagen gegeben ist.
- Es ist mit einem hohen Außengeräuschpegel zu rechnen, der die Tages- oder Nachtruhe der Patienten beeinträchtigt, was dem Genesungsprozess abträglich ist. Eine solche Situation kann in Innenstadtlagen, z. B. in der Nähe von Bahnhöfen oder viel befahrenen Straßen vorliegen.

Weitere, hier nicht genannte Gründe sind denkbar bzw. möglich. Wichtigste Aufgabe des Architekten bei der Planung von Pflegestationen ist es daher, durch den Entwurf die Notwendigkeit einer RLT-Anlage zu vermeiden. Wenn dies gelingt und die Station natürlich belüftet und belichtet werden kann, bestehen bei einem Dämmstandard nach Maßstäben der EnEV praktisch keine Möglichkeiten mehr, wirksame und entscheidende Energieeinsparungen zu realisieren. Der Energieverbrauch ist dann so niedrig, dass es weder wirtschaftlich noch energetisch sinnvoll ist, einen wesentlichen Aufwand zur Energieeinsparung zu treiben.

Wichtigste Aufgabe des Architekten bei der Planung und beim Entwurf von Pflegestationen ist es daher, zu erkennen, ob Gründe vorliegen, die eine RLT-Anlage notwendig machen und wie dies verhindert werden kann. Hierzu zählen vor allem:

- Vermeidung von klassischen Bettentürmen, auch, wenn dies gerade in beengten Grundstückssituationen als einzige Möglichkeit erscheint, die Planungsaufgabe zu lösen. Falls es keine andere Möglichkeit gibt, ist der Bauherr auf die energetischen, ökologischen und wirtschaftlichen Konsequenzen hinzuweisen. Dies ist umso notwendiger, wenn der Architekt damit eventuelle Schadenersatzforderungen des Bauherrn aufgrund eines hohen Energieverbrauches erfolgreich abwehren muss. Die Bauherren haben eine erhöhte Sensibilität gegenüber Planungsfehlern oder –mängeln. Das Versäumen der Aufklärung kann – ähnlich wie bei einem Arzt – als Planungsfehler gewertet werden.

Bei einer lichten Raumhöhe von 3,0 m und einer Geschosshöhe von ca. 3,4 m können maximal 6 Geschosse übereinander realisiert werden, ohne an die bauordnungsrechtliche Grenze für Hochhäuser von 22,0 m über dem Boden zu stoßen. Das Überschreiten dieses Grenzwertes hätte noch weitere erheblich schärfere Anforderungen bezüglich der Rettungswegesituation, der Treppenträume, der Brandabschnitte und der Entfluchtung zur Folge und sollte daher unbedingt vermieden werden.

- Orientierung der Fassaden der Pflegestation zu ruhigen und schadstoffarmen Lagen, z. B. zum Innenhof, zum Garten o. ä.. Dabei sollte darauf geachtet werden, dass die Spitzen der solaren Lasten klein sind. Dies ist bei einer Ost-Westorientierung der Fassaden der Fall. Darüber hinaus wird dann möglichst viel solare Wärme gewonnen, wodurch die Heizungsanlage entlastet und der Energieverbrauch für die statische Heizung gesenkt wird.
- Bei einer natürlich belichteten und belüfteten Pflegestation ist es unter dem Gesichtspunkt des Energieverbrauches praktisch unerheblich, ob die Nasszellen der Patientenzimmer an der Fassade oder innen liegen. Der Energieverbrauch für die Belüftung und Beheizung der Räume ist sehr gering, wenn sie innen liegen. Es ist eher ein höherer Energieverbrauch zu erwarten, wenn die Nasszellen an der Fassade liegen und natürlich belüftet werden, da dann mit erheblich längeren Lüftungszeiten wegen der offen stehenden Fenster zu rechnen ist. Darüber hinaus sind die Möglichkeiten zur Gestaltung der Nassräume und Anordnung der Sanitärobjekte dann stark eingeschränkt, da die Fläche an der Außenwand für Fenster benötigt wird.

- Darüber hinaus sind die allgemein gültigen Regeln für den winterlichen und sommerlichen Wärmeschutz zu berücksichtigen:
 - hochwärmegeämmte Fassade
 - hoch dämmende Verglasungen
 - äußerer Sonnenschutz und Blendschutz
 - Massive Bauweise mit guter Speicherwirkung

Die unter dem Gesichtspunkt des Energieverbrauches günstigste Situation ist gegeben, wenn die Beheizung mit statischen Heizflächen erfolgt und natürlich belüftet und belichtet werden kann. Der ungünstigste Fall entsteht, wenn eine RLT-Anlage notwendig ist bei gleichzeitig ungünstigen Installationsverhältnissen. Das damit beeinflussbare Potenzial beträgt dann (siehe. Tab. 3.5.4/4 und 3.5.6/1):

- beim Energieverbrauch absolut

$$\Delta Q = 772.766 \text{ kWh/a} - 152.768 \text{ kWh/a}$$

$$\underline{\Delta Q = 619.998 \text{ kWh/a}}$$
- beim Primärenergieverbrauch absolut

$$\Delta Q_P = 1.262.421 \text{ kWh/a} - 248.039 \text{ kWh/a}$$

$$\underline{\Delta Q_P = 1.014.382 \text{ kWh/a}}$$
- bei den Energiekosten

$$\Delta K = 47.146 \text{ €/a} - 9.211 \text{ €/a}$$

$$\underline{\Delta K = 37.935 \text{ €/a}}$$

Dies ist ein erhebliches Potenzial beim Energieverbrauch, beim Primärenergieverbrauch und bei den Energiekosten. Maßgeblich ist dabei die RLT-Anlage, die einen großen Aufwand für die thermische Luftaufbereitung und für die Luftförderung verursacht. Der Architekt kann dieses Potenzial mit dem Entwurf aktivieren.

Flächenbezogene Energieaufwandszahlen

Die flächenbezogenen Energieaufwandszahlen betragen:

Fall A: Pflegestation

Primärenergieverbrauch: $Q_{PrA} = 248.039 \text{ kWh/a}$ (s. Tab. 3.5.4/4)

Fläche Pflegestation: $A_R = 743,6 \text{ m}^2$ (s. Tab. 3.5.3/1)

$$E_{AA} = \frac{Q_{PrA}}{A_R} = \frac{248.039 \text{ kWh/a}}{743,6 \text{ m}^2}$$

$$\underline{E_{AA} = 334 \text{ kWh/(m}^2\text{a)}}$$

Fall B: Pflegestation mit RLT-Anlage

Primärenergieverbrauch: $Q_{PrB} = 950.037 \text{ kWh/a}$ (s. Tab. 3.5.5/4)

Fläche Pflegestation: $A_R = 743,6 \text{ m}^2$

$$E_{AB} = \frac{Q_{PrB}}{A_R} = \frac{950.037 \text{ kWh/a}}{743,6 \text{ m}^2}$$

$$\underline{E_{AB} = 1.278 \text{ kWh/(m}^2\text{a)}}$$

Fall C: Pflegestation mit RLT-Anlage bei ungünstigen Installationsverhältnissen

Primärenergieverbrauch: $Q_{PrC} = 1.262.421 \text{ W}$ (s. Tab. 3.5.6/1)

Fläche Pflegestation: $A_R = 743,6 \text{ m}^2$

$$E_{AC} = \frac{Q_{PrB}}{A_{OP}} = \frac{1.262.421 \text{ kWh/a}}{743,6 \text{ m}^2}$$

$$\underline{E_{AC} = 1.698 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})}$$

Das Einsparpotenzial bestimmt sich aus der Differenz zwischen den Energiekosten der Pflegestation nach Tabelle 3.5.4/4 und Tabelle 3.5.6/1. Es bestimmt das Einsparvolumen über die gesamte Lebensdauer der Pflegestation. Mit einer dynamischen Betrachtung anhand der Kapitalwertmethode wird es ermittelt (vgl. 3.2.4).

Damit ergibt sich ein Kapitalwert von

$$\underline{C_Q = 534.654 \text{ €}}$$

Dies ist ein erheblicher Betrag, der die Möglichkeit eröffnet, auch größere Investitionen zu tätigen, um eine RLT-Anlage zu vermeiden. Dies können Verlagerungen von Abteilungen oder Bereichen, Erschließen von anderen Bereichen des Krankenhauses oder Erwerb von zusätzlichen Grundstücksflächen zur Erweiterung der baulichen Möglichkeiten sein.

3.6 Sonstige Bereiche und Verallgemeinerung

Neben den bisher betrachteten Bereichen bzw. Stationen gibt es in Krankenhäusern weitere Abteilungen. Nur in wenigen Häusern werden alle Funktionsbereiche oder –stellen, wie sie in DIN 13080:2007-07, Tab. 1 (siehe Tab. 3.1/1) enthalten sind, betrieben. Trotzdem sollte eine Zuordnung zu den untersuchten Krankenhausbereichen erfolgen, was jedoch nur für die krankenhausspezifischen Bereiche möglich ist (s. 2.).

Hierfür sind zunächst die allgemeinen Merkmale der bisher betrachteten Bereiche zu bestimmen. Dabei werden die Kriterien, die den Energieverbrauch beeinflussen, mit einer dimensionslosen relativen Kennzahl auf einer Skala von 1 bis 10 bewertet. Diese dimensionslose relative Kennzahl gibt an, welche Bedeutung das jeweilige Kriterium für die flächenbezogene Energieaufwandszahl hat. Maßstab ist der Primärenergieverbrauch. Ziel ist es, eine schnelle und einfache Beurteilung der energetischen Struktur zu erreichen, die auch auf andere Entwurfsituationen übertragen werden kann.

Nr.		OP-Saal	OP-Neberräume	Intensivstation	Röntgendiagnostik	Pflege-Station
1	Luftwechselzahl der RLT-Anlage	10	3	4	3	0
2	Außenluftanteil	10	10	10	5	2
3	Innere Kühllasten	2	2	3	8	0
4	Äußere Kühllasten	1	7	8	1	0
5	Heizlast	2	2	2	1	7
6	Luftförderung	6	7	7	3	0
7	Beleuchtung	2	2	2	1	2
8	Geräte	4	1	4	7	5
9	Warmwasserbereitung	1	4	0	0	3
10	Betriebszeiten der RLT-Anlage	10	10	10	5	0
	Bezug Tabelle	3.2.2.1/5	3.2.3.3/2	3.3.4/2	3.4.4/4	3.5.4/4
	Relative Höhe der flächenbezogenen Energieaufwandszahl	10,0	1,8	4,2	3,2	0,6

Tabelle 3.6/1: Relative Bewertung der maßgeblichen Einflusskriterien auf den Energieverbrauch der untersuchten Krankenhausbereiche

Es bleibt festzustellen, dass die künstliche Beleuchtung und die Warmwasserbereitung nahezu keinen oder nur einen sehr geringen Einfluss auf den Energieverbrauch haben. Den größten Effekt auf den Energieverbrauch für die thermische Luftaufbereitung hat die Luftwechselzahl, da der energetische Grundaufwand hierfür proportional mit der Luftwechselzahl steigt. Der Einfluss der inneren und äußeren Kühl- und Heizlasten ist umgekehrt proportional zur Luftwechselzahl.

Ferner zeigt sich ein deutlicher qualitativer Zusammenhang zwischen der Luftwechselzahl der RLT-Anlage und der relativen Höhe der flächenbezogenen Energieaufwandszahl. Je höher die Luftwechselzahl ist, desto höher ist die flächenbezogene Energieaufwandszahl.

Die grafische Darstellung zeigt einen sehr unterschiedlichen Verlauf für die untersuchten Abteilungen.

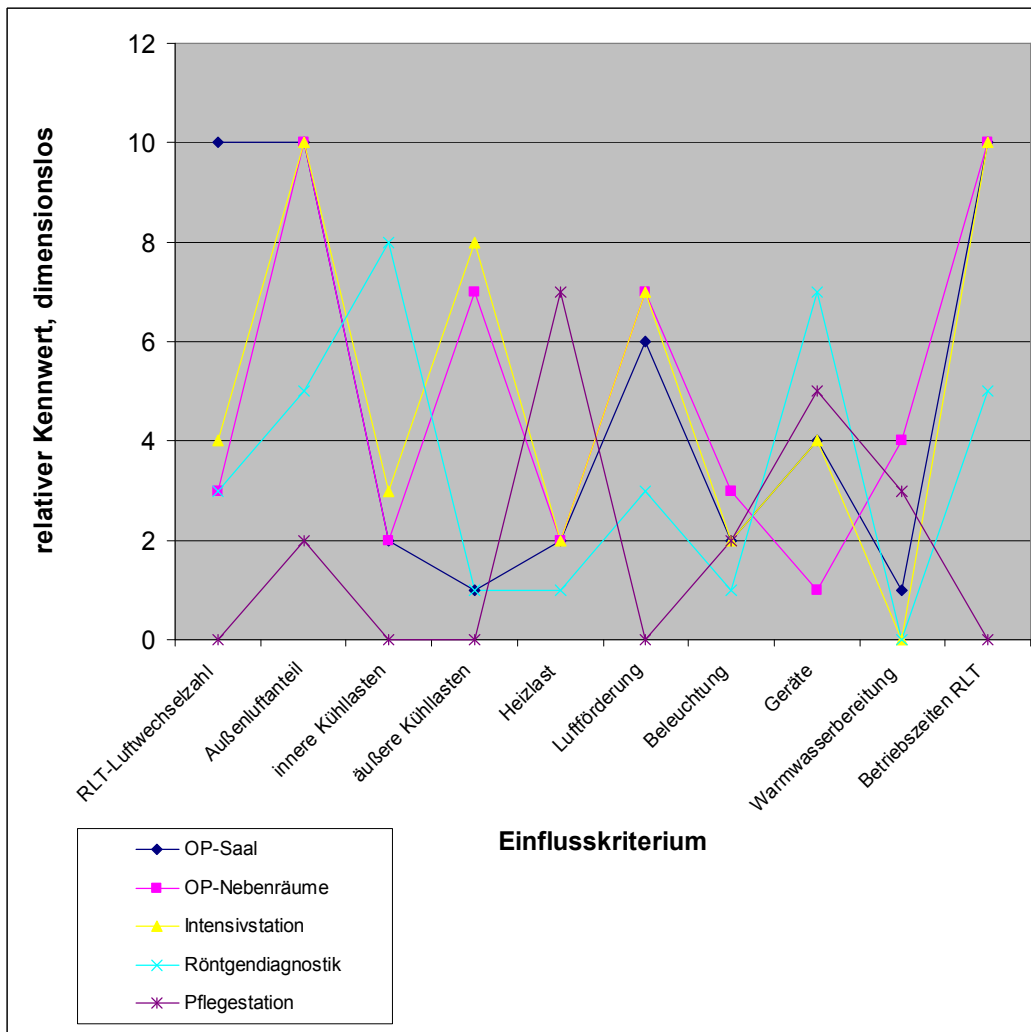


Abbildung 3.6/1: Liniendiagramm: Relative Bewertung der maßgeblichen Einflusskriterien auf den Energieverbrauch der untersuchten Krankenhausbereiche

Die übrigen Bereiche des Krankenhauses können jetzt nach diesem Schema bewertet werden, wobei zunächst eine Kurzbeschreibung erforderlich ist. Dabei wird das Raster nach DIN 13080:2003-07, Tabelle 1, im Rahmen der in 2. dargelegten Grenzen verwendet. Auf dieser Grundlage wird dann eine energetische Zuordnung zu den untersuchten Bereichen vorgenommen.

1.01 Aufnahme und Notfallversorgung

Aufgabe, Funktion: Notfallmäßig eingelieferte Patienten erhalten hier die Erstuntersuchung. Ziel ist es, eine erste Diagnose des Krankheitsbildes zu stellen und ggf. erste Behandlungsschritte einzuleiten (Reanimation, Beatmung, Notfallmedikamente). Danach ist über die weitere Versorgung im Krankenhaus zu entscheiden, z. B. Operation, weitere Diagnostik, intensivmedizinische Behandlung, Verlegung auf eine Pflegestation o. ä..

Ausstattung: Es wird ein überdachter Zugang von außen für die Einlieferung und die Zufahrt von Rettungsfahrzeugen benötigt. Die Funktionsstelle muss eine direkte innere Anbindung mit kurzen Wegen an den zentralen OP-Bereich und die zentralen Erschließungswege haben.

Eine RLT-Anlage stellt die hygienischen Verhältnisse sowohl für den Patienten als auch für das Personal sicher. Es gilt Raumklasse I nach DIN 1946/4 (03/1999), Tab. 2, da sie zur Infektionsprophylaxe unentbehrlich ist. Die Allgemeinbeleuchtung sollte bis 1000 lx betragen. Es werden Einzelleuchten zur Ausleuchtung des Behandlungsfeldes benötigt. Es müssen Entnahmestellen der medizinischen Gasversorgung sowie Wascheinrichtungen vorhanden sein.

1.02 Arztdienst

Aufgabe, Funktion: Es handelt sich um Raumbereiche der leitenden Ärzte, in denen Ärzte Tätigkeiten, die nicht am Patienten durchgeführt werden, ausüben können, z. B. Berichte schreiben, Literaturstudium, Telefonate, Patienten- und Angehörigengespräche u. ä.. Weiter gehören dazu Untersuchungs- und Behandlungsräume.

Ausstattung: Es werden büroartige Räume und Ausstattungen benötigt. Neben den Arztzimmern werden Besprechungsräume und ggf. Besucherräume gebraucht.

Eine RLT-Anlage ist weder aus infektionsprophylaktischen noch aus klimaphysiologischen Gründen erforderlich. Für die Beleuchtung ist Bürostandard (300 lx) ausreichend. Waschgelegenheiten sollten ggf. in den Arzträumen und in den WC-Bereichen vorhanden sein. Medizinische Gasversorgung ist nicht erforderlich.

1.03 Funktionsdiagnostik

Aufgabe, Funktion: Hier werden die Untersuchungen zur Funktionsfähigkeit der wichtigsten Organe, vor allem Herz, Atmungsorgane, Hirn mit technischen Apparaten und Geräten durchgeführt. Es werden insofern diagnostische Aufgaben erfüllt. Die Ergebnisse stehen den behandelnden Ärzten zur Verfügung.

Dieser Funktionsbereich ist nicht in allen Häusern zentralisiert.

Ausstattung: Es werden Untersuchungs- und Auswertungsräume benötigt. Eine RLT-Anlage ist weder aus infektionsprophylaktischen noch aus klimaphysiologischen Gründen erforderlich. Für die durchzuführenden Untersuchungen ist eine umfangreiche medizintechnische Apparate- und Geräteausstattung mit leistungsstarken Schalt-, Steuer- und Auswertungsanlagen notwendig. Die Allgemeinbeleuchtung beträgt bis 500 lx, z. T. werden Einzelleuchten benötigt.

Medizinische Gasversorgung und Waschgelegenheiten sind je nach Anforderungen insbesondere in den Untersuchungsräumen notwendig.

1.04 Endoskopie

Aufgabe, Funktion: In dieser Funktionsstelle werden endoskopische Untersuchungen und/oder Behandlungen durchgeführt. Sie ist nicht immer zentralisiert, oft ist sie in andere Bereiche integriert, z. B. die Röntgendiagnostik

Ausstattung: Es sind Untersuchungsräume für die endoskopischen Untersuchungen und Behandlungen vorzusehen. Zur Infektionsprophylaxe ist eine RLT-Anlage unentbehrlich. Es gilt Raumklasse I nach DIN 1946/4 (03/1999), Tab. 2.

Die Allgemeinbeleuchtung beträgt bis 500 lx, darüber hinaus werden Einzelleuchten zur Ausleuchtung des Untersuchungs- oder Behandlungsfeldes gebraucht.

Medizinische Gasversorgung und Waschgelegenheiten sind je nach Anforderungen insbesondere in den Untersuchungsräumen notwendig.

1.05 Laboratoriumsmedizin

Aufgabe, Funktion: In dieser Funktionsstelle werden Laboruntersuchungen von Blut, Sekreten, Exkreten, Liquor, Punktaten und Gewebeschnitten durchgeführt. Die Leistungen können zu einem großen Teil auch extern erbracht werden. Lediglich Sofortuntersuchungen, die vor allem im OP-Bereich, in der Aufnahme/Notfallversorgung, in der Intensivmedizin und Geburtshilfe benötigt werden, müssen hier durchgeführt werden.

Die Tätigkeiten sind mehr labor- und weniger krankenhausspezifisch. Bei der Planung findet das laborspezifische Regelwerk Anwendung, z. B. DIN 1946/7 (06/1992).

Ausstattung: Es werden Laborräume mit einer umfangreichen labortechnischen Ausstattung gebraucht, die sich nach den jeweiligen Laboraufgaben und -tätigkeiten richtet. Eine RLT-Anlage ist in aus Gründen des Arbeitsschutzes und für die durchzuführenden Untersuchungen erforderlich. Die Beleuchtungsstärke richtet sich nach den Labor- und Arbeitsschutzrichtlinien. Für die durchzuführenden Untersuchungen und Tätigkeiten werden eine gute Laborgasversorgung und eine leistungsfähige Elektroanlage benötigt.

1.06 Prosektur/Pathologie

Aufgabe, Funktion: In dieser Funktionsstelle werden Untersuchungen durchgeführt, um abnorme Lebensvorgänge und deren Folgezustände aufzuklären. Hierzu werden Gewebeproben und andere Körperbestandteile untersucht. Weiter werden Verstorbene untersucht, um die Todesursache festzustellen (Obduktion). Ziel ist es, Daten zur Unterstützung der Ärzte bei therapeutischen Maßnahmen zu gewinnen. Weitere Aufgabe ist die ärztliche Aus-, Weiter- und Fortbildung.

Ausstattung: Die Funktionsstelle kann entsprechend den Anforderungen sehr unterschiedlich aufgebaut und ausgestattet sein. Dies reicht von einem Raumbereich, in dem gelegentlich Sektionen durchgeführt werden, bis zu Funktionsstellen, die für regelmäßige und umfangreiche Sektionen ausgelegt sind und über angeschlossene Untersuchungs- und Diagnoseeinrichtungen, Forschungslaboratorien sowie Ausbildungs- und Lehrinrichtungen verfügen. Hierfür sind dann, entsprechend den Anforderungen, die notwendigen Räume und Ausstattungen vorzusehen.

1.07 Radiologische Diagnostik

Siehe 3.4.

1.08 Nuklearmedizinische Diagnostik, 1.11 Strahlentherapie, 1.12 Nuklearmedizinische Therapie

Diese Funktionsstellen ähneln sich in ihrer Struktur. Gemeinsam ist allen eine sehr spezielle Ausstattung mit medizintechnischen Geräten, die leistungsstarke Schalt-, Steuer- und Auswertungsanlagen haben. Die Strahlenschutzvorschriften sind immer zu beachten.

1.09 Operation

Siehe 3.2.

1.10 Entbindung

Aufgabe, Funktion: In dieser Funktionsstelle sind die Räume für die Geburtshilfe unterzubringen. Hierzu müssen die Voraussetzungen für die üblichen Entbindungstechniken gegeben sein. Es muss aber auch möglich sein, bekannten oder plötzlich entstehenden Geburtsrisiken für Mutter und/oder Kind angemessen begegnen zu können.

Ausstattung: Es werden Untersuchungsräume für Schwangere und Neugeborene, Entbindungsräume, Aufenthaltsräume für Personal, Wartebereiche sowie zugehörige Nebenräume benötigt.

Die Räume sind in Raumklasse II nach DIN 1946/4 (03/1999), Tabelle 2, einzuordnen. Eine RLT-Anlage ist weder aus infektionsprophylaktischen noch aus klimaphysiologischen Gründen notwendig. Je nach Erfordernis wird eine Medizinische Gasversorgung benötigt. Eine gute Allgemeinbeleuchtung von ca. 300 lx ist ausreichend. WC-Anlagen, Wasch-, Dusch- und Bademöglichkeiten sind in allen Entbindungsräumen erforderlich.

Für operative Entbindungen (Sectio caesarea) sind eigene OP-Säle mit Nebenräumen (Ein-/Ausleitung, Waschraum, Geräteraum, Ver-/Entsorgungsräume) erforderlich. Sie müssen in unmittelbarer räumlicher Nähe zur Entbindungsabteilung liegen. Hierfür gelten dann die Grundsätze von OP-Abteilungen.

1.13 Physikalische Therapie

Aufgabe, Funktion: In dieser Funktionsstelle werden Behandlungen zur Beeinflussung des Bewegungsapparates, des Herz-Kreislaufsystems, des Nervensystems und des Stoffwechsels durchgeführt. Ihre Bedeutung innerhalb von Krankenhäusern hat stark abgenommen, da sehr viele Behandlungen mittlerweile von niedergelassenen Physiotherapeuten übernommen worden sind. Die Unterhaltung einer eigenen Funktionsstelle ist in der Regel aus wirtschaftlichen Gründen nicht sinnvoll.

Ausstattung: Sofern erforderlich, sind Räume für Wannenbäder, Bewegungsbäder und/oder Schwimmbäder notwendig, die in Raumklasse II nach DIN 1946/4 (03/1999), Tabelle 2, einzuordnen sind. RLT-Anlagen sind dann aus klimaphysiologischen Gründen erforderlich. Für Bewegungs- und Schwimmbäder gelten die Grundsätze der Bäderplanung.

Ansonsten können Räume für Bewegungstherapie, Wannenbäder oder manuelle Therapie notwendig werden.

1.14 Ergotherapie

Aufgabe, Funktion: Die Ergotherapie ist ein Sammelbegriff für Beschäftigungs- und Arbeitstherapie zur Behandlung von motorischen, geistigen und psychischen Störungen, um eine größtmögliche Selbstständigkeit im täglichen Leben zu erreichen. Diese Therapie wird in allgemeinen Krankenhäusern als selbstständige Funktionsstelle nahezu gar nicht mehr unterhalten. Auch diese Leistungen sind mittlerweile praktisch vollständig auf niedergelassenen Therapeuten übergegangen.

Ausstattung: Für die Ergotherapie werden im wesentlichen Behandlungsräume benötigt. Sie müssen insbesondere Bewegungsflächen für den Therapeuten und den Patienten bieten sowie die Unterbringung der Therapiegeräte (Bänke, Leitern, Stäbe, Stühle etc.) ermöglichen. Sofern Arbeitstherapie durchgeführt werden soll, sind entsprechende Werkräume (Töpferei, Holzbearbeitung, Küche etc.) erforderlich. Eine RLT-Anlage ist aus infektionsprophylaktischen oder klimaphysiologischen Gründen nicht notwendig. Eine Allgemeinbeleuchtung von 300 lx ist ausreichend. Medizinische Gasversorgung wird in der Regel nicht benötigt. Waschmöglichkeiten für die Therapeuten, ggf. auch für die Patienten, sollten vorhanden sein.

1.15 Bereitschaftsdienst

Aufgabe, Funktion: In dieser Funktionsstelle sind die Aufenthaltsräume für die Ärzte und anderes Personal, das den Bereitschaftsdienst außerhalb der normalen Betriebszeit versieht, zusammengefasst.

Ausstattung: Es werden Aufenthaltsräume mit Wohn-Schlafräumen, Sozialräume, evtl. eine Küche sowie Wasch- und Duscmöglichkeiten benötigt.

2.00 Pflege

Aufgabe, Funktion: Es gibt für viele unterschiedliche Patientengruppen Pflegebereiche. Gemeinsame Aufgabe in allen Pflegestationen ist es, die medizinische Behandlung zu unterstützen (vgl. 3.5.1). Hierfür sind die notwendigen Einrichtungen und Geräte bereit zu stellen. Die Gewichtung und die pflegerischen Aufgaben bzw. Schwerpunkte können dabei sehr unterschiedlich sein.

Ausstattung: In allen Pflegestationen sind Patientenräume, Arzt-, Untersuchungs-, Aufenthalts-, Warte-, Sozial- und Nassräume erforderlich. Gemeinsam ist, dass aus infektionsprophylaktischen oder klimaphysiologischen Gründen keine RLT-Anlage benötigt wird (siehe DIN 1946/4 (03/1999), Tabelle 2.). Ebenso ist eine Allgemeinbeleuchtung nach Tab. 3.5.4/2 ausreichend. Medizinische Gasversorgung wird nur teilweise oder bei Bedarf benötigt.

Eine gänzlich andere Situation entsteht, wenn eine RLT-Anlage erforderlich ist:

- für Intensivtherapiestationen (DIN 13080:2003-07, Tab. 1, Nr. 2.03), (vgl. 3.3)
- für Spezialstationen für immunsupprimierte Patienten (siehe DIN 1946/4 (03/1999), Tab. 2)
- für Infektionskrankenpflegestationen, wenn der Hygieniker eine RLT-Anlage für unentbehrlich hält (DIN 13080:2003-07, Tab. 1, Nr. 2.06) (siehe DIN 1946/4 (03/1999), Tab. 2)
- für Frühgeborenenpflegestationen, wenn nicht alle Frühgeborenen in Inkubatoren untergebracht sind (siehe DIN 1946/4 (03/1999), Tab. 2).

Diese Stationen sind unter energetischen Gesichtspunkten mit Intensivstationen vergleichbar.

3.00 Verwaltung

Für diese Funktionsbereiche wird eine Büronutzung gefordert. Die Räume müssen entsprechend ausgestattet sein. Es handelt sich nicht um eine krankenhausspezifische Nutzung.

4.00 Soziale Dienste

Diese Bereiche haben teilweise eine büroartige Nutzung (4.02 Seelsorge und Sozialdienst), teilweise sind sie aber auch in andere Funktionsbereiche integriert.

5.00 Ver- und Entsorgung, 6.00 Forschung und Lehre, 7.00 Sonstiges

Diese Bereiche sind nicht krankenhausspezifisch und werden deshalb hier nicht weiter behandelt (siehe 2.).

Die auf diese Weise charakterisierten Bereiche können jetzt mit dem o. g. Verfahren (siehe Tab. 3.6/1 und Abbildung 3.6/1) untersucht werden, die Kennzahlen können zugeordnet und ein Referenzbereich festgelegt werden.

Mit Hilfe des Liniendiagramms wird bestimmt, zu welchem der detailliert untersuchten Krankenhausbereiche (siehe Tab. 3.6/1 und Abbildung 3.6/1) die größte Ähnlichkeit der energetisch relevanten Kriterien vorliegt. Auf dieser Grundlage wird dann die relative Höhe der flächenbezogenen Energieaufwandszahl abgeschätzt und festgelegt. Danach wird der Referenzbereich bestimmt. Dieses Verfahren lässt sich auch auf Krankenhausbereiche und –betriebsstellen anwenden, die hier nicht betrachtet werden.

Nach Festlegung der Referenzbereiche werden dann die energetisch relevanten Kriterien beurteilt. Darauf aufbauend können die für die weiteren Betrachtungen erforderlichen tatsächlichen Energieaufwandszahlen nach Tab. 3.7/2 bestimmt werden. Sie werden für die Bildung von dimensionslosen Energieaufwandszahlen benötigt und herangezogen.

Nr.	Kriterium	1.01 Aufnahme und Notfallversorgung	1.02 Arzt-dienst	1.03 Funkti-ons-diag-nostik	1.04 En-dos-kopie	1.08 Nuklear-medicinische Diagnostik 1.11 Strahlen-therapie 1.12 Nuklear-medicinische Therapie	1.10 Entbin-dung	1.14 Ergo-therapie	1.15 Bereit-schafts-dienst	2.00 Pflege
1	Luftwechselzahl der RLT-Anlage	3	0	3	3	3	0	0	0	0
2	Außenluftanteil	10	2	7	8	6	1	2	1	2
3	Innere Kühllasten	3	0	6	4	9	0	0	0	0
4	Äußere Kühllasten	5	0	3	6	0	0	0	0	0
5	Heizlast	1	6	2	1	2	4	5	5	7
6	Luft-förderung	5	1	4	5	4	1	2	1	0
7	Beleuchtung	3	3	1	2	1	3	2	1	2
8	Geräte	3	2	9	5	7	3	1	2	5
9	Warm-Wasser-bereitung	1	1	0	1	0	4	1	2	3
10	Betriebszeiten der RLT-Anlage	10	0	3	5	4	0	0	0	0
	Relative Höhe der Flächenbezogenen Energieaufwandszahl	2,0	1,0	3,0	3,0	3,5	1,0	0,5	0,5	0,6
11	Referenzbereich	OP-Nebenträume	Pflege	Röntgendiagnostik	Röntgendiagnostik	Röntgendiagnostik	Pflege	Pflege	Pflege	Pflege

Tabelle 3.6/2: Relative Bewertung der maßgeblichen Einflusskriterien auf den Energieverbrauch von Funktionsstellen nach DIN 13080:2003-07, Tab. 1

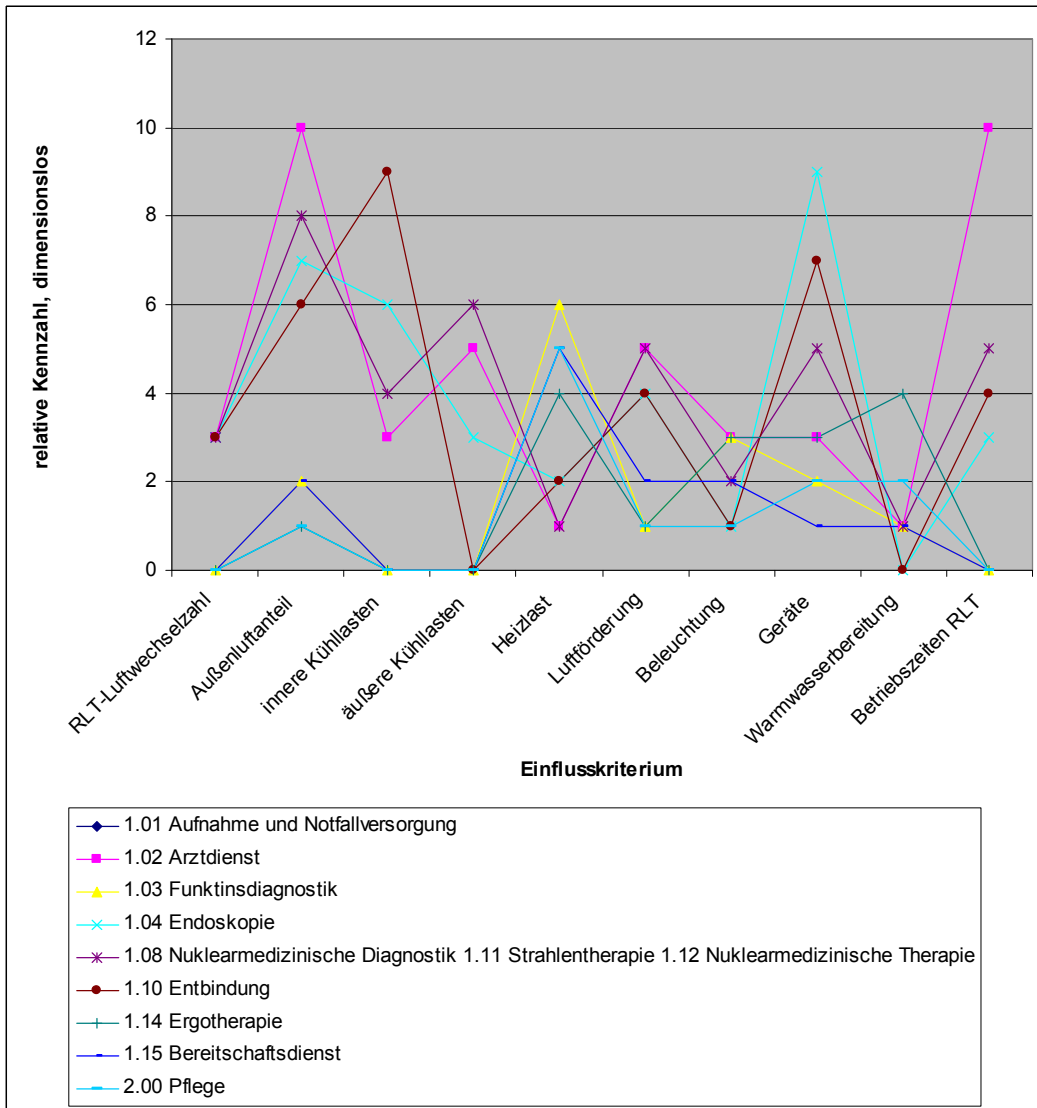


Abbildung 3.6/2: Liniendiagramm relative Bewertung der maßgeblichen Einflusskriterien auf den Energieverbrauch von Funktionsstellen nach DIN 13080:2003-07, Tab. 1

3.7 Zusammenfassung

In Krankenhäusern werden sehr große Energiemengen verbraucht. Dabei sind die Lastschwerpunkte und die Verbrauchsstrukturen der einzelnen Abteilungen oder Bereiche stark unterschiedlich. Eine hohe Last verursacht nicht zwangsläufig auch einen hohen Energieverbrauch. Einflussfaktor ist in diesem Zusammenhang die Zeit, in der die relevanten Lasten anliegen und abgeführt werden müssen. Gleichwohl hängt der erforderliche bauliche und gebäudetechnische Aufwand entscheidend von der Art und der maximalen Höhe der auszugleichenden Lasten ab.

Darüber hinaus entsteht überall, wo RLT-Anlagen für den Betrieb der entsprechenden Bereiche erforderlich sind, ein hoher Energieverbrauch. Beim Entwurf ist deshalb unbedingt deren Notwendigkeit kritisch zu prüfen und die Anlagen sind möglichst zu vermeiden.

OP-Saal:

In OP-Sälen liegt der Lastschwerpunkt bei den durch die Beleuchtung und die Geräte verursachten inneren Kühllasten. Trotzdem wirken sich die Kühllasten nur gering auf den Energieverbrauch aus, da hier eine RLT-Anlage erforderlich ist, große Luftmengen und hohe Luftwechselzahlen gefahren werden müssen, um hygienische Raumzustände zu erreichen. In OP-Sälen entstehen hohe innere Kühllasten und es wird eine große und umfangreiche medizintechnische Ausstattung benötigt. Daher wird sehr viel Energie für die thermische Luftaufbereitung benötigt. Dies ist durch den architektonischen Entwurf nur sehr wenig beeinflussbar.

Hauptansatzpunkt für den Architekten ist der Energieverbrauch für die Luftförderung. Stehen für die technische Gebäudeausrüstung unzureichende Flächen und schlechte Installationsverhältnisse zur Verfügung, ergibt sich ein erheblicher Mehrverbrauch beim elektrischen Energieverbrauch für die Luftförderung.

Beim Entwurf von OP-Sälen sind daher unter energetischen Gesichtspunkten folgende Kriterien zu beachten:

- Die Zentralen für die gebäudetechnischen Anlagen sind mit kurzen und direkten Anbindungen an die zu versorgenden Nutzbereiche vorzusehen.
- Die Flächen und Raumhöhen der Installationsbereiche sind ausreichend zu dimensionieren. Es sind eigene Installationsgeschosse anzustreben, die nur über die erforderlichen Mediendurchführungen in den Decken mit den Nutzungsgeschossen verbunden sind. Die Raumhöhe der Installationsbereiche sollte 2,50 m – 3,00 m betragen. Einschränkungen in der Nutzung durch Unterzüge o. ä. sind zu vermeiden. Als Grundsatz gilt, dass mit der Anzahl der anzuschließenden OP-Säle die Komplexität der TGA-Anlagen steigt und damit auch die lichten Raumhöhen der Installationsbereiche steigen müssen.
- In den TGA-Anlagen sind die Widerstände durch geringe Strömungsgeschwindigkeiten zu minimieren (Luftleitungen max. ca. 4,0 m/s).

- In den OP-Sälen sind Speichermassen vorzusehen, um eine Dämpfung der Wirkung der inneren Kühllasten zu erreichen. Wände, Decken und Fußböden sind massiv auszuführen.
- Der Entwurf ist weder von der Lage im Gebäude noch von der Ausrichtung der Fassaden abhängig. Fenster und eine natürliche Belichtung haben nahezu keinen Einfluss auf den Energieverbrauch.

Für die Unterbringung der gebäudetechnischen Anlagen der OP-Säle entsteht ein erheblicher Flächenbedarf in den Zentralen. Der Initialaufwand ist beträchtlich, da bereits für die Versorgung eines OP-Saales eine vollständige Ausrüstung mit raumluft-, kälte-, heizungs-, elektro- und sanitärtechnischen Anlagen erforderlich ist. Mit steigender Anzahl der zugeordneten OP-Säle steigt der Flächenbedarf in den TGA-Zentralen allerdings nicht linear, sondern degressiv.

OP-Nebenträume:

In den OP-Nebenträumen liegen wesentlich geringere spezifische Kühllasten an als im OP-Saal. Darüber hinaus werden erheblich niedrigere spezifische Zuluftmengen benötigt. Trotzdem werden auch hier beträchtliche Luftmengen benötigt, die einen erheblichen Energieverbrauch für die thermische Aufbereitung der Zuluft und für die Luftförderung verursachen.

Der Lastschwerpunkt liegt ebenfalls bei den Kühllasten, wobei der Architekt hier jedoch erheblichen Einfluss nehmen kann, da die spezifischen Luftmengen relativ klein sind. Die inneren Kühllasten, verursacht durch Beleuchtung und Geräte, sind nicht beeinflussbar und hängen ursächlich mit der Nutzung zusammen. Es kommt deshalb darauf an, die Gesamtkühllast nicht durch zusätzliche äußere Lasten infolge solarer Einträge zu erhöhen, da hierdurch eine Erhöhung der Luftmengen und damit des Energieverbrauches für die thermische Luftaufbereitung verursacht wird.

Daneben ist es wichtig, den Energieverbrauch für die Luftförderung zu minimieren. Dies wird umso wichtiger, je größer die zu bewegenden Luftmengen sind.

Im Rahmen des Entwurfes sind vom Architekten folgende Kriterien zu beachten, um einen möglichst geringen Energieverbrauch zu erreichen:

- Es ist festzulegen, welche Räume bzw. Raumbereiche als thermisch sensibel und thermisch nicht sensibel einzustufen sind. Die geforderten Raumkonditionen sind frühzeitig festzulegen. Hierfür ist die Abstimmung mit dem Bauherrn erforderlich.
- Es ist eine Trennung der thermisch sensiblen von den thermisch nicht sensiblen Räumen vorzusehen.
- Die thermisch sensiblen Räume sind durch thermisch nicht sensible Pufferäume von zusätzlichen äußeren Lasten frei zu halten.
- Die solaren Gewinne sind mit baukonstruktiven Maßnahmen zu minimieren. Die Fensterflächen sind so groß wie notwendig und so klein möglich zu halten. Sonnenschutz ist vorzusehen.

- In den raumumschließenden Flächen sind ausreichend Speichermassen erforderlich, um den Einfluss der Kühllasten auf die Raumtemperaturen zu dämpfen.
- Die Zentralen für die gebäudetechnischen Anlagen benötigen kurze und direkte Anbindungen an die zu versorgenden Nutzbereiche.
- Die Flächen und Raumhöhen der Installationsbereiche sind ausreichend zu dimensionieren. Es sind eigene Installationsgeschosse anzustreben, die nur über die erforderlichen Mediendurchführungen in den Decken mit den Nutzungsgeschossen verbunden sind. Ziel ist es, möglichst geringe Widerstände im RLT-Kanalnetz zu realisieren, was nur mit geringen Strömungsgeschwindigkeiten in den Medienleitungen, insbesondere in den Luftleitungen zu erreichen ist. Hier sind Luftgeschwindigkeiten von max. 4,0 m/s anzustreben.
- Die gebäudetechnischen Anlagen müssen sehr stringent energiesparend konzipiert sein. Anlagenreserven sind zu vermeiden. Insbesondere ist auf sehr gute Rückwärmezahlen bei der RLT-Anlage zu achten.

Die OP-Nebenräume sind zusammen mit den OP-Sälen zu betrachten, da sie einen funktional zusammen hängenden Raumverbund bilden. Der Entwurf muss daher beide Bereiche umfassen und die Faktoren zur Energieverbrauchsminimierung berücksichtigen. Auch die gebäudetechnischen Anlagen, insbesondere die RLT-Anlagen sind für die OP-Säle und die OP-Nebenräume gemeinsam zu betrachten und zu planen. Daher kann auch der Energieverbrauch nur im Zusammenhang beider Bereiche beurteilt werden.

Intensivstationen:

Die Intensivstationen stellen im Krankenhaus neben den OP-Abteilungen die höchsten Ansprüche an die funktionalen und hygienischen Anforderungen. Diese Anforderungen können nur mit sehr detaillierten und nutzungsorientierten Entwürfen und einer ebenso differenzierten und bedarfsangepassten technischen Gebäudeausrüstung realisiert werden. Kennzeichnend für die Laststruktur sind einerseits hohe innere Kühllasten, die durch die medizintechnischen Geräte und die Beleuchtung verursacht werden. Andererseits entstehen durch solare Einstrahlung u. U. hohe äußere Lasten. Dies lässt sich nicht vermeiden, da vor allem die Patientenzimmer an den Außenfassaden liegen müssen, um eine natürliche Belichtung zu erreichen.

Intensivstationen benötigen RLT-Anlagen, die die gesamte Station umfassen, da ansonsten die hygienischen Anforderungen nicht erfüllt werden können. Für den Architekten kommt es darauf an, die äußeren Kühllasten so gering wie möglich zu halten, um eine unnötige Erhöhung der Gesamtlasten zu vermeiden. Dies würde ansonsten eine Erhöhung der Luftmengen, die zum Ausgleich der Kühllasten notwendig sind, nach sich ziehen und damit den Energieverbrauch für die thermische Luftaufbereitung drastisch erhöhen.

Der Entwurf des Architekten muss sich an diesen Grundsatzforderungen orientieren und folgende Faktoren berücksichtigen:

- Die Fassaden sind nach Süden und Norden zu orientieren. Die maximalen solaren Lasten auf der Südseite sind dann zwar höher als bei einer Ost-West-Ausrichtung. Der Energieverbrauch ist jedoch geringer, da die Lasten nur über kurze Zeiträume anliegen und auf der Nordseite nahezu keine solaren Lasten entstehen.
- Auf der Südseite, ggf. auch auf den Ost- und Westseiten sind äußere Sonnenschutzeinrichtungen und Sonnenschutzgläser vorzusehen.
- Es sind Speichermassen zur Dämpfung des Einflusses der Kühllasten erforderlich.
- Für die gebäudetechnischen Anlagen gelten die gleichen Grundsätze wie in der OP-Abteilung:
 - kurze und direkte Anbindung der Technikzentralen an die zu versorgenden Bereiche
 - Ausreichend bemessene Flächen und Höhen in den RLT-Zentralen
 - Genügend Platz in den abgehängten Decken, Abhängehöhe $\geq 1,25$ m
 - Verwendung energiesparender Techniken und Realisierung hoher Rückwärmehzahlen der RLT-Anlage.

Unter diesen Bedingungen ist es möglich, einen energiesparenden Entwurf zu realisieren, der keine weitere wesentliche Reduzierung des Energieverbrauches mehr erwarten lässt.

Röntgendiagnostik:

Die röntgendiagnostischen Abteilungen des Krankenhauses erfüllen wichtige, vielfältige und zentrale diagnostische Aufgaben. Entsprechend ihrem Aufgabenspektrum ist in der Regel eine große Anzahl von medizintechnischen Geräten vorhanden. Kennzeichnend für die Laststruktur sind z. T. extrem hohe Abwärmelasten, die von den Auswertungs- und Steuerungsanlagen dieser Geräte verursacht werden. Hauptaufgabe beim Entwurf der röntgendiagnostischen Abteilungen ist es, zu verhindern, dass diese Abwärmelasten in den Nutzräumen anfallen. Ansonsten müssen die für diese Räume notwendigen Luftmengen stark erhöht werden, wodurch der Energieverbrauch für die thermische Luftaufbereitung erheblich ansteigen würde.

Vor diesem Hintergrund muss der Architekt folgende Faktoren bei der Planung der Abteilung berücksichtigen, um einen energieminimierten Entwurf zu erreichen:

- Die Untersuchungsbereiche, die eine künstliche Belüftung benötigen, sind in den Innenbereich zu legen, um äußere Lasten abzuhalten.
- Technikräume mit sehr hohen Abwärmelasten der installierten Auswertungs- und Steuerungsanlagen sind zu kapseln und von den Nutzräumen zu trennen, um diese nicht zusätzlich zu belasten.

- Räume, die künstlich belüftet und natürlich belichtet werden müssen, sind mit Sonnenschutzeinrichtungen und Sonnenschutzgläsern zu versehen.
- Die Orientierung der Fassaden hat auf den Energieverbrauch keinen nennenswerten Einfluss. Der Architekt ist unter diesem Gesichtspunkt in der Ausrichtung der Röntgendiagnostik frei.
- Speichermassen sind zu aktivieren.
- Für die gebäudetechnischen Installationen ist ausreichend Platz in den Zentralen und in den abgehängten Decken vorzusehen, Abhängehöhe $\geq 1,25$ m. Es gelten die gleichen Anforderungen wie in den anderen hoch technisierten Bereichen (OP-Saal, Intensivstation).

Pflegestationen:

Die Pflegestationen sind die Bereiche, in denen der Patient den größten Teil seines Aufenthaltes im Krankenhaus verbringt. Sie müssen deshalb mehr als andere Stationen eine möglichst angenehme Atmosphäre bieten, die vom Patienten als ein positives empfunden wird.

Unter energetischen Gesichtspunkten ist als wichtigster Faktor festzuhalten, dass es aus hygienischen oder sonstigen betrieblichen Gründen keine Notwendigkeit für eine RLT-Anlage gibt. Weder nach den Hygiene-Richtlinien des Robert-Koch-Institutes noch nach DIN 1946/4 (03/1999) ist dies notwendig. Der Architekt muss daher mit seinem Entwurf sicherstellen, dass dies nicht aus anderen Gründen erforderlich wird. Folgende wesentliche Kriterien gelten:

- Hochhaussituationen sind zu vermeiden. Bei Geschosshöhen von zu 3,0 m sind max. 6-7 oberirdische Geschosse möglich.
- Pflegestationen sind zu ruhigen und schadstoffarmen Lagen zu orientieren.
- Hohe äußere Lasten sind zu verhindern. Die Fassaden sind nach Osten und Westen zu orientieren, wenn keine RLT-Anlage benötigt wird. Dadurch werden Lastspitzen vermieden und die solaren Gewinne in der Übergangszeit reduzieren den Heizwärmeverbrauch.
- Die Nasszellen der Patientenzimmer sind im Innenbereich anzuordnen.
- Der winterliche und sommerliche Wärmeschutz ist durch Einhaltung der allgemein gültigen Regeln und gesetzlichen Vorschriften zu gewährleisten:
 - sehr guter Wärmeschutz an der Fassade
 - sehr gut dämmende Verglasung
 - äußerer Sonnenschutz und innerer Blendschutz an den Ost-, Süd- und Westseiten
 - massive Bauweise und Aktivierung von Speichermassen.

In Pflegestationen ist unbedingt eine Entwurfsituation zu vermeiden, die eine RLT-Anlage notwendig machen würde. Unter dieser Voraussetzung ist ein vergleichsweise geringer Energieverbrauch zu erwarten, der auch durch den Entwurf des Architekten nicht mehr wesentlich reduziert werden kann.

Sonstiges:

Die RLT-Anlagen des Krankenhauses sollten nicht zentralisiert werden. Die verschiedenen Abteilungen sollten jeweils eigene autarke Anlagen erhalten. Ansonsten muss die zentrale Luftaufbereitung nach dem ungünstigsten Verbraucher dimensioniert und die gesamte Zuluft danach aufbereitet werden, was energetisch höchst ungünstig ist. Darüber hinaus wird das Betriebsrisiko stark erhöht, da bei Ausfall der RLT-Anlage alle angeschlossenen Abteilungen des Krankenhauses betroffen sind.

Dies schließt nicht aus, dass die RLT-Anlagen mehrerer Bereiche in einer Zentrale zusammengefasst werden, z. B. OP-Säle und OP-Nebenräume. Voraussetzung ist, dass die Zentrale so im Gebäude angeordnet ist, dass eine kurze und direkte Anbindung der Versorgungsbereiche gewährleistet ist.

Der Einfluss der in diesem Zusammenhang entwurfsrelevanten Kriterien ist bei den verschiedenen Abteilungen des Krankenhauses unterschiedlich hoch. Die Dimensionierung und Lage der Technikzentralen und –bereiche hat bei allen Abteilungen, die eine RLT-Anlage benötigen, einen großen Einfluss auf den Energieverbrauch. Weniger wichtig ist die Lage der Bereiche in Bezug auf die äußere Umgebung, da die hiervon ausgehenden Einflüsse durch die geschlossene Fassade, die bei einer RLT-Anlage erforderlich ist, weitgehend abgehalten werden.

Ebenso wichtig sind energiesparende TGA-Anlagen. Insbesondere sind geringe Strömungsgeschwindigkeiten in den Medienleitungen, geringe Anschlussleistungen der elektrischen Antriebe, hohe Rückwärmezahlen der RLT-Anlagen und intelligente Regelkonzepte vorzusehen. Wichtig ist, dass die Möglichkeiten, die großzügige Technikbereiche bieten, nicht durch einseitige Kostenersparnisse bei den TGA-Anlagen ungenutzt bleiben.

Diese Situation entsteht oft im Verlauf einer Baumaßnahme, wenn sich herausstellt, dass das zur Verfügung stehende Budget knapp ist. Es wird dann versucht, durch Kosteneinsparungen bei den TGA-Anlagen, die ja erst relativ spät eingebaut werden, eine Budgetüberschreitung zu verhindern. Es ist daher wichtig, schon in den sehr frühen Planungsphasen die Kosten einer Baumaßnahme möglichst exakt zu bestimmen.

Der Architekt hat in der Regel den ersten und intensivsten Kontakt zum Bauherrn. Ihm kommt deshalb an dieser Stelle auch die Aufgabe zu, ihn darauf hinzuweisen, dass hier ein erhebliches energetisches, ökologisches und ökonomisches Potenzial liegt, das nur durch die Verbindung von architektonischem Entwurf und Technischer Gebäudeausrüstung bereits in einem sehr frühen Planungsstadium genutzt werden kann.

Die Kriterien, die beim Entwurf zu beachten sind, um einen möglichst energiesparenden Konzept zu realisieren, sind nachfolgend aufgeführt und qualitativ bewertet.

	OP-Saal	OP-Nebenräume	Intensivstation	Röntgendiagnostik	Pflegestation
Kurze, direkte Anbindung der Technikzentralen	++	++	++	++	-
Großzügig dimensionierte Technikbereiche	++	++	++	++	o
Geringe Strömungsgeschwindigkeiten in RLT-Anlagen	++	++	++	++	o
Bildung von Speichermassen	o	+	++	++	++
Festlegung von thermisch sensiblen und thermisch nicht sensiblen Räumen	-	++	o	+	o
Bildung von thermisch nicht sensiblen Pufferzonen vor thermisch sensiblen Bereichen	-	++	o	o	o
Energiesparende TGA-Anlagen	++	++	++	++	-
Fassadenorientierung mit minimalen solaren Einträgen	-	++	++	++	++
Kapselung von sehr hohen inneren Lasten	o	o	o	++	o
Hochhausituation	-	-	-	+	++
Ruhige äußere Lage	-	-	-	+	++
Schadstoffarme äußere Lage	-	-	-	+	++
Anordnung der Nasszellen	-	-	-	-	-
Wärmeschutz an der Fassade	+	+	+	+	++

- ++ sehr wichtig
- + wichtig
- o weder wichtig noch unwichtig/kein Kriterium
- unwichtig

Tabelle 3.7/1: qualitative Bewertung der entwurfsrelevanten Kriterien unter energetischen Gesichtspunkten

In Krankenhäusern gibt es Räume bzw. Raumgruppen, die unter energetischen Gesichtspunkten und hinsichtlich ihrer baulichen und gebäudetechnischen Ausstattung ähnlich sind. Sie können in energetischen Raumclustern zusammengefasst werden.

Diejenigen Räume bzw. Raumgruppen, die einem energetischen Raumcluster zugeordnet werden, können beim Entwurf unter denselben Gesichtspunkten betrachtet und konzipiert werden. Auch Raumgruppen, die hier jetzt nicht erfasst sind, können unter den genannten Merkmalen geclustert werden

Energetisches Raumcluster	Zugehörige Räume bzw. Raumbereiche	Merkmale energetisches Raumcluster*	Zu berücksichtigende bauliche Kriterien
OP-Saal (OPS)	OP-Saal	Baulicher Aufwand: 10 TGA-Aufwand: 10 Energieverbrauch: 10 Innere Lasten: 10 Äußere Lasten: 3	Kurze, direkte Anbindung der Technikzentralen Großzügig dimensionierte Technikbereiche Geringe Strömungsgeschwindigkeit in RLT-Anlagen Energiesparende TGA Wärmeschutz an der Fassade
OP-Nebenzimmer (OPN)	OP-Nebenzimmer Aufnahme/Notfallversorgung	Baulicher Aufwand: 10 TGA-Aufwand: 10 Energieverbrauch: 2 Innere Lasten: 2 Äußere Lasten: 3	Kurze, direkte Anbindung der Technikzentralen Großzügig dimensionierte Technikbereiche Geringe Strömungsgeschwindigkeit in RLT-Anlagen Bildung von Speichermassen Festlegung von thermisch sensiblen und thermisch nicht sensiblen Bereichen Bildung von thermisch nicht sensiblen Puffer-zonen vor thermisch sensiblen Bereichen Energiesparende TGA Fassadenorientierung mit minimalen solaren Einträgen Wärmeschutz an der Fassade
Intensivstation (ITS)	Intensivstation	Baulicher Aufwand: 10 TGA-Aufwand: 10 Energieverbrauch: 4 Innere Lasten: 4 Äußere Lasten: 4	Kurze, direkte Anbindung der Technikzentralen Großzügig dimensionierte Technikbereiche Geringe Strömungsgeschwindigkeit in RLT-Anlagen Bildung von Speichermassen Energiesparende TGA Fassadenorientierung mit minimalen solaren Einträgen Wärmeschutz an der Fassade
Röntgen-diagnostik (RD)	Röntgendiagnostik Funktionsdiagnostik Endoskopie Nuklearmedizinische Diagnostik Strahlentherapie Nuklearmedizinische Therapie	Baulicher Aufwand: 10 TGA-Aufwand: 8 Energieverbrauch: 3 Innere Lasten: 8 Äußere Lasten: 3	Kurze, direkte Anbindung der Technikzentralen Großzügig dimensionierte Technikbereiche Geringe Strömungsgeschwindigkeit in RLT-Anlagen Bildung von Speichermassen Festlegung von thermisch sensiblen und thermisch nicht sensiblen Bereichen Energiesparende TGA Fassadenorientierung mit minimalen solaren Einträgen Kapselung von sehr hohen inneren Lasten Ruhige äußere Lage Schadstoffarme äußere Lage Wärmeschutz an der Fassade
Pflege (P)	Normalpflegestationen Intensivobservationsstationen Arztdienst Entbindung Ergotherapie Bereitschaftsdienst	Baulicher Aufwand: 6 TGA-Aufwand: 4 Energieverbrauch: 1 Innere Lasten: 1 Äußere Lasten: 3 (u.U.)	Bildung von Speichermassen Fassadenorientierung mit minimalen solaren Einträgen Hochhaussituation Ruhige äußere Lage Schadstoffarme äußere Lage Wärmeschutz an der Fassade

* Skala: 0 (nicht vorhanden)5 (durchschnittlich)..... 10 (maximal)

Tabelle 3.7/2: energetische Raumcluster, bauliche Kriterien

Energieverbrauch, Primärenergieverbrauch, Energiekosten

Der Energieverbrauch, der Primärenergieverbrauch und die Energiekosten der verschiedenen Abteilungen eines Krankenhauses geben Aufschluss über die energetische, ökologische und wirtschaftliche Qualität des Gebäudes. Maßgeblich sind dabei die spezifischen, flächenbezogenen Werte, die nachfolgend tabellarisch aufgeführt werden.

	Bezug	Fläche		Bezug	Energieverbrauch	flächenbezogener Energieverbrauch	Primärenergieverbrauch	flächenbezogene Energieaufwandszahl	Energiekosten	flächenbezogene Energiekosten
	Tabelle Seite	m ²		Tabelle Seite	kWh/a	kWh/(m ² · a)	kWh/a	kWh/(m ² · a)	€/a	€/ (m ² · a)
OP-Saal	3.2.2.1/5	44,5		3.2.2.1/5	107.441	2.414	162.340	3.648	5.608	126,02
OP-Saal bei ungünstigen Installationsverhältnissen	3.2.2.2/1	44,5		3.2.2.2/1	127.951	2.875	228.928	5.145	9.139	205,37
OP-Nebenträume	3.2.3.2/1	1.196,1		3.2.3.3/2	536.377	448	793.409	663	26.800	22,41
OP-Nebenträume bei ungünstigen Installationsverhältnissen	3.2.3.2/2	1.196,1		3.2.3.4/1	598.580	500	980.318	820	36.697	30,68
OP-Nebenträume bei ungünstigen Installationsverhältnissen mit solaren Einträgen	3.2.3.5/2	1.133,6		3.2.3.6/4	749.449	661	1.251.469	1.105	47.672	42,05
Intensivstation bei ungünstigen Installationsverhältnissen	3.3.3/1	1.204,0		3.3.5/1	1.385.606	1.151	2.413.864	2.005	94.324	78,34
Intensivstation bei Nord-Süd-Orientierung	3.3.3/1	1.204,0		3.3.6/3	1.140.636	947	1.780.715	1.479	63.655	52,87
Intensivstation	3.3.3/1	1.204,0		3.3.4/2	1.194.194	992	1.839.628	1.528	64.871	53,88
Röntgendiagnostik	3.4.3/2	1.063,4		3.4.4/4	474.740	446	766.058	720	28.282	26,60
Röntgendiagnostik bei nutzraumintegrierten Technikbereichen	3.4.3/2	1.063,4		3.4.5/3	906.839	853	1.259.919	1.185	39.422	37,07
Pflegestation ohne RLT-Anlage	3.5.3/1	743,6		3.5.4/4	152.768	205	248.039	334	9.211	12,39
Pflegestation mit RLT-Anlage und solaren Einträgen	3.5.3/1	743,6		3.5.5/4	668.638	899	950.037	1.278	30.579	41,12
Pflegestation mit RLT-Anlage, solaren Einträgen bei ungünstigen Installationsverhältnissen	3.5.3/1	743,6		3.5.6/1	772.766	1.039	1.262.421	1.698	47.146	63,40

Tabelle 3.7/3: Übersicht Energieverbrauch, Primärenergieverbrauch, Energiekosten der Referenzbereiche

Die höchsten Werte sind im OP-Saal zu verzeichnen. Unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten fällt auf, dass hier nahezu eine Verdoppelung der Energiekosten eintritt, wenn ungünstige Installationsverhältnisse vorliegen. Auch bei den OP-Nebenräumen und bei der Intensivstation tritt unter diesen Voraussetzungen ein solcher Effekt ein.

Bei den Pflegestationen ist entscheidend, ob eine RLT-Anlage benötigt wird. Der Energieverbrauch und die Energiekosten sind dann zwar immer noch als durchschnittlich einzustufen. Da die Pflegestationen in einem Krankenhaus jedoch große Bereiche und Flächen umfassen, wirken sich RLT-Anlagen hier sehr stark auf die Energiesituation des gesamten Krankenhauses aus.

Für die Beurteilung der energetischen Qualität des Entwurfes des gesamten Krankenhauses ist nicht in erster Linie die Qualität einzelner Bereiche entscheidend. Hier sind die zugehörigen Flächen die bestimmenden Faktoren. Auch, wenn einzelne Bereiche energetisch nicht optimal gelöst sind, können die Auswirkungen auf den Energieverbrauch des gesamten Krankenhauses nur gering sein, wenn die Bereiche innerhalb des Krankenhauses nur einen kleinen Anteil haben. Dieser Zusammenhang wird im Weiteren aufgezeigt.

Der Zusammenhang zwischen Energieverbrauch, Primärenergieverbrauch und Energiekosten der untersuchten Krankenhausbereiche ist nachfolgend dargestellt. Dabei sind relative flächenbezogene Daten aufgeführt. Bezugsgröße ist der jeweilige Maximalwert, der für alle drei Kriterien beim OP-Saal bei ungünstigen Installationsverhältnissen zu finden ist.

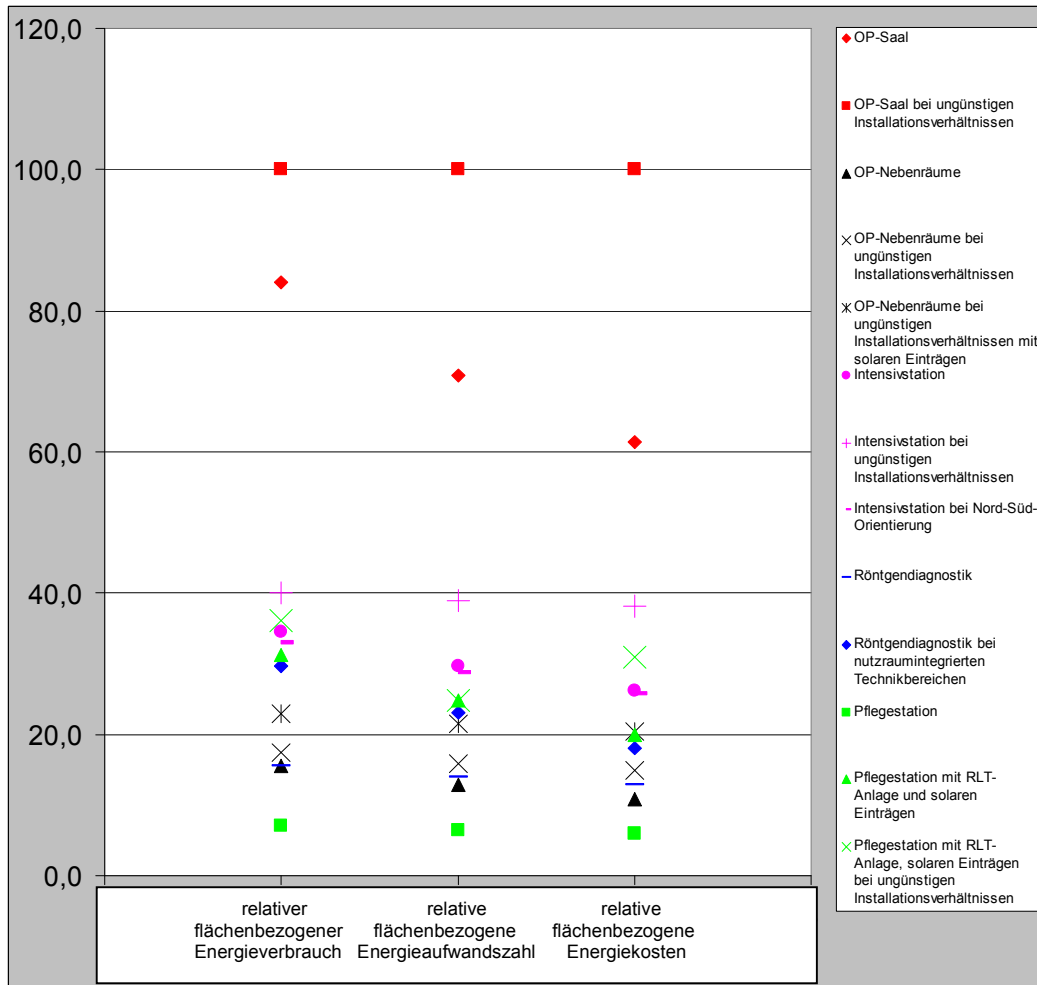


Abbildung 3.7/1: Energieverbrauch, Energieaufwandszahl und Energiekosten als relative flächenbezogene Größen

Das Niveau sowohl beim Energieverbrauch als auch beim Primärenergieverbrauch als auch bei den Energiekosten ist beim OP-Saal bei ungünstigen Installationsverhältnissen am höchsten. Das zweithöchste Niveau ist beim OP-Saal zu verzeichnen. Es liegt aber immer noch mit deutlichem Abstand über den anderen untersuchten Bereichen.

Die sinkenden Werte für den Primärenergieverbrauch und die Energiekosten des OP-Saales sind darauf zurück zu führen, dass der Anteil für elektrische Energie und damit auch für die Energiekosten bei ungünstigen Installationsverhältnissen überproportional steigt.

Von allen mit RLT-Anlagen ausgestatteten Bereichen haben die OP-Nebenräume das niedrigste Niveau, dicht gefolgt von der Röntgendiagnostik.

Bei Bereichen mit RLT-Anlagen wirken sich ungünstige Installationsverhältnisse sehr stark aus. Sowohl bei der Intensivstation wie auch bei den Pflegestationen als auch bei den OP-Nebenräumen ist eine eklatante Steigerung aller drei Kri-

terien zu verzeichnen, wenn die Installationsverhältnisse als ungünstig einzustufen sind. Dies ist auf den starken Anstieg des Stromverbrauches infolge des erhöhten Aufwandes für die Luftförderung zurück zu führen.

Eine gewisse Ausnahme bildet in diesem Zusammenhang die Röntgendiagnostik, bei der der Anstieg der Verbräuche und Kosten in erster Linie auf die Erhöhung der Luftmengen zurück zu führen ist, wenn die thermischen Lasten der Technik in den Nutzräumen anfallen.

Beim Entwurf von Krankenhäusern oder Teilen davon kommt es daher für den Architekten entscheidend darauf an, die Voraussetzungen zu schaffen, dass der Energieverbrauch minimiert werden kann. Dies ist umso wichtiger, je umfangreicher und größer die RLT-Anlagen in einem Gebäude sind. Wichtig in diesem Zusammenhang sind die Lage und Größe der Zentralen sowie ihre Entfernung und Anbindung zu bzw. an die Versorgungsbereiche.

Neben den energetischen Faktoren ist dies für die Wartung, Instandhaltung und Reparatur ebenso wichtig, da für RLT-Anlagen, insbesondere wenn sie für die Einhaltung hygienischer Raumzustände notwendig sind, ein hoher Aufwand erforderlich ist.

4. Strukturanalyse Krankenhäuser - Gesamtentwurf

4.1 Allgemeines

Krankenhäuser sind heute Einrichtungen, die äußerst vielfältigen und komplexen Einflüssen ausgesetzt sind. Einerseits sehen sie sich einem zunehmenden Kostendruck gegenüber. Er zwingt zu rationelleren Abläufen im Betrieb, um die Betriebskosten zu minimieren.

Andererseits ist eine stärker werdende Konkurrenzsituation zu verzeichnen, der die Häuser mit einer Schärfung ihres medizinischen Profils und der Verbesserung ihres Angebotes im Pflegebereich zu begegnen versuchen. Für den Patienten soll sein Aufenthalt ein positives Erlebnis sein. Der einweisende Arzt muss für seinen Patienten ein optimales medizinisches Angebot erwarten.

Die Reformen im Gesundheitswesen ziehen weit reichende Strukturveränderungen nach sich. Streichungen der Bettenzahlen in den Krankenhausbedarfsplänen und die Konzentration der Standorte sind hier nur einige der Maßnahmen, mit denen versucht wird, eine Antwort auf die Probleme im Gesundheitswesen zu finden. Als weitere Folge sind Trägerschaftsverlagerungen von ehemals öffentlichen oder gemeinnützigen Einrichtungen, z. B. Kommunen, Kirchen, Hilfsorganisationen auf privatrechtliche Organisationen zu verzeichnen. Dadurch soll eine größere betriebswirtschaftliche Freiheit für die Häuser erreicht werden.

Die medizinische und medizintechnische Entwicklung bietet ein immer größeres Spektrum von Therapiemöglichkeiten, die noch vor wenigen Jahren oder Jahrzehnten für unmöglich gehalten wurden, von den Patienten heute aber als Leistung erwartet werden. Diese Behandlungs- und Untersuchungsverfahren sind jedoch wesentlich komplexer, aufwändiger und damit auch finanzintensiver.

Viele Krankenhäuser haben eine alte Bausubstanz, deren Ursprünge oft noch weit in das letzte Jahrhundert zurück reichen und daher den Anforderungen insbesondere der heutigen Medizintechnik sowie der für den Betrieb notwendigen Technischen Gebäudeausrüstung nur unzureichend oder gar nicht gerecht werden können. Die vorhandene Technik einschließlich der Baukonstruktion ist oft veraltet und sanierungsbedürftig.

Hinzu kommt die demografische Entwicklung, die dem nach dem Solidarprinzip aufgebauten Finanzierungssystem steigende Probleme bereitet. Einer abnehmenden Anzahl von Beitragszahlern steht eine größer werdende Gruppe von Leistungsbeziehern gegenüber, die aufgrund ihrer Altersstruktur zunehmend Kosten verursachen.

Die Krankenhäuser sehen sich also einem steigenden Investitionsbedarf bei einer gleichzeitig schwierigeren finanziellen Ausstattung gegenüber. Sie müssen auf diese politischen und demografischen Probleme Antworten finden, die sich u. a. in der Anpassung der baulichen Gegebenheiten widerspiegeln muss.

Sie müssen

- ihr medizinisches Profil schärfen,
- die medizintechnische Ausstattung anpassen,
- ihre Betriebsabläufe optimieren und rationalisieren,
- ihr Angebot an die Patienten und einweisenden Ärzte attraktiver gestalten,
- die veraltete Bausubstanz und die Technische Gebäudeausrüstung sanieren,

Diese Aufgabe kommt der Quadratur des Kreises nahe. Sie ist von den Krankenhäusern allein nicht zu lösen, sondern hier sind mutige und zukunftsorientierte Entscheidungen der Politik gefordert, um den Finanzbedarf einerseits und das Kapital, das in das System fließt andererseits, ausgeglichen zu gestalten. Derzeit gibt es eine deutliche Unterdeckung des Finanzbedarfs.

Die notwendigen Anpassungen bedeuten in aller Regel bauliche Veränderungen. Diese reichen von Reparaturen und kleineren Instandsetzungen über Sanierungen von Teilabschnitten bzw. –stationen des Krankenhauses bis hin zu grundlegenden Neukonzeptionen und Neubauten, wenn die vorhandene Bausubstanz keine Anpassung in einem wirtschaftlich vertretbaren Rahmen mehr zulässt.

Neubauten haben den Vorteil, dass der Entwerfer von bestehenden baulichen Zwängen weitgehend befreit ist. Trotzdem ist auch ein Neubau das Ergebnis einer Vielzahl von Einflussfaktoren, die der Architekt berücksichtigen muss. Hierzu zählen u. a.:

- das Raumprogramm,
- die Lage und der Zuschnitt des Grundstückes,
- Auflagen und Einschränkungen, die mit dem Grundstück zusammen hängen,
- die Wirtschaftlichkeit des Entwurfes,
- das zur Verfügung stehende Kapital für den Bau,
- die in der Regel begrenzte Bauzeit,
- die Nutzerwünsche im Allgemeinen und im Speziellen.

Unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten ist insbesondere zu berücksichtigen, dass ein Neubau die Betriebskosten für einen sehr langen Zeitraum festschreibt. Um die finanzielle Flexibilität des Krankenhauses so groß wie möglich zu gestalten, kommt es darauf an, die Fixkosten so gering wie möglich zu halten. Hierzu zählen u. a. auch die Energiekosten. Es ist davon auszugehen, dass sie wegen der zu erwartenden schlechteren Verfügbarkeit von fossilen Brennstoffen mittel- bis langfristig steigen oder zumindest schlechter planbar sind. Darüber hinaus ist zu erwarten, dass sie aufgrund des Treibhauseffektes und anderer ökologischer Probleme mit schärferen Auflagen belegt werden.

Für den Architekten kommt es deshalb bei Neubauten u. a. entscheidend darauf an, energetische Aspekte in einer sehr frühen Planungsphase zu beurteilen und zu beeinflussen. Spätestens in der Entwurfsphase ist eine Fehlentscheidung an dieser Stelle bestenfalls noch in ihren Auswirkungen zu begrenzen, aber niemals zu revidieren.

Der Entwurf eines Krankenhauses ist das Ergebnis eines langen und komplexen Prozesses, an dem sehr viele Personen und Institutionen mitwirken. Der Architekt wirkt dabei in weiten Bereichen als Koordinator und Integrator. Trotzdem gibt es grundlegende Entwurfsaspekte, die zu berücksichtigen sind, um ein Gebäude zu erhalten, das den sich wandelnden Aufgaben und Anforderungen auch über einen sehr langen Zeitraum gerecht wird:

- Flexibilität: Anpassungsfähigkeit eines Gebäudes an sich ändernde Funktionen bei gleich bleibender Struktur der tragenden und nichttragenden Bauteile.

Entwurfsregeln:

- einheitliche Raumgrößen und getrennte Zonen für die Haupt- und Nebenfunktionen,
- Trennung der Ver- und Entsorgungsleitungen von den raumumschließenden Bauteilen⁸²

Die Flexibilität stößt in der Realität sehr rasch an enge Grenzen, da es funktionale Zusammenhänge und Abhängigkeiten mit anderen Bereichen und Betriebsstellen des Krankenhauses gibt. Es ist deshalb nur sehr schwer oder gar nicht möglich, in eine Betriebsstelle eine andere Nutzung zu integrieren, ohne in die funktionale Struktur des Gebäudes einzugreifen.

- Variabilität: Anpassungsfähigkeit eines Gebäudes an sich ändernde Funktionen durch Veränderung der Struktur nichttragender raumumschließender Bauteile.

Entwurfsregeln:

- Bildung von zusammenhängenden Nutzflächen,
- Minimierung der Stützenanzahl,
- Horizontale Führung von Installationen,
- Anordnung von Festpunkten in Nebenfunktionszonen
- Anordnung von Installationsgeschossen
- Austauschbarkeit der raumumschließenden Bauteile durch modulare Koordination⁸³

Die Variabilität stellt sicher, dass Veränderungen von geschlossenen Bereichen, Betriebsstellen bzw. Nutzflächen durchgeführt werden können. Dies ist insbesondere bei Sanierungen oder Umbauten wichtig, da die Bauarbeiten dann begrenzt bleiben und nicht in die baukonstruktive bzw. statische Struktur eingreifen. Installationsgeschosse bieten hierfür hervorragende Voraussetzungen, wenn die darin untergebrachten Anlagen ausschließlich der Versorgung des zugeordneten Nutzungsbereiches dienen.

⁸² Dirichlet/Labryga/Poelzig/Schlenzig, Krankenhausbau, Maßkoordination-Entwurfsstrategie-Anwendungsbeispiele, 1979, Seite 8 und 56

⁸³ Dirichlet/Labryga/Poelzig/Schlenzig, Krankenhausbau, Maßkoordination-Entwurfsstrategie-Anwendungsbeispiele, 1979, Seite 8 und 56

- Mikroerweiterbarkeit bzw. -reduzierbarkeit: Anpassungsfähigkeit eines Entwurfes oder Gebäudes an den wachsenden oder reduzierten Raumbedarf von Betriebsstellen

Entwurfsregeln:

- Festlegung einer Erweiterungsrichtung für Haupt- und Nebenfunktionszonen sowie Flure,
- Vorhaltung von Bebauungsflächen an den vorbestimmten Seiten der Betriebsstellen,
- Berücksichtigung der Folgen von Erweiterungen der technischen Anlagen,
- Parallele Anordnung von Haupt- und Nebenfunktionszonen sowie der Flure zur festgelegten Erweiterungsrichtung⁸⁴

Die Mikroerweiterbarkeit bzw. reduzierbarkeit ist zwar wünschenswert, tatsächlich jedoch kaum zu realisieren, da sie immer Flächenreserven beinhaltet. Diese Reserven müssen mit einem erheblichen baulichen Aufwand hergestellt werden und unterliegen keiner konkreten Zweckbestimmung. Darüber hinaus sind der Zeitpunkt und die zu realisierende Nutzung bei der Errichtung unbestimmt. Es werden damit tote Flächen geschaffen, die einen erheblichen Kapitaldienst verursachen und daher aus wirtschaftlichen Gründen nicht zu vertreten sind. Darüber hinaus müssen auch nicht genutzte Flächen betrieben werden, wodurch Fixkosten bei Heizung, Beleuchtung, Reinigung und baulicher Instandhaltung entstehen, die das Krankenhausbudget belasten.

- Makroerweiterbarkeit bzw. -reduzierbarkeit: Anpassungsfähigkeit eines Entwurfes oder Gebäudes an den wachsenden oder reduzierten Raumbedarf durch Addition oder Subtraktion von Betriebsstellen

Entwurfsregeln:

- Vorbestimmung der Seiten, an denen angebaut werden kann,
- Vorhaltung von Bebauungsflächen für weitere Betriebsstellen,
- Wahl eines Wegesystems entsprechend der Erweiterungserwartung,
- Berücksichtigung der Folgen von Erweiterung bei Stapelung von Betriebsstellen⁸⁵.

Die Makroerweiterbarkeit setzt Flächenreserven auf dem Grundstück voraus, die sich jedoch nur bei Neubauten oder durch Zuerwerb von Baugrundstücken realisieren lassen. Bestehende Krankenhäuser haben, insbesondere in Innenstadtlagen häufig keine freien bebaubaren Flächen, die für Erweiterungen genutzt werden könnten. Darüber hinaus stellt sich unter den gegebenen verschärften wirtschaftlichen Rahmenbedingungen nicht die Frage nach Erweiterungsflächen.

Trotzdem sollte dieser Aspekt bei Neubauten berücksichtigt werden. Durch Veränderungen der medizinischen Ausrichtung des Hauses oder durch die Zu-

⁸⁴ Dirichlet/Labryga/Poelzig/Schlenzig, Krankenhausbau, Maßkoordination-Entwurfsstrategie-Anwendungsbeispiele, 1979, Seite 8 und 56

⁸⁵ Dirichlet/Labryga/Poelzig/Schlenzig, Krankenhausbau, Maßkoordination-Entwurfsstrategie-Anwendungsbeispiele, 1979, Seite 8 und 56

sammenlegung von Krankenhäusern kann es notwendig werden, einen bestehenden Baukörper zu erweitern. Makroerweiterbarkeit ist somit eine Grundsatzforderung, die unbedingt berücksichtigt werden sollte. Nebenbei bemerkt ist dies keine krankenhausspezifische Forderung. Praktisch jeder Industrie- oder Gewerbebetrieb plant bei einem Betriebsneubau Flächenreserven für die Erweiterung der betrieblichen Kapazitäten ein.

Für Krankenhäuser ist es infolge der sich stark und schnell verändernden Ausgangssituation und der kürzeren Wandelzyklen daher wichtig, die Wandelbarkeit zu erhalten oder zu erreichen. Wandelbarkeit ist die Haupt- und Grundsatzforderung für Krankenhäuser, die sich zukünftig am Markt behaupten wollen. Betriebsstellen mit völlig unterschiedlicher Funktion, Ausstattung und Nutzung müssen in möglichst allen Teilen des Gebäudes untergebracht werden können. Dabei müssen auch die notwendigen und erheblichen gebäude- und medizintechnischen Anlagen und Geräte berücksichtigt und installiert werden können.

Um einen möglichst hohen Grad der Wandelbarkeit zu erreichen, sind bereits beim Entwurf die notwendigen Voraussetzungen zu schaffen:

- Trennung von Betriebsstellen mit unterschiedlicher Nutzung:
Damit wird erreicht, dass Betriebsstellen und die damit verbundenen Nutzungen ohne gegenseitige Beeinflussung verändert und/oder verlagert werden können.
- Einheitliche Geschosshöhen:
Sie erlauben es, unterschiedliche Betriebsstellen an völlig verschiedenen Stellen im Gebäude unterzubringen. Alle Flächen können sowohl für Krankenhausfunktionen als auch als Installationsbereiche genutzt werden. In Bestandsgebäuden reichen die Geschosshöhen in den Installationsbereichen, vor allem wenn es Einschränkungen durch Unterzüge gibt, häufig nicht aus, um energiesparende und wirtschaftliche Anlagen einbauen zu können. Es sollte eine lichte Geschosshöhe von mindestens 3,0 m vorgesehen werden. Damit können Installationsgeschosse mit ausreichendem Installationsraum erreicht werden. In Nutzgeschossen, die keine Installationsgeschosse benötigen (z. B. Normalpflegestationen), können die gebäudetechnischen Anlagen dann in abgehängten Decken installiert werden.
- Räumliche Zuordnung der gebäudetechnischen Anlagen zu den zu versorgenden Nutzbereichen:
Damit können Veränderungen ohne Eingriffe in die Versorgung von anderen Nutzbereichen durchgeführt werden. Dies schließt sowohl kleinere Umbauten von wenigen Räumen als auch die Grundsanierung oder Umnutzung von ganzen Betriebsstellen ein.
- Große Nutz- und Verkehrslasten:
Das Anwendungsspektrum wird verbreitert und die Umnutzung erleichtert. Einschränkungen durch die Statik, vor allem bei hohen Einzellasten, wie sie bei vielen medizintechnischen Geräten (CT, MRT u. ä.) entstehen, werden vermieden.

- **Möglichst große statische Spannweiten:**
Die entwerferische und planerische Freiheit und Flexibilität werden vergrößert, da es nur wenige oder gar keine Einschränkungen durch tragende Bauteile gibt.
- **Keine Unterzüge:**
Die Flexibilität in der Nutzung wird stark erhöht, deckengebundene gebäude- und medizintechnische Anlagen können problemlos und wirtschaftlich installiert werden. Die Trassenbildung wird erleichtert. Die Unterzüge sollten auf die Hauptachsen zwischen den Stützen beschränkt bleiben. Nebenunterzüge sind zu vermeiden. Die statische Dicke der Decken wird größer.
- **Einheitliche Größen der Betriebsstellen und Baukörper:**
Nutzungseinheiten können verlagert und in bestehende Baukörper integriert werden. Neue Betriebsstellen können ohne Veränderungen der tragenden Konstruktion eingerichtet werden.
- **Große statische Kapazitäten in den tragenden Bauteilen (Stützen, Wände):**
Damit können auch große statische Einzel- oder Flächenlasten abgeleitet werden. Erhöhungen der statischen Kapazitäten in den tragenden Bauteilen können bei Neubauten in der Regel für einen sehr geringen finanziellen und baulichen Mehraufwand erreicht werden.
- **Vermeidung von zentralen gebäudetechnischen Anlagen:**
Die Eingriffe in die technische Gebäudeausrüstung werden bei Umbauten, Instandhaltung, Reparatur und Umnutzungen minimiert. Dies gilt vor allem für die RLT-Anlagen, die nicht als Zentralanlage für die Versorgung des gesamten Hauses geplant werden sollten, da sich dann jede Nutzungsänderung auf die Zentralanlage auswirkt und damit alle angeschlossenen Bereiche betroffen sind. Bei dezentralen RLT-Anlagen, die jeweils nur in sich geschlossene Nutzungsbereiche versorgen, wird dies vermieden.
- **Vollständige äußere Wegeföhrung:**
Das Gebäude sollte von allen Seiten bis an die Fassaden gut zu erreichen und für eine äußere Baustellenerschließung bis in alle Ebenen geeignet sein. Die hierfür notwendigen Wege können mehrfach genutzt sein, z. B. als Feuerwehrumfahrt, Spazierweg etc..
- **Einheitliches konstruktives Raster, einheitliches Ausbauraster:**
Dies stellt sicher, dass Betriebsstellen komplett verlagert und verändert werden können. Die planerische Freiheit wird stark erhöht.
Als Konstruktionsraster wird häufig 7,80 m · 7,80 m, z. T. auch 10,80 m · 10,80 m, verwendet. Das Ausbauraster beträgt n · (0,60 m · 0,60 m).
- **Hauptversorgungsanlagen mit Reserven und Redundanzen:**
Versorgungsanlagen, die das gesamte Gebäude betreffen, sind mit Redundanzen und Reserven zu planen. Die Gebäudeeinspeisungen für die Wasser-, Wärme- und Elektrizitätsversorgung sind redundant vorzusehen. Die Hauptversorgungsleitungen sind zu jedem angeschlossenen Versorgungsbereich einzeln zu föhren und müssen großzügige Reserven haben. Damit können Um-

nutzungen ohne Eingriffe in die Hauptversorgungszentralen durchgeführt werden.

Die Hauptversorgungsleitungen sind in vertikalen Schächten zu führen, von denen die Bereichsleitungen zu den Versorgungsbereichen horizontal abzunehmen sind.

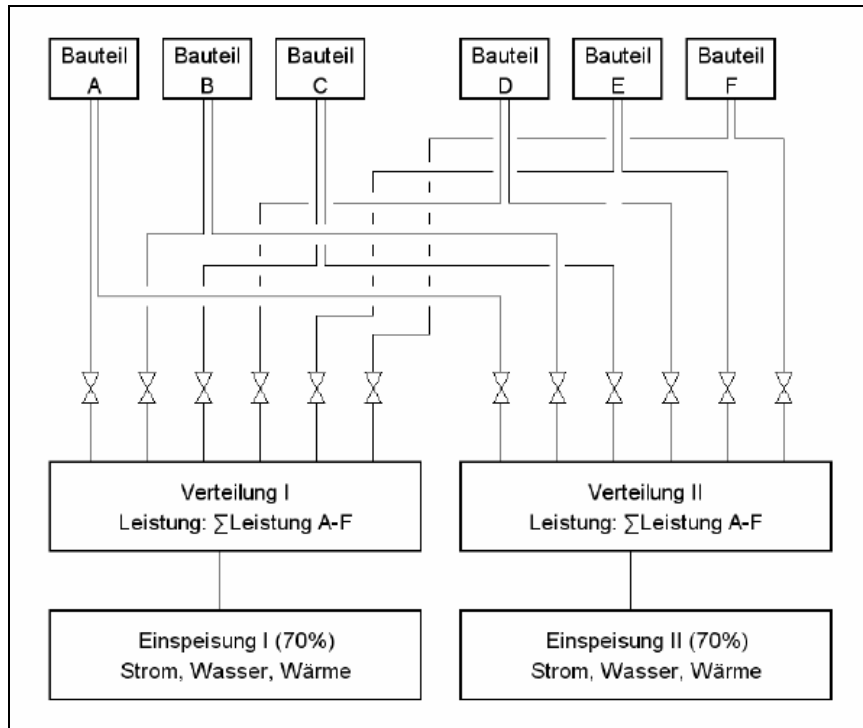


Abbildung 4.1/2: Prinzipschema Versorgungsanschlüsse eines Krankenhauses

Alle genannten Maßnahmen stellen ein Höchstmaß an Wandelbarkeit, entwerferischer Freiheit und funktionaler Flexibilität sicher. Damit ist auch verbunden, dass die gebäudetechnischen Anlagen wirtschaftlich und energiesparend geplant und installiert werden können.

Der Mehraufwand, der hierfür beim Neubau eines Krankenhauses getrieben werden muss, insbesondere in finanzieller Hinsicht, ist vergleichsweise gering, zahlt sich aber in jedem Fall über einen sehr kurzen Zeitraum wieder aus. Die Betriebskosten werden minimiert und die Nutzung flexibilisiert. Die Kosten bei baulichen Umnutzungen werden, vor allem, wenn die Minimierung der betrieblichen Einschränkungen bei Baumaßnahmen berücksichtigt wird, drastisch verringert. Die Investitionen in die Wandelbarkeit des Gebäudes lassen eine sehr kurze Kapitalrückflusszeit erwarten.

Für Krankenhäuser gibt es unzählige verschiedene Entwürfe, da die Anforderungen stark unterschiedlich sind und sich nach dem medizinischen Profil richten. Einheitliche oder normierte Grundrisse lassen sich kaum definieren. Nur selten ist es möglich, alle Anforderungen an das idealtypische Krankenhaus zu verwirklichen.

Trotzdem können verschiedene Grundtypen unterschieden werden. Wesentliche Unterscheidungsmerkmale sind dabei die offene oder geschlossene Magistrale und die Lage der Pflegebereiche zu den anderen Bereichen⁸⁶.

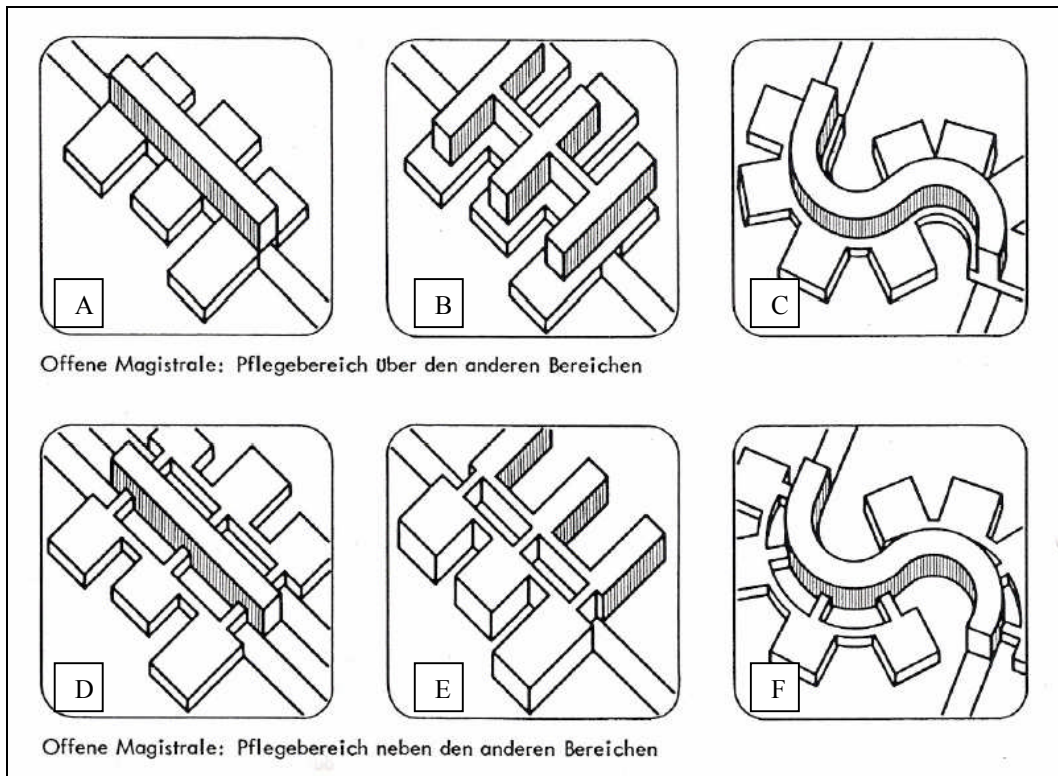


Abbildung 4.1/3: Prinzipdarstellung Krankenhäuser mit offener Magistrale⁸⁷

⁸⁶ Vgl. Dirichlet/Labryga/Poelzig/Schlenzig, Krankenhausbau, Maßkoordination-Entwurfsstrategie-Anwendungsbeispiele, 1979, Seite 97

⁸⁷ Dirichlet/Labryga/Poelzig/Schlenzig, Krankenhausbau, Maßkoordination-Entwurfsstrategie-Anwendungsbeispiele, 1979, Bild 92

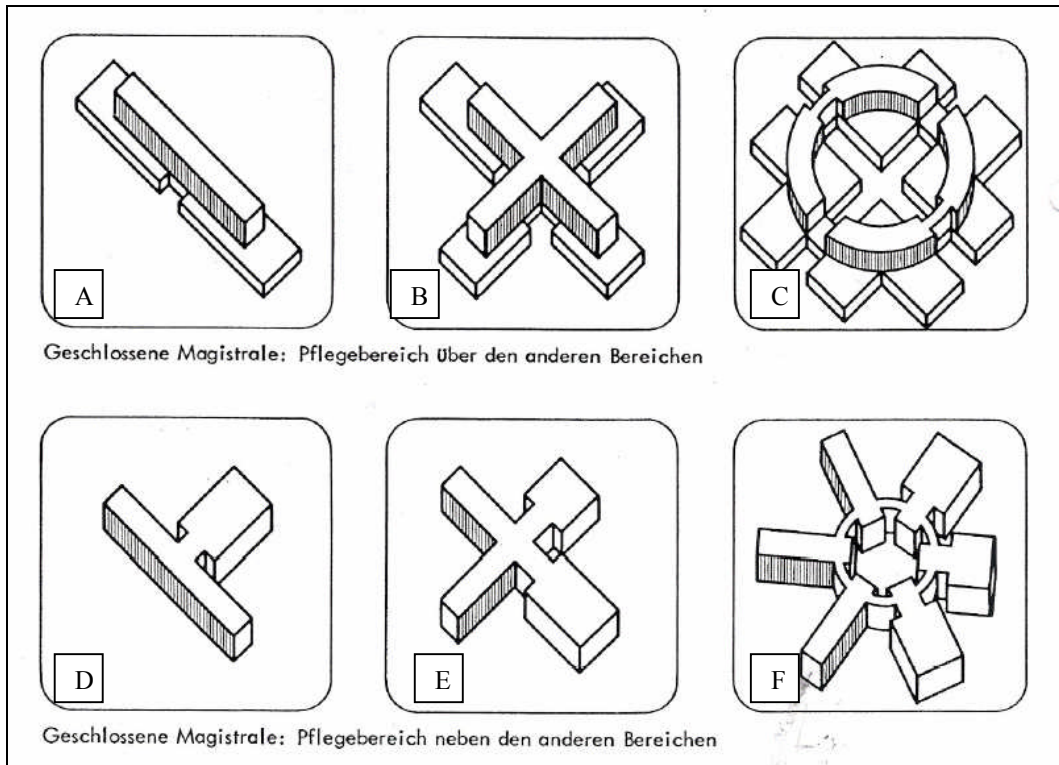


Abbildung 4.1/4: Prinzipdarstellung Krankenhäuser mit geschlossener Magistrale⁸⁸

Lohfert definiert ebenfalls als bestimmendes Kriterium zur Differenzierung die „Zuordnung von Pflegebereichen zu Untersuchungs- und Behandlungseinrichtungen“ und daraus verschiedene Typen, z. B. Breitfuß-, Block-, Kreuz- und Reihentypus⁸⁹.

Daneben gibt es eine Vielzahl von Mischformen oder nicht typisierbaren Gebäudekonfigurationen. Ursächlich hierfür ist, dass die Krankenhäuser häufig historisch gewachsen sind und durch Erweiterungen, Abbrüche, Umbauten, Aufstockungen und Umnutzungen viele Veränderungen erfahren haben und deshalb nicht nach einheitlichen Entwurfskriterien entstanden sind.

Auf dieser Grundlage werden nachfolgend zwei Grundtypen vorgestellt und bezüglich ihres energetischen Charakters nach den unter 3. vorgestellten Kriterien untersucht. Basis ist ein noch zu definierendes Referenzkrankenhaus.

⁸⁸ Dirichlet/Labryga/Poelzig/Schlenzig, Krankenhausbau, Maßkoordination-Entwurfsstrategie-Anwendungsbeispiele, 1979, Bild 93

⁸⁹ Lohfert & Lohfert AS, Methodik der Krankenhausplanung, 2005, S. 25

4.2 Referenzkrankenhaus

Das Referenzkrankenhaus gibt die medizinischen und pflegerischen Vorgaben, die zu realisieren und unterzubringen sind, an und ist ein Muster für die Struktur in einem durchschnittlichen Krankenhaus der Allgemeinversorgung, wie es in vielen Versorgungsbereichen zu finden ist. Es wird charakterisiert durch die Bettenzahl und die Art, Größe und Ausstattung der Untersuchungs- und Behandlungseinrichtungen. Um es zu definieren, werden zunächst die Daten der Krankenhausstatistik herangezogen und dann ein Vergleich mit einigen Krankenhäusern geführt.

Nach der Krankenhausstatistik 2003 gab es in Deutschland 552.680 Betten in 2.240 Krankenhäusern, die sich wie folgt aufteilen⁹⁰:

Fachabteilung	Anzahl der Fachabt.	Anzahl der Fachabt. in %	Anzahl der Betten	Anzahl der Betten in %	Pflege-tage in 1000	Pflege-tage in %	Fälle in 1000	Fälle in %
Augenheilkunde	377	4	6.901	1	1.732,7	1	419,9	2
Chirurgie, davon	1.497	17	134.815	24	38.519,2	24	4.396,5	25
Kinderchirurgie	82	1	2.519	0	589,1	0	119,0	1
Thorax- und Kardiovas-kularchirurgie	105	1	5.070	1	1.841,1	1	177,4	1
Frauenheilk. und Geburtshilfe, davon	1.119	13	47.065	9	11.953,4	7	2.010,8	11
Frauenheilkunde	734	9	19.586	4	4.885,9	3	799,5	5
Geburtshilfe	642	7	12.082	2	3.107,2	2	542,8	3
Hals-, Nasen-, Ohren-Heilkunde	864	10	14.025	3	3.804,8	2	684,4	4
Haut- und Geschlechtskrankheiten	118	1	5.409	1	1.625,9	1	158,7	1
Innere Medizin, davon	1.539	18	180.861	33	55.242,5	34	6.004,3	34
Kardiologie	233	3	16.252	3	5.254,0	3	821,3	5
Lungen- und Bronchial-Heilk.	81	1	6.672	1	1.951,6	1	214,9	1
Rheumatologie	62	1	3.263	1	909,0	1	51,0	0
Geriatric	168	2	9.520	2	2.905,2	2	158,7	1
Kinderheilkunde	380	4	21.842	4	5.678,2	3	900,3	5
Mund-, Kiefer-, Gesichtschirurgie	197	2	2.670	0	710,7	0	111,2	1
Neurochirurgie	147	2	6.202	1	1.921,7	1	193,1	1
Neurologie	369	4	19.694	4	6.188,9	4	516,8	3
Orthopädie	411	5	25.188	5	7.569,4	5	641,4	4
Strahlentherapie	167	2	3.581	1	1.004,7	1	98,7	1
Urologie	528	6	16.772	3	4.790,7	3	693,2	4
Kinder- und Jugendpsychiatrie	113	1	4.571	1	1.463,1	1	31,1	0
Psychiatrie	391	5	54.289	10	17.866,0	11	659,0	4
Sonst. Fachber./Allgemeinbetten	399	5	8.795	2	2.703,2	2	237,0	1
Fachabteilungen insgesamt	8.616	100	552.680	100	162.775,1	100	17.756,4	100

Tabelle 4.2/1: Fachabteilungen, Bettenzahlen, Pflegetage und Fälle in Krankenhäusern⁹¹

⁹⁰ Deutsche Krankenhausgesellschaft. Zahlen, Daten Fakten 2003, Seite 21

⁹¹ Deutsche Krankenhausgesellschaft. Zahlen, Daten Fakten 2003, Seite 26

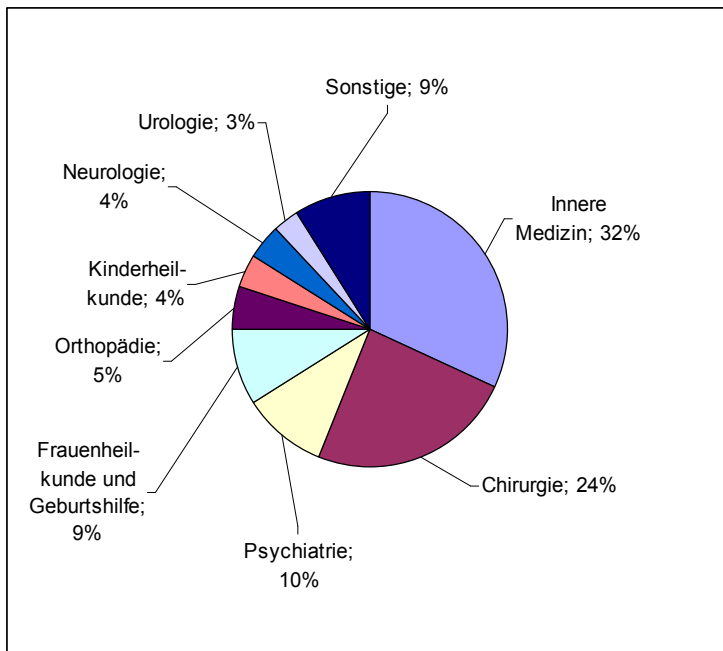


Abbildung 4.2/1: Fachabteilungen in Krankenhäusern nach aufgestellten Betten 2001⁹²

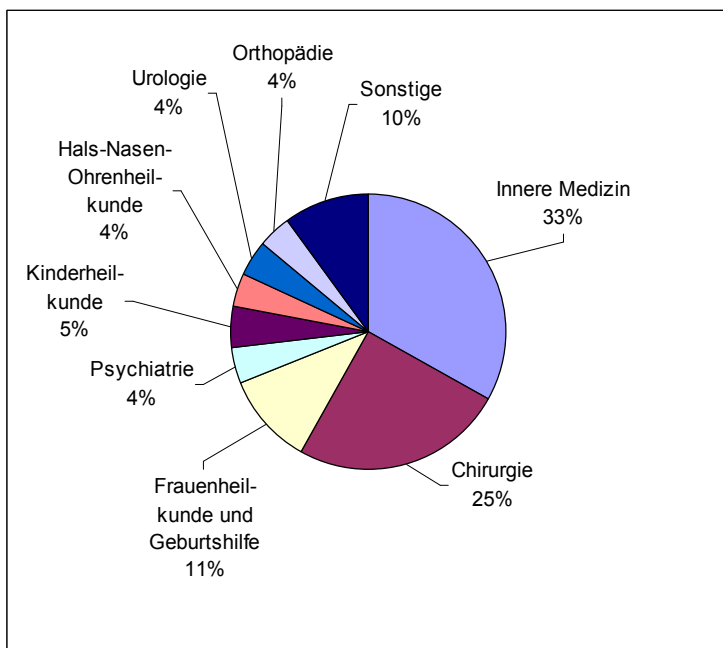


Abbildung 4.2/2: Fachabteilungen in Krankenhäusern nach Anzahl der Patienten 2001⁹³

Die innere Medizin erfordert ca. 1/3 der Fachabteilungen, der Betten und der Pfl egetage, gefolgt von den chirurgischen Abteilungen mit ca. 1/4 des Aufwandes.

⁹² Deutsche Krankenhausgesellschaft. Zahlen, Daten Fakten 2003, Seite 27

⁹³ Deutsche Krankenhausgesellschaft. Zahlen, Daten Fakten 2003, Seite 27

Ein weiterer Schwerpunkt ist die Frauenheilkunde und Geburtshilfe, die etwa 10 % des Aufwandes in Anspruch nimmt. Die Psychiatrie benötigt ebenfalls ca. 10 % der Betten, hat aber nur 4 % der Patienten, was auf lange Verweildauern schließen lässt. Die übrigen Fachabteilungen benötigen kleinere Anteile und sind daher nicht flächendeckend vertreten. Dies wird durch die Analyse der Struktur einiger ausgewählter Krankenhäuser bestätigt.

Auch hier zeigt sich, dass die Haupttätigkeitsschwerpunkte die innere Medizin, die Chirurgie sowie die Frauenheilkunde und Geburtshilfe sind. Auf diese Weise wurde ein Überblick der medizinischen Versorgungsstruktur in Deutschland gewonnen.

Nachfolgend werden die Daten von insgesamt 14 Krankenhäusern der Allgemeinversorgung, wie sie an vielen Standorten zu finden sind, erhoben, um Daten für die Bestimmung der Struktur des Referenzkrankenhauses zu gewinnen.

	Klinikum	Mathias-Spital	Krankenhaus Lippe-Detmold	evang. Krankenhaus Lütgendortmund	St. Johannes-Hospital	Städt. Kliniken Bielefeld Mitte	Kreis-klinikum Siegen	Städt. Krankenhaus Holweide	St. Elisabeth-Krankenhaus	St. Vinzenz-Hospital	Clemens-hospital	St. Franziskus-Hospital	St. Vinzenz-Krankenhaus	Städt. Kliniken	Durchschnittswert
	Ibbenbüren	Rheine	Detmold	Dortmund	Dortmund	Bielefeld	Siegen	Köln	Köln	Köln	Münster	Münster	Paderborn	Mönchenbladbach	
Augenheilkunde			10		50		8		25			9	12		8
Chirurgie	137	115	170	85	187	170	130	131	107	130	101	120	153	85	130
Chirurgie (Allgemein)									57	41			63		12
Unfallchirurgie	62	50	82			78	50			59			90		34
Gefäßchirurgie					41					30		35		25	9
Thoraxchirurgie						28					30				4
Viszeralchirurgie						64			50						8
Frauenheilkunde	26	35	45	23	56	73	8	52	50	20	32	42	52	33	39
Senologie	6					20							15		3
Geburtshilfe	22	25	34	19	25	39		34	28	22	13	28	38	42	26
HNO-Heilkunde	3	9	10		46	40	16	55	54		10	10		5	18
Herzchirurgie					62										4
Innere Medizin	153	140	247	93	199	258	176	144	115	95	140	215	138	133	160
Innere Medizin (Allgemein)						120			83	60			99		26
Gastroenterologie	34				30		56		32			80		20	18
Geriatric														123	9
Hämatologie					28	20									3
Kardiologie	34	40	54		64	118				35		84	50	40	37
Kinderheilkunde		40	72								50	80	75	96	30
Mund-Kiefer-Gesichts-Chirurgie			10										6		1

Nephrologie					40										3
Neurologie	37											78			8
Neurochirurgie										65					5
Nukearmedizin (Therapie)		5													1
Orthopädie	49		75			55						85			19
Orthopädie (Allgemein)						55									4
Pneumologie						20	20				40				6
Psychiatrie				68			140								15
Strahlentherapie						16					20				3
Urologie	33	37	69				38	49	55					48	24
Internistische Rheumatologie							20								1
Gesamtbetten- zahl	460	406	742	288	625	651	606	465	434	267	431	589	563	565	507
Anzahl OP-Säle	8	9	15	4	14	12	4		11	4		14	10	5	8
Anzahl MRT	1	2	1	-	2	1	1		1	-		1	1	1	1
Anzahl CT	1	1	1	1	1	1	2		1	1		1	1	1	1
Intensivpflege- betten	19	15	27	8	32	24	18	21	14	10		21	32	18	20

Tabelle 4.2/2: Fachabteilungen, Bettenzahlen und Einrichtungen ausgewählter Krankenhäuser⁹⁴

⁹⁴ Krankenhausdatenbank des Landes NRW, <http://www.mags.nrw.de/krankenhausdb/index.php3>

Auf dieser Grundlage wird das Referenzkrankenhaus wie folgt definiert:

Krankenhaus der Allgemeinversorgung

Bettenzahl: 500 – 550

Anzahl der Fachabteilungen: 12

1 Zentrale OP-Abteilung,
Anzahl der OP-Säle: 8

1 Intensivstation:
16 Intensivbetten, davon
4 Einzelzimmer mit Vorraum und
6 Doppelzimmer ohne Vorraum

1 Aufnahme und Notfallversorgung,

1 zentrale Röntgendiagnostik,
Ausstattung:
1 Magnetresonanztomograph
1 Computertomograph
5 Röntgengeräte

1 Entbindungsabteilung,
4 Entbindungsräume

1 Abteilung für Funktionsdiagnostik

1 Betriebsstelle Untersuchung und Behandlung

17 Pflegestationen,
Bettenzahl je Pflegestation: 30

Verwaltung, Arztbüros, Bereitschaftsräume, Seelsorge

Küche, Reinigungs-, Desinfektions-, Sterilisationsabteilung, Werkstätten und sonstige Servicebereiche sind in externen Gebäuden untergebracht.

Bei der Planung sind einige grundlegende funktionale Zusammenhänge zu berücksichtigen. Sie sind für einen wirtschaftlichen und reibungsarm funktionierenden Betriebsablauf notwendig.

	Pflegebereich	OP-Bereich	Intensivbereich	Sterilisation	Geburts-hilfe	Notfallbereich	Labor	Nukleartherapie	Unters.-bereich	Röntgenbereich	Tagesklinik
Pflegebereich			□		□			□		△	
OP-Bereich			○	○	○	△	△				○
Intensivbereich				△		△	△			△	
Sterilisation											
Geburts-hilfe						△			□		
Notfallbereich							△			○	○
Labor									□		□
Nukleartherapie											
Unters.-bereich										△	△
Röntgenbereich											△
Tagesklinik											

○ sehr gute Anbindung gefordert △ gute Anbindung sinnvoll □ Anbindung wünschenswert

Tabelle 4.2/3: Funktionale Beziehungen der Betriebsstellen eines Krankenhauses⁹⁵

Die stärksten Anforderungen an funktionale Beziehungen bestehen danach bei der OP-Abteilung, die zu vielen anderen Betriebsstellen enge Anbindungen benötigt. Der Pflegebereich kann in weiten Teilen unabhängig von anderen Betriebsstellen gesehen werden. Funktionale Anbindungen sind hier zwar wünschenswert, jedoch nicht zwingend erforderlich.

⁹⁵ Neufert, Bauentwurfslehre, 35. Auflage, 1998, Seite 530

4.3. Energetische Bewertung von zwei Entwurfstypen / dimensionslose Energieaufwandzahlen

Mit den so gewonnenen Daten der medizinischen und funktionalen Struktur können nunmehr zwei Krankenhaus-Gebäudetypen hinsichtlich der energetischen Struktur des Entwurfes definiert und analysiert werden. Dabei muss die in 4.2 definierte Struktur in beiden Typen umgesetzt werden, sodass ein Vergleich beider Typen möglich wird und die Schwerpunkte des Energieverbrauches aufgezeigt werden können. Ziel ist es, Kriterien zu bestimmen, die bei den zu vergleichenden Typen zu berücksichtigen sind, um einen energetisch optimierten Entwurf zu erreichen.

4.3.1 Mehrfach-H-Typ

Dieser Gebäudetypus ist durch eine offene Magistrale gekennzeichnet. Die Geschosszahl ist gering. Die Pflegebereiche werden auf der einen Seite der Magistrale angeordnet, die Funktionsbereiche auf der anderen Seite, wodurch die Bereiche scharf getrennt werden.

Die Ver- und Entsorgung von bzw. mit Speisen, Wäsche, Sterilisationsgut, Medikamenten und sonstigen Gütern erfolgt von extern über das Untergeschoss.

Im Untergeschoss befinden sich die zentralen gebäudetechnischen Versorgungsanschlüsse. Die RLT-Anlagen sind dezentral strukturiert. Die Pflegebereiche sind natürlich belüftet und belichtet.

Untergeschoss:	lichte Raumhöhe 3,0 m Technikzentralen, Zentralen der Medienanschlüsse, Prosekur/Pathologie, Lager
Erdgeschoss:	lichte Raumhöhe 3,0 m Aufnahme/Notfallversorgung, Zentral-OP-Bereich, Röntgendiagnostik, 5 Pflegestationen
1. Obergeschoss:	lichte Raumhöhe 3,0 m Technik Zentral-OP-Bereich, Technik Aufnahme/Notfallversorgung, Technik Röntgendiagnostik Verwaltung, Arztbüros, Bereitschaftsräume, Seelsorge 4 Pflegestationen

2. Obergeschoss:	lichte Raumhöhe 3,0 m Intensivstation, Entbindung, Funktionsdiagnostik, Verwaltung, Arztbüros, Bereitschaftsräume, Seelsorge, 4 Pflegestationen
3. Obergeschoss:	lichte Raumhöhe 3,0 m Technik Intensivstation, Untersuchung und Behandlung, 4 Pflegestationen
4. Obergeschoss/ Dachfläche:	lichte Raumhöhe 3,0 m Technik, Aufzugtechnik, Hubschrauberlandeplatz
Konstruktionsraster:	7,80 m x 7,80 m

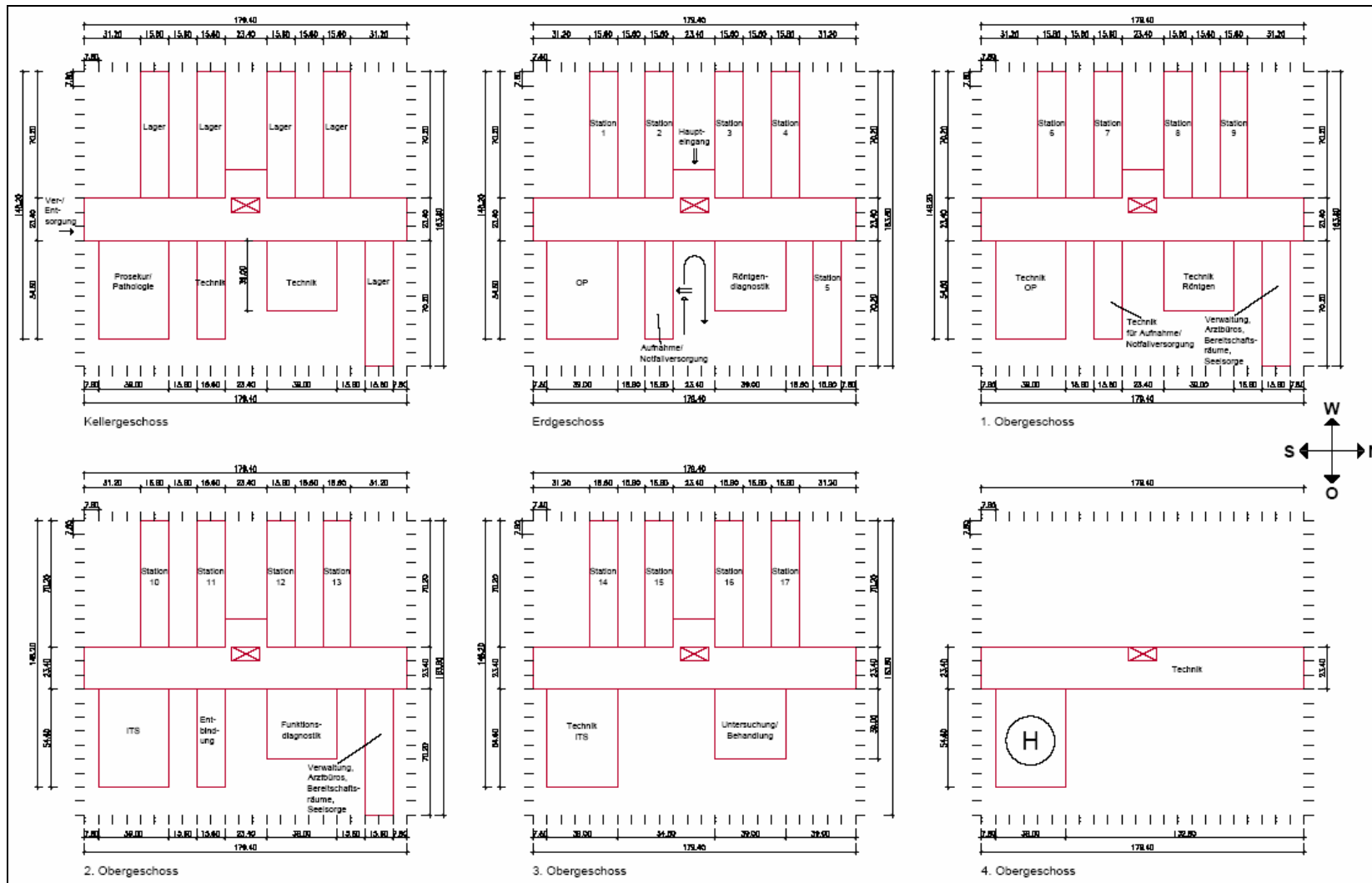


Abbildung 4.3.1/1: Struktur Mehrfach-H-Typ flach

Nachfolgend werden die Bereiche unter energetischen Gesichtspunkten hinsichtlich ihrer Struktur anhand der Kriterien nach Nr. 3 analysiert und mit der jeweils zugehörigen flächenbezogenen Energieaufwandszahl bewertet. Maßgeblich ist der Primärenergieverbrauch. Der so ermittelte summierte Energieverbrauch wird dann zu dem mit der optimalen flächenbezogenen Energieaufwandszahl ermittelten Energieverbrauch ins Verhältnis gesetzt. Die flächenbezogenen Energieaufwandszahlen werden nach Tab. 3.7/3 bestimmt. Die Flächen werden aus dem Konstruktionsraster der jeweiligen Betriebsstelle bestimmt.

OP-Säle:

Installationsverhältnisse sind gut, da die gebäudetechnischen Anlagen im Installationsbereich direkt über den OP-Sälen untergebracht sind.

anzusetzende flächenbezogene Energieaufwandszahl:	3.648 kWh/(m ² · a)
optimale flächenbezogene Energieaufwandszahl:	3.648 kWh/(m ² · a)
Fläche: 8 OP-Säle x 44,50 m ² (vgl. 3.2.2.1) =	356,00 m ²

OP-Nebenräume:

Die Installationsverhältnisse sind gut, da die gebäudetechnischen Anlagen im Installationsbereich direkt über den OP-Nebenräumen untergebracht sind. Die thermisch sensiblen Räume sind durch Pufferräume gegenüber zusätzlichen äußeren Lasten gepuffert. Es kommen massive speicherfähige Konstruktionen zur Ausführung.

anzusetzende flächenbezogene Energieaufwandszahl:	663 kWh/(m ² · a)
optimale flächenbezogene Energieaufwandszahl:	663 kWh/(m ² · a)
Fläche: 54,60 m x 39,00 m – 356 m ² =	1.773,40 m ²

Intensivstation:

Die Installationsverhältnisse sind gut, da die technischen Anlagen im Installationsbereich direkt über der Intensivstation untergebracht sind. Die Fassaden sind nach Süden und Norden orientiert. Es kommen Sonnenschutzeinrichtungen und massive speicherfähige Konstruktionen zur Ausführung.

anzusetzende flächenbezogene Energieaufwandszahl:	1.479 kWh/(m ² · a)
optimale flächenbezogene Energieaufwandszahl:	1.479 kWh/(m ² · a)
Fläche: 54,60 m x 39,00 m =	2.129,40 m ²

Aufnahme und Notfallversorgung:

Der Bereich ist mit einer RLT-Anlage ausgerüstet. Die Installationsverhältnisse sind gut, da sich die gebäudetechnischen Anlagen im Installationsbereich direkt über der Betriebsstelle befinden. Die Fassaden sind nach Süden und Norden orientiert.

Luftwechselzahl:	3,0 h ⁻¹
Außenluftanteil	100 %
Betriebszeit der RLT-Anlage	100 %
Relative Höhe der flächenbezogenen Energieaufwandszahl:	2,0 (siehe Tab. 3.6/2)
Referenzbereich des Krankenhauses:	OP-Nebenräume

anzusetzende flächenbezogene Energieaufwandszahl:	663 kWh/(m ² · a)
optimale flächenbezogene Energieaufwandszahl:	663 kWh/(m ² · a)
Fläche: 46,80 m x 15,60 m =	730,08 m ²

Röntgendiagnostik:

Der Bereich ist mit einer RLT-Anlage ausgerüstet. Die Installationsverhältnisse sind gut, da sich die gebäudetechnischen Anlagen im Installationsbereich direkt über der Betriebsstelle befinden. Die Fassaden sind nach Süden und Norden orientiert. Die Technikbereiche sind in die Nutzräume integriert.

anzusetzende flächenbezogene Energieaufwandszahl:	1.185 kWh/(m ² · a)
optimale flächenbezogene Energieaufwandszahl:	720 kWh/(m ² · a)
Fläche: 39,00 m x 39,00 m =	1.521,00 m ²

Entbindung:

Der Bereich ist natürlich belüftet und belichtet. Die Fassaden sind nach Süden und Norden orientiert.

Luftwechselzahl:	0,0 h ⁻¹
Relative Höhe der flächenbezogenen Energieaufwandszahl:	1,0 (siehe Tab. 3.6/2)
Referenzbereich des Krankenhauses:	Pflegebereiche
anzusetzende flächenbezogene Energieaufwandszahl:	334 kWh/(m ² · a)
optimale flächenbezogene Energieaufwandszahl:	334 kWh/(m ² · a)
Fläche: 46,80 m x 15,60 m =	730,08 m ²

Funktionsdiagnostik:

Der Bereich ist mit einer RLT-Anlage ausgerüstet. Die Installationsverhältnisse sind gut, da sich die gebäudetechnischen Anlagen im Installationsbereich direkt über der Betriebsstelle befinden. Die Fassaden sind nach Süden und Norden orientiert.

Luftwechselzahl:	3,0 h ⁻¹
Relative Höhe der flächenbezogenen Energieaufwandszahl:	3,0 (siehe Tab. 3.6/2)
Referenzbereich des Krankenhauses:	Röntgendiagnostik
anzusetzende flächenbezogene Energieaufwandszahl:	720 kWh/(m ² · a)
optimale flächenbezogene Energieaufwandszahl:	720 kWh/(m ² · a)
Fläche: 39,00 m x 15,60 m =	608,40 m ²

Untersuchung und Behandlung:

Es handelt sich um einen von allen Fachbereichen des Hauses genutzten Bereich, der flexibel ausgestattet und nutzbar ist. Er hat keine fachspezifischen Untersuchungs- und Behandlungsräumen. Die Geräteausstattung ist gering. Der Bereich ist natürlich belüftet und belichtet. Die Fassaden sind nach Süden und Norden orientiert. Der Bereich ist mit dem unter 3.6 vorgestellte Verfahren zu bewerten (vgl. Tab. 3.6.1 und 3.6/2).

Nr.		Untersuchung und Behandlung
1	Luftwechselzahl der RLT-Anlage	0
2	Außenluftanteil	2
3	Innere Kühllasten	0
4	äußere Kühllasten	7
5	Heizlast	0
6	Luftförderung	2
7	Beleuchtung	3
8	Geräte	3
9	Warmwasserbereitung	3
10	Betriebszeiten der RLT-Anlage	0
	Bezug Tabelle	
	Relative Höhe der flächenbezogenen Energieaufwandszahl	0,7

Tabelle 4.3.1/1:
Relative Bewertung der maßgeblichen Einflusskriterien auf den Energieverbrauch der Betriebsstelle Untersuchung und Behandlung

Daraus ergibt sich folgendes Liniendiagramm:

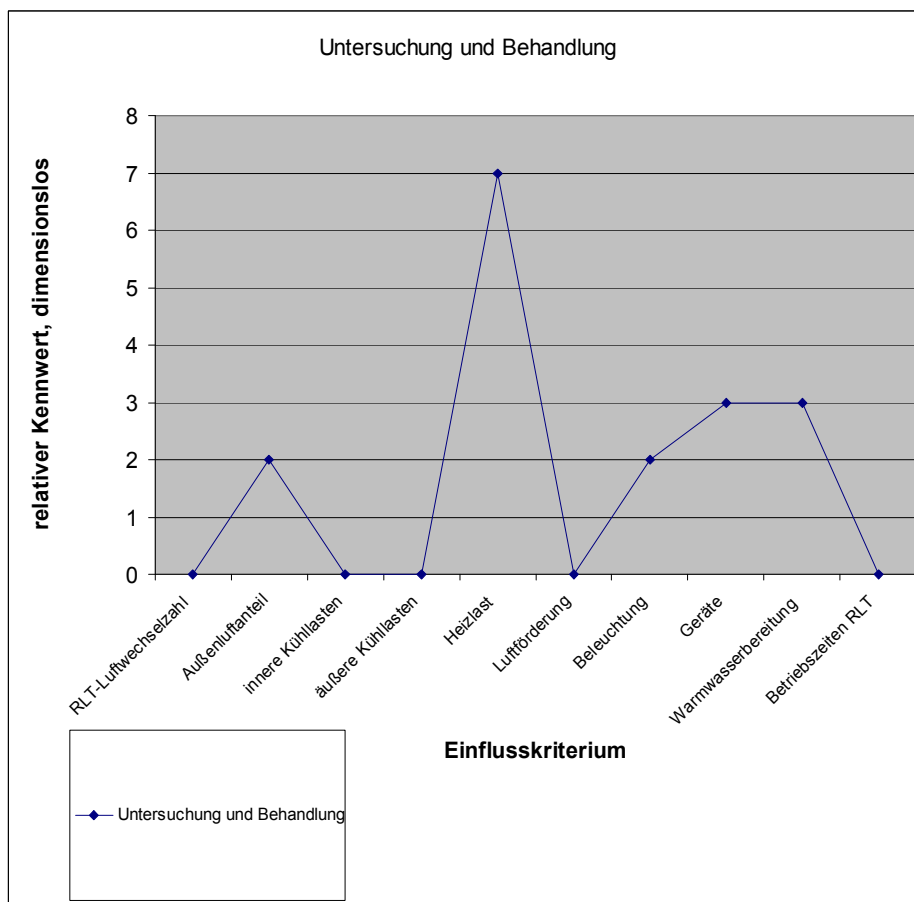


Abbildung 4.3.1/2: Liniendiagramm relative Bewertung der maßgeblichen Einflusskriterien auf den Energieverbrauch der Betriebsstelle Untersuchung und Behandlung

Der Diagrammverlauf entspricht weitgehend dem der Pflegebereiche (vgl. Tab. 3.6/1 und Abb. 3.6/1), die deshalb als Referenzbereich verwendet werden.

Referenzbereich des Krankenhauses:	Pflege
anzusetzende flächenbezogene Energieaufwandszahl:	334 kWh/(m ² · a)
optimale flächenbezogene Energieaufwandszahl:	334 kWh/(m ² · a)
Fläche: 39,00 m x 15,60 m =	608,40 m ²

Pflegebereiche:

Die Pflegebereiche sind natürlich belüftet (keine RLT-Anlage) und natürlich belichtet.

anzusetzende flächenbezogene Energieaufwandszahl:	334 kWh/(m ² · a)
optimale flächenbezogene Energieaufwandszahl:	334 kWh/(m ² · a)
Fläche: 17 x 70,20 m x 15,60 m =	18.617,04 m ²

Verwaltung, Arztbüros, Bereitschaftsräume, Seelsorge:

Die Bereiche sind natürlich belüftet (keine RLT-Anlage) und natürlich belichtet.

Luftwechselzahl:	0,0 h ⁻¹
Referenzbereich des Krankenhauses	Pflege
Relative Höhe der flächenbezogenen Energieaufwandszahl:	2,0 (siehe Tab. 3.6/2)
anzusetzende flächenbezogene Energieaufwandszahl:	334 kWh/(m ² · a)
optimale flächenbezogene Energieaufwandszahl:	334 kWh/(m ² · a)
Fläche: 2 x 70,20 m x 15,60 m =	2.190,24 m ²

Mit diesen Ausgangsdaten können jetzt der tatsächliche und der optimale Energieverbrauch ermittelt werden.

Der tatsächliche Energieverbrauch Q_{tats} ist das Produkt des flächenbezogenen tatsächlichen Energieverbrauches E_{Atats} und der Fläche A . Der optimale Energieverbrauch Q_{opt} ergibt sich als Produkt des flächenbezogenen optimalen Energieverbrauches E_{Aopt} und der Fläche A . Beides sind Berechnungswerte. Der optimale Energieverbrauch ergibt sich, wenn die Anforderungen an die Krankenhausbereiche zur Erreichung eines minimierten Energieverbrauches beim Entwurf optimal umgesetzt werden können.

Durch Verhältnisbildung werden dimensionslose Energieaufwandszahlen E_Z als Maß für die energetische Qualität sowohl für die einzelnen Bereiche des Krankenhauses als auch für das gesamte Gebäude bestimmt.

$$E_Z = \frac{Q_{tats}}{Q_{opt}}$$

(50)

E_Z gibt Aufschluss darüber, in welchem Maße der tatsächliche Energieverbrauch vom optimalen Energieverbrauch abweicht. Sie ist ein Instrument, um in einem sehr frühen Planungsstadium einen Maßstab für die energetische Qualität des Entwurfes zu gewinnen und Vergleiche zwischen verschiedenen Entwürfen oder Entwurfsvarianten unter energetischen Gesichtspunkten ziehen zu können.

Bereich	Fläche	Fläche in	flächenbezogene Energieaufwandszahl tatsächlich	Energieverbrauch tatsächlich	Energieverbrauch in	flächenbezogene Energieaufwandszahl optimal	Energieverbrauch optimal	dimensionslose Energieaufwandszahl
	A		E _{Atats}	Q _{tats}		E _{Atats}	Q _{opt}	E _Z
	m ²	%	kWh/(m ² ·a)	kWh/a	%	kWh/(m ² ·a)	kWh/a	
OP-Säle	356,00	1,22	3.648	1.298.688	8,25	3.648	1.298.688	1,00
OP-Nebenzimmer	1.773,40	6,06	663	1.175.764	7,47	663	1.175.764	1,00
Intensivstation	2.129,40	7,28	1.479	3.149.383	20,00	1.479	3.149.383	1,00
Aufnahme und Notfallversorgung	730,08	2,49	663	484.043	3,07	663	484.043	1,00
Röntgendiagnostik	1.521,00	5,20	1.185	1.802.385	11,45	720	1.095.120	1,65
Entbindung	730,08	2,49	334	243.847	1,55	334	243.847	1,00
Funktionsdiagnostik	608,40	2,08	720	438.048	2,78	720	438.048	1,00
Untersuchung und Behandlung	608,40	2,08	334	203.206	1,29	334	203.206	1,00
Pflege	18.617,04	63,62	334	6.218.091	39,49	334	6.218.091	1,00
Verwaltung, Arztbüros, Bereitschaftsräume, Seelsorge	2.190,24	7,48	334	731.540	4,65	334	731.540	1,00
Summe	29.264,04	100,00		15.744.995	100		15.037.730	1,05

Tabelle 4.3.1/1: Energieverbrauch und Energieaufwandszahlen Mehrfach-H-Typ

In der Röntgendiagnostik wurde E_Z mit 1,65 bestimmt, d. h. der tatsächliche Energieverbrauch liegt um 65 % höher als der unter optimalen Bedingungen zu erwartende Energieverbrauch. Aufgrund des relativ kleinen Flächenanteils wirkt sich dies jedoch bei der Betrachtung der Energieaufwandszahl des gesamten Hauses, wo E_Z bei 1,05 liegt, relativ wenig aus. Die Abweichung gegenüber dem optimalen Energieverbrauch ergibt sich aus der Differenz der Summen von Q_{tats} und Q_{opt}:

$$\Delta Q = Q_{\text{tats}} - Q_{\text{opt}}$$

(51)

Dieser Wert bezieht sich auf den Primärenergieverbrauch und gibt Auskunft über die ökologische Qualität des Entwurfes. Im vorliegenden Fall ergibt sich

$$\Delta Q = 15.744.995 \text{ kWh/a} - 15.037.730 \text{ kWh/a}$$

$$\Delta Q = 707.265 \text{ kWh/a}$$

Für die Bestimmung der finanziellen Dimension ist zunächst die flächenbezogene Energieaufwandszahl zu ermitteln, um den Vergleichs-Referenzbereich bestimmen zu können. Sie beträgt im vorliegenden Fall

$$E_A = \frac{15.744.995 \text{ kWh/a}}{29.264,04 \text{ m}^2} = 538 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$$

Dies liegt zwischen den Werten für die OP-Nebenräume (663 kWh/(m² · a)) und den Pflegestationen (334 kWh/(m² · a)) gem. Tab. 3.7/3. Zur Bestimmung der spezifischen Kosten bezogen auf den Primärenergieverbrauch werden zunächst die entsprechenden Werte für die beiden Bereiche ermittelt (vgl. Tab. 3.7/3) und dann linear interpoliert.

OP-Nebenräume:

$$k_{sp} = \frac{26.800 \text{ €/a}}{793.409 \text{ kWh/a}} = 0,0338 \text{ €/kWh}$$

Pflegebereiche:

$$k_{sp} = \frac{9.211 \text{ €/a}}{248.039 \text{ kWh/a}} = 0,0371 \text{ €/kWh}$$

Lineare Interpolation

$$k_{sp} = \frac{(538 - 334) \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})}{(663 - 334) \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})} \cdot (0,0371 - 0,0338) \text{ €/kWh} + 0,0371 \text{ €/kWh}$$

$$\underline{k_{sp} = 0,0351 \text{ €/kWh}}$$

Damit ergibt sich die Energiekostendifferenz zu

$$\Delta K = \Delta Q \cdot k_{Esp} = 707.265 \text{ kWh/a} \cdot 0,0351 \text{ €/kWh}$$

$$\underline{\Delta K = 24.825 \text{ €/a}}$$

Die Energiekostendifferenz ergibt sich aus dem Unterschied zwischen dem ermittelten tatsächlichen Energieverbrauch und dem Energieverbrauch, der sich bei einem optimierten Entwurf ergeben würde und liefert Aufschluss über das finanzielle Einsparpotenzial.

Mit Hilfe einer Kapitalwertberechnung nach Gleichung (39) werden zur Disposition stehenden Finanzmittel bestimmt. Der zu ermittelnde Kapitalwert stellt die Summe dar, die zu Beginn mehr aufgewendet werden kann, um einen energetisch optimierten Entwurf zu erreichen, damit die Investition über die rechnerische Abschreibungsdauer von 25 Jahren (s. Tab. 3.1/2) noch wirtschaftlich ist.

Er beträgt:

$$\underline{C_0 = 349.882 \text{ €}}$$

4.3.2 Breitfußtyp

Der Breitfußtyp ist durch einen ausgedehnten mehrgeschossigen flachen Untersuchungs- und Behandlungsbereich gekennzeichnet. Die Pflegebereiche befinden sich in einem Bettenhochhaus daneben oder darüber. Die vertikale Verbindung der Gebäudeteile wird durch Aufzugsanlagen hergestellt.

Beispiele hierfür sind die Universitätsklinik Köln und das Zentralgebäude der Universitätsklinik Münster. Hier wurden sehr große Flachbereiche realisiert. Die Pflegestationen wurden in Bettenhochhäusern darüber untergebracht. Die Gebäude sind vollklimatisiert.

Nachfolgend werden die Bereiche unter energetischen Gesichtspunkten hinsichtlich ihrer Struktur anhand der Kriterien nach Nr. 3 analysiert und mit dem jeweils zugehörigen flächenbezogenen Energieverbrauch bewertet. Der so ermittelte summierte Energieverbrauch wird dann zu dem mit dem optimalen flächenbezogenen Energieverbrauch ermittelten Energieverbrauch ins Verhältnis gesetzt.

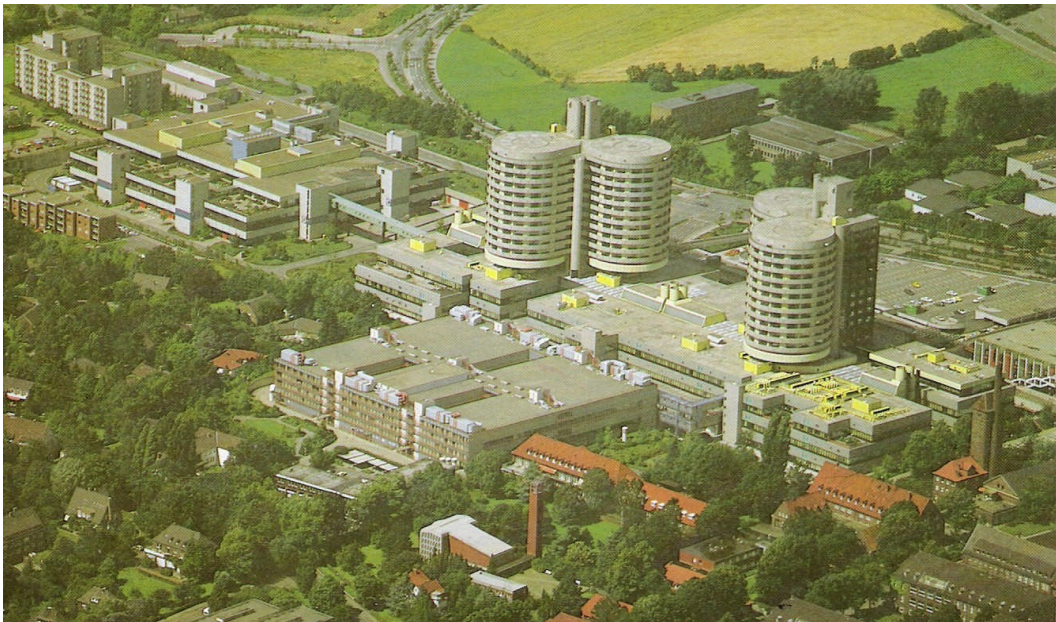


Abbildung 4.3.2/2: Universitätsklinik Münster, Zentralgebäude⁹⁶

⁹⁶ Broschüre „Zentralgebäude der medizinischen Einrichtungen der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster“, 1986, Seite 14

Für das Referenzkrankenhaus als Allgemeinkrankenhaus sind die gebäude-technischen Anlagen zentralisiert im Untergeschoss untergebracht. Die Pflegebereiche befinden sich im Bettenhochhaus und müssen mit einer RLT-Anlage ausgestattet werden. Daraus ergibt sich folgende Struktur:

Untergeschoss:	lichte Raumhöhe 4,5 m Technikzentralen, RLT-Zentrale Zentralen der Medienanschlüsse Prosekur/Pathologie, Lager
Erdgeschoss:	lichte Raumhöhe 4,0 m Aufnahme/Notfallversorgung Zentral-OP-Bereich Funktionsdiagnostik Röntgendiagnostik Verwaltung, Arztbüros, Bereitschaftsräume, Seelsorge
1. Obergeschoss:	lichte Raumhöhe 3,0 m Intensivstation Entbindung Untersuchung und Behandlung Verwaltung, Arztbüros, Bereitschaftsräume, Seelsorge
2.-15. Obergeschoss:	lichte Raumhöhe 3,0 m Pflegestationen
16. Obergeschoss:	Technik lichte Raumhöhe 3,0 m
17. Obergeschoss:	Aufzugtechnik lichte Raumhöhe 3,0 m
Konstruktionsraster:	7,80 m x 7,80 m

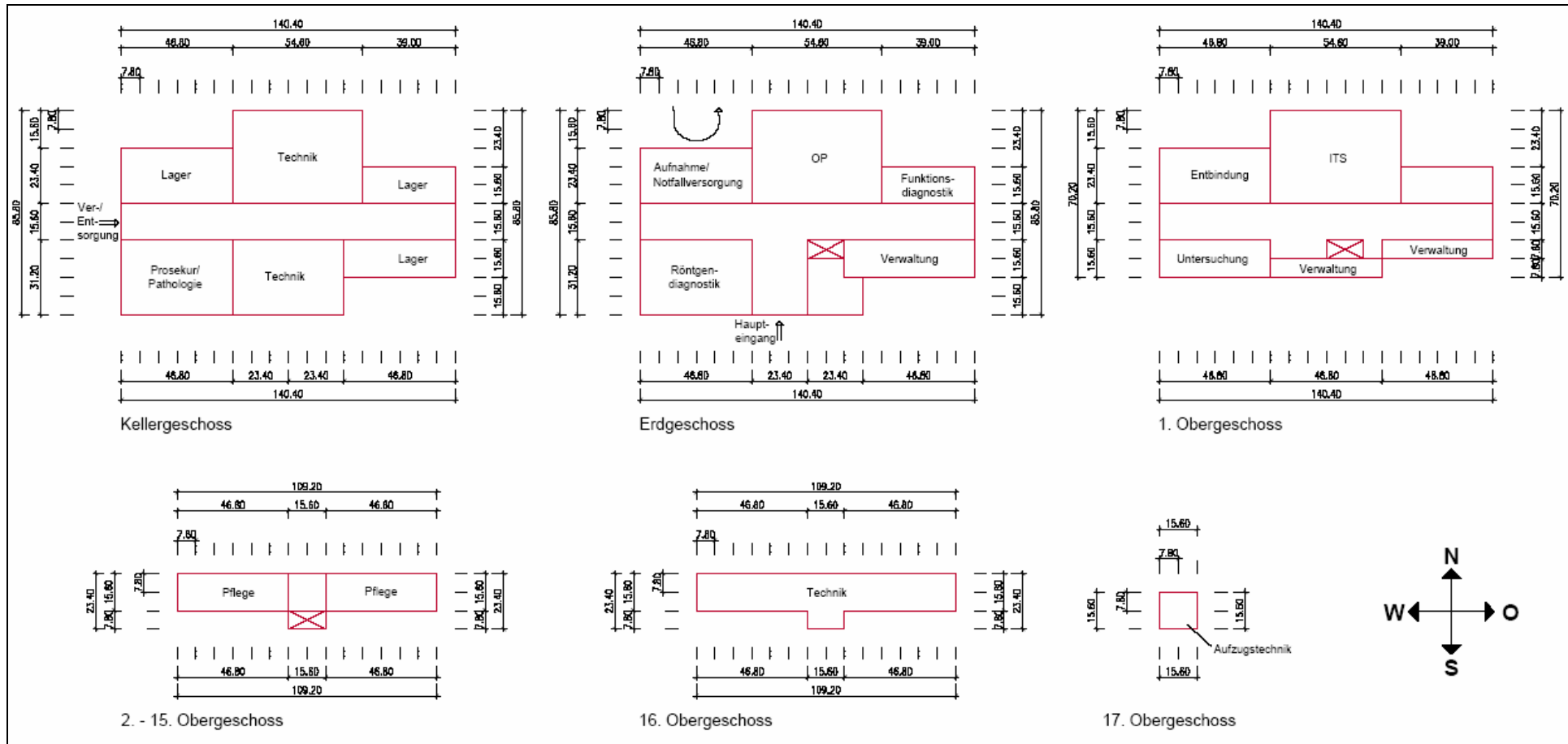


Abbildung 4.3.2/3: Struktur Breitfußtyp

Auch hier werden die Bereiche unter energetischen Gesichtspunkten anhand der Kriterien nach Nr. 3 analysiert und mit dem jeweils zugehörigen flächenbezogenen Energieverbrauch bewertet. Darauf aufbauend wird die dimensionslose Energieaufwandszahl bestimmt. Die flächenbezogenen Energieaufwandszahlen werden ebenfalls nach Tab. 3.7/3 und die Flächen aus dem Konstruktionsraster der jeweiligen Betriebsstelle bestimmt.

OP-Säle:

Die Installationsverhältnisse sind ungünstig, da die gebäudetechnischen Anlagen in den abgehängten Decken des OP-Bereiches untergebracht werden müssen. Die hier zur Verfügung stehende lichte Höhe beträgt ca. 90 cm.

anzusetzende flächenbezogene Energieaufwandszahl:	5.145 kWh/(m ² · a)
optimale flächenbezogene Energieaufwandszahl:	3.648 kWh/(m ² · a)
Fläche: 8 OP-Säle x 44,50 m ² (vgl. 3.2.2.1) =	356,00 m ²

OP-Nebenräume:

Die Installationsverhältnisse sind, ebenso wie bei den OP-Sälen, ungünstig. Die thermisch sensiblen Räume sind durch Pufferräume gegenüber zusätzlichen äußeren Lasten gepuffert. Es kommen massive speicherfähige Konstruktionen zur Ausführung.

anzusetzender flächenbezogener Energieverbrauch:	820 kWh/(m ² · a)
optimale flächenbezogene Energieaufwandszahl:	663 kWh/(m ² · a)
Fläche: 54,60 m x 39,00 m – 356 m ² =	1.773,40 m ²

Intensivstation:

Die Installationsverhältnisse sind ungünstig, da die technischen Anlagen in den abgehängten Decken untergebracht werden müssen. Die hier zur Verfügung stehende lichte Höhe beträgt ca. 40 cm. Die Fassaden sind nach und Norden, Westen und Osten orientiert. Es kommen Sonnenschutzeinrichtungen und massive speicherfähige Konstruktionen zur Ausführung.

anzusetzende flächenbezogene Energieaufwandszahl:	2.005 kWh/(m ² · a)
optimale flächenbezogene Energieaufwandszahl:	1.479 kWh/(m ² · a)
Fläche: 54,60 m x 39,00 m =	2.129,40 m ²

Aufnahme und Notfallversorgung:

Der Bereich ist mit einer RLT-Anlage ausgerüstet. Die Installationsverhältnisse sind ungünstig, da die zentralen gebäudetechnischen Anlagen im Untergeschoss und damit weit vom Versorgungsbereich untergebracht sind. Solare Gewinne sind nicht in nennenswertem Umfang zu verzeichnen, da die Fassade nach Norden orientiert ist.

Luftwechselzahl:	3,0 h ⁻¹
Außenluftanteil	100 %
Betriebszeit der RLT-Anlage	100 %
Relative Höhe der flächenbezogenen Energieaufwandszahl:	2,0 (siehe Tab. 3.6/2)
Referenzbereich des Krankenhauses:	OP-Nebenräume

anzusetzende flächenbezogene Energieaufwandszahl:	820 kWh/(m ² · a)
optimale flächenbezogene Energieaufwandszahl:	663 kWh/(m ² · a)
Fläche: 46,80 m x 15,60 m =	730,08 m ²

Röntgendiagnostik:

Der Bereich ist mit einer RLT-Anlage ausgerüstet. Für die technischen Geräte, Steuer- und Schaltanlagen stehen Technikräume zur Verfügung.

anzusetzende flächenbezogene Energieaufwandszahl:	720 kWh/(m ² · a)
optimale flächenbezogene Energieaufwandszahl:	720 kWh/(m ² · a)
Fläche: 31,20 m x 46,80 m =	1.460,16 m ²

Entbindung:

Der Bereich muss mit einer RLT-Anlage ausgestattet werden, da große Teile der Betriebsstelle innen liegend sind. Die Installationsverhältnisse sind wegen der relativ geringen Raumhöhe und der großen Entfernung der RLT-Zentralen als ungünstig einzustufen.

Luftwechselzahl:	0,0 h ⁻¹
Relative Höhe der flächenbezogenen Energieaufwandszahl:	1,0 (siehe Tab. 3.6/2)
Referenzbereich des Krankenhauses:	Pflegebereiche
anzusetzende flächenbezogene Energieaufwandszahl:	1.698 kWh/(m ² · a)
optimale flächenbezogene Energieaufwandszahl:	334 kWh/(m ² · a)
Fläche: 46,80 m x 15,60 m =	730,08 m ²

Funktionsdiagnostik:

Der Bereich ist mit einer RLT-Anlage ausgerüstet. Die Installationsverhältnisse sind gut, da sich die technischen Zentralen zwar im Untergeschoss befinden, jedoch relativ nah am Versorgungsbereich. Die lichte Höhe in den abgehängten Decken des Versorgungsbereiches ist mit ca. 90 cm als gut einzustufen.

Luftwechselzahl:	3,0 h ⁻¹
Relative Höhe der flächenbezogenen Energieaufwandszahl:	3,0 (siehe Tab. 3.6/2)
Referenzbereich des Krankenhauses:	Röntgendiagnostik
anzusetzende flächenbezogene Energieaufwandszahl:	720 kWh/(m ² · a)
optimale flächenbezogene Energieaufwandszahl:	720 kWh/(m ² · a)
Fläche: 39,00 m x 15,60 m =	608,40 m ²

Untersuchung und Behandlung:

Es handelt sich um einen von allen Fachbereichen des Hauses genutzten Bereich, der flexibel ausgestattet und nutzbar ist. Er hat keine spezifischen Untersuchungs- und Behandlungsräumen. Die Geräteausstattung ist gering. Der Bereich ist mit einer RLT-Anlage ausgestattet, da es größere innen liegende Bereiche gibt und die Tiefe der Betriebsstelle für eine natürliche Belüftung zu groß ist. Die Fassaden sind nach Norden und Westen orientiert. Die Installationsverhältnisse sind wegen der relativ geringen Raumhöhe und der großen Entfernung der RLT-Zentralen als ungünstig einzustufen.

Referenzbereich des Krankenhauses (vgl. 4.3.1):	Pflege
anzusetzende flächenbezogene Energieaufwandszahl:	1.698 kWh/(m ² · a)
optimale flächenbezogene Energieaufwandszahl:	334 kWh/(m ² · a)
Fläche: 46,80 m x 15,60 m =	730,08 m ²

Pflegebereiche:

Die Pflegebereiche sind wegen der Hochhausituation teilweise mit einer RLT-Anlage auszustatten. Das 2. OG bis 5. OG können natürlich belüftet werden. Im 6. OG bis 15. OG ist mit so großen Winddrücken zu rechnen, dass eine RLT-Anlage notwendig wird. Die Installationsverhältnisse sind wegen der großen Entfernung der RLT-Zentralen als ungünstig. Die Fassaden sind nach Norden und Süden orientiert, sodass auf einer Gebäudeseite mit sehr hohen Lastspitzen der solaren Einträge zu rechnen ist.

2. OG bis 5. OG:

anzusetzende flächenbezogene Energieaufwandszahl:	334 kWh/(m ² · a)
optimaler flächenbezogener Energieverbrauch:	334 kWh/(m ² · a)
Fläche: 8 x 15,60 m x 46,80 m =	5.840,64 m ²

6. OG bis 15. OG:

anzusetzende flächenbezogene Energieaufwandszahl:	1.698 kWh/(m ² · a)
optimaler flächenbezogener Energieverbrauch:	334 kWh/(m ² · a)
Fläche: 18 x 15,60 m x 46,80 m =	14.601,60 m ²

Verwaltung, Arztbüros, Bereitschaftsräume, Seelsorge:

Die Bereiche können größtenteils natürlich belüftet (keine RLT-Anlage) und natürlich belichtet werden. Die innen liegenden Bereiche im EG sind mit RLT-Anlagen auszustatten, da die Tiefe der Betriebsstelle für eine natürliche Belüftung zu groß ist. Die Installationsverhältnisse sind günstig, weil die lichte Höhe in den abgehängten Decken des Versorgungsbereiches mit ca. 90 cm als gut einzustufen ist.

Referenzbereich des Krankenhauses	Pflege
Relative Höhe der flächenbezogenen Energieaufwandszahl:	2,0 (siehe Tab. 3.6/2)

Natürlich belüftete Bereiche:

anzusetzende flächenbezogene Energieaufwandszahl:	334 kWh/(m ² · a)
optimale flächenbezogene Energieaufwandszahl:	334 kWh/(m ² · a)
Fläche im EG: 7,80 m x 54,60 m	
Fläche im 1. OG: 7,80 m x 54,60 m + 7,80 m x 46,80 m	
Fläche gesamt	1.216,80 m ²

Innen liegende Bereiche:

Es gilt die flächenbezogene Energieaufwandszahl für Pflegebereiche mit RLT-Anlage.

anzusetzende flächenbezogene Energieaufwandszahl:	1.278 kWh/(m ² · a)
optimale flächenbezogene Energieaufwandszahl:	334 kWh/(m ² · a)
Fläche: 7,80 m x 54,60 m + 15,6 m x 23,40 m =	790,92 m ²

Damit können jetzt der tatsächliche und der optimale Energieverbrauch sowie die dimensionslosen Energieaufwandszahlen ermittelt werden.

Bereich	Fläche	Fläche in	flächenbezogene Energieaufwandszahl tatsächlich	Energieverbrauch tatsächlich	Energieverbrauch in	flächenbezogener Energieaufwandszahl optimal	Energieverbrauch optimal	dimensionslose Energieaufwandszahl
	A		E_{Atats}	Q_{tats}		E_{Aopt}	Q_{opt}	E_Z
	m ²	%	kWh/(m ² a)	kWh/a	%	kWh/(m ² a)	kWh/a	
OP-Säle	356,00	1,18	5.145	1.831.620	4,66	3.648	1.298.688	1,41
OP-Nebenräume	1.773,40	5,88	820	1.454.188	3,70	663	1.175.764	1,24
Intensivstation	2.129,40	7,06	2.005	4.269.447	10,87	1.479	3.149.383	1,36
Aufnahme und Notfallversorgung	730,08	2,42	820	598.666	1,52	663	484.043	1,24
Röntgendiagnostik	1.460,16	4,84	720	1.051.315	2,68	720	1.051.315	1,00
Entbindung	730,08	2,42	1.698	1.239.676	3,16	334	243.847	5,08
Funktionsdiagnostik	608,40	2,02	720	438.048	1,12	720	438.048	1,00
Untersuchung und Behandlung	730,08	2,42	1.698	1.239.676	3,16	334	243.847	5,08
Pflege 2.-5.-OG	5.840,64	19,35	334	1.950.774	4,97	334	1.950.774	1,00
Pflege 6.-15.-OG	14.601,60	48,39	1.698	24.793.517	63,13	334	4.876.934	5,08
Verwaltung, Arztbüros, Bereitschaftsräume, Seelsorge, natürlich belüftet	1.216,80	4,03	334	406.411	1,03	334	406.411	1,00
Verwaltung, Arztbüros, Bereitschaftsräume, Seelsorge, innen liegend	790,92	2,62	1.278	1.010.796	2,57	334	264.167	3,83
Summe	30.176,64	100,00		39.273.337	100		15.319.054	2,56

Tabelle 4.3.2/1: Energieverbrauch und Energieaufwandszahlen Breitfußtyp

Zunächst fällt auf, dass E_Z in allen Bereichen, die eine RLT-Anlage haben, deutlich über 1 liegt, was natürlich auf den erheblichen Energieverbrauch dieser Anlagen zurück zu führen ist. Die Pflegebereiche nehmen etwa 2/3 der Fläche und des Energieverbrauches ein. Die OP-Abteilung (OP-Säle und –Nebenräume) sowie die Intensivstation haben einen relativ geringen Verbrauch von 8,36 % bzw.

10,87 %. Zusammen mit den Pflegebereichen macht dies bereits 87,33 % des Energieverbrauches des gesamten Krankenhauses aus. Alle anderen Bereiche spielen bezüglich des Energieverbrauches nur eine untergeordnete Rolle.

Der hohe Anteil der Pflegebereiche am Gesamtenergieverbrauch des Krankenhauses erklärt sich aus dem großen Flächenanteil dieser Betriebsstellen.

E_Z des gesamten Hauses beträgt 2,56 und ist damit sehr hoch. Auch dies hängt entscheidend mit dem hohen Energiebedarf für die Pflegebereiche mit RLT-Anlage zusammen.

Die Abweichung gegenüber dem optimalen Energieverbrauch ergibt sich aus der Differenz der Summen von Q_{tats} und Q_{opt} :

$$\Delta Q = 39.273.337 \text{ kWh/a} - 15.319.054 \text{ kWh/a}$$

$$\underline{\Delta Q = 23.954.283 \text{ kWh/a}}$$

Für die Bestimmung der finanziellen Dimension ist zunächst die flächenbezogene Energieaufwandszahl zu ermitteln, um den Vergleichs-Referenzbereich bestimmen zu können. Sie beträgt im vorliegenden Fall

$$E_A = \frac{39.273.337 \text{ kWh/a}}{30.176,64 \text{ m}^2} = 1.302 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$$

Dies liegt zwischen den Werten für die Pflegestationen mit RLT-Anlage (1.278 kWh/(m² · a)) und der Intensivstation (1.528 kWh/(m² · a)) gem. Tab. 3.7/3. Zur Bestimmung der spezifischen Kosten bezogen auf den Primärenergieverbrauch werden zunächst die entsprechenden Werte für die beiden Bereiche ermittelt (vgl. Tab. 3.7/3) und dann linear interpoliert.

Pflegestationen mit RLT-Anlage:

$$k_{sp} = \frac{30.579 \text{ €/a}}{950.037 \text{ kWh/a}} = 0,0322 \text{ €/kWh}$$

Intensivstation:

$$k_{sp} = \frac{64.871 \text{ €/a}}{1.839.628 \text{ kWh/a}} = 0,0353 \text{ €/kWh}$$

Lineare Interpolation

$$k_{sp} = \frac{(1.302 - 1.278) \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})}{(1.528 - 1.278) \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})} \cdot (0,0353 - 0,0322) \text{ €/kWh} + 0,0322 \text{ €/kWh}$$

$$\underline{k_{sp} = 0,0325 \text{ €/kWh}}$$

Damit ergibt sich die Energiekostendifferenz zu

$$\Delta K = \Delta Q \cdot k_{Esp} = 23.954.283 \text{ kWh/a} \cdot 0,0325 \text{ €/kWh}$$

$$\underline{\Delta K = 778.514 \text{ €/a}}$$

Es wird deutlich, dass neben der ökologischen und technischen Bedeutung auch eine erhebliche finanzielle Dimension mit dem Entwurf verbunden ist. Es kann ein Einsparpotenzial aktiviert werden, das über die Lebensdauer des Gebäudes Finanzmittel in beträchtlicher Größenordnung bindet und die laufenden Kosten in erheblichem Umfang belastet.

Die zur Disposition stehenden Finanzmittel bestimmt, bestimmt mit der Kapitalwertmethode nach Gleichung (39), betragen über eine rechnerische Abschreibungszeit von 25 Jahren (s. Tab. 3.1/2):

$$\underline{C_0 = 10.749.767 \text{ €}}$$

4.4 Auswertung

Bei den beiden vorgestellten und untersuchten Entwurfsituationen ist die Fläche der Betriebsstellen, die sich aus dem Konstruktionsraster ergibt, mit 29.264,04 m² (Mehrfach-H-Typ, siehe Tab. 4.3.1/1) bzw. 30.176,64 m² (Breitfußtyp, siehe Tab. 4.3.2/1) annähernd gleich. Trotzdem bestehen ganz erhebliche Unterschiede bei den zu erwartenden Energieverbräuchen und –kosten. Beim Breitfußtyp liegt der Primärenergieverbrauch mit 39.273.337 kWh/a etwa 2,5-mal höher als beim Mehrfach-H-Typ. Maßgeblich hierfür ist der enorm hohe Verbrauch in den Pflegebereichen, der aufgrund der Hochhaussituation erforderlich wird.

Darüber hinaus ist beim Breitfußtyp in allen anderen Bereichen mit Ausnahme der natürlich belüfteten Verwaltungsbereiche ein höherer Energieverbrauch zu verzeichnen. Die dimensionslosen Energieaufwandszahlen sind hier erheblich höher als beim Mehrfach-H-Typ. Sie liegen zwischen 1,24 (Aufnahme und Notfallversorgung) und 5,08 (Untersuchung und Behandlung). Auch hier ist dies in erster Linie auf die Notwendigkeit einer RLT-Anlage zurück zu führen, die sich aus den großen innen liegenden Bereichen ergibt. In Verbindung mit ungünstigen Installationsverhältnissen, die in der zentralisierten Technik mit z. T. großen Entfernungen zwischen den Zentralen und den Versorgungsbereichen begründet sind, führt dies zu erheblichen Steigerungen beim Energieverbrauch.

Für das gesamte Gebäude liegt die dimensionslose Energieaufwandszahl beim Breitfußtyp bei 2,56, während sie beim Mehrfach-H-Typ lediglich 1,05 beträgt.

Der Energieverbrauch des Mehrfach-H-Typs ist somit um 5 % und beim Breitfußtyp um 156 % höher als bei einem energetisch optimalen Konzept zu erwarten.

	Mehrfach-H-Typ		Breitfußtyp	
	Absoluter Wert	Relativer Wert	Absoluter Wert	Relativer Wert
Fläche	29.264 m ²	100 %	30.177	103 %
Primärenergieverbrauch	15.744.995 kWh/a	100 %	39.273.337 kWh/a	249 %
flächenbezogene Energieaufwandszahl	538 kWh/(m ² ·a)	100 %	1.301 kWh/(m ² ·a)	242 %
dimensionslose Energieaufwandszahl	1,05	100 %	2,56	244 %
Kapitalwert der möglichen Energieeinsparung	349.882 €	100 %	10.749.767 €	3.072 %

Tabelle 4.4/1: energetische Auswertung Mehrfach-H-Typ und Breitfußtyp

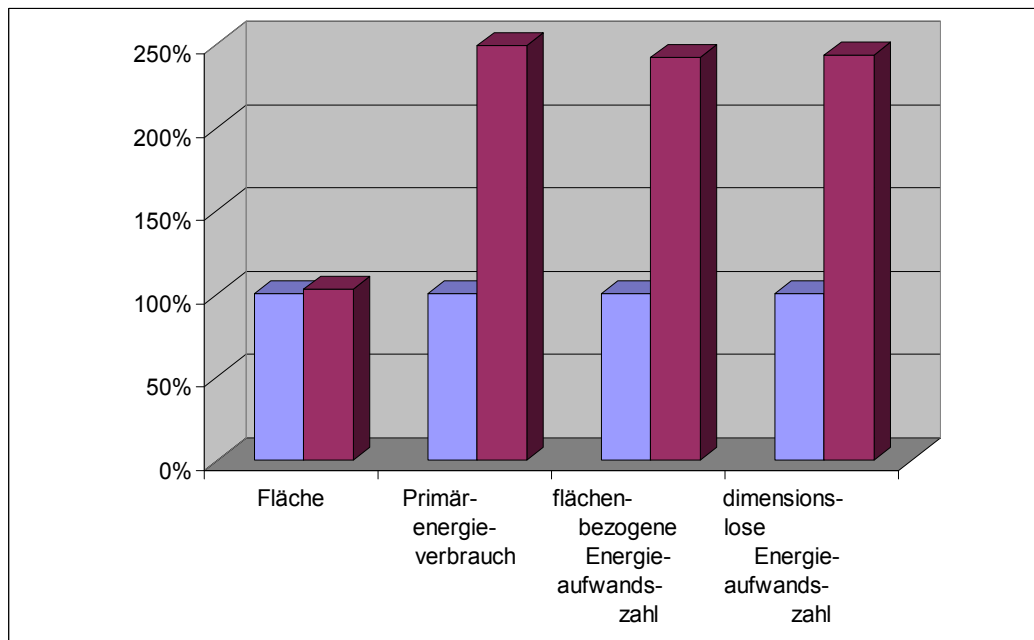


Abbildung 4.4/1: energetische Auswertung Mehrfach-H-Typ und Breitfußtyp

Obwohl die energetisch relevante Fläche beim Breitfußtyp um nur 3 % über der des Mehrfach-H-Typs liegt, sind der Primärenergieverbrauch, die flächenbezogene und die dimensionslose Energieaufwandszahl hier um annähernd 150 % höher. Es kann somit festgestellt werden, dass eine primär vertikale Bauweise mit Hochhauscharakter energetisch wesentlich ungünstiger ist als ein flächig angelegter Entwurf.

Mit baukonstruktiven Maßnahmen, wie Speichermassen und Beschattungseinrichtungen ist hier keine Kompensation zu erreichen. Entscheidend ist der Entwurf, der beim Breitfußtyp auf einem flachen Sockelbereich die Anordnung der Pflegebereiche als vertikalen Baukörper darüber vorsieht. Der Vorteil des Breit-

fußtyps liegt eindeutig in der deutlich kleineren Grundstücksgröße, die im Vergleich zum Mehrfach-H-Typ benötigt wird.

Die Rechteckfläche, die sich aus den Abmessungen über die Gebäude-Außenkanten der beiden Entwurfstypen ergibt, beträgt:

beim Mehrfach-H-Typ:

$$\text{Länge} \times \text{Breite} = 179,40 \text{ m} \times 148,20 \text{ m} = 26.587,08 \text{ m}^2 \text{ (ca. 2,7 ha)}$$

beim Breitfußtyp:

$$\text{Länge} \times \text{Breite} = 140,40 \text{ m} \times 85,80 \text{ m} = 12.046,32 \text{ m}^2 \text{ (ca. 1,2 ha)}$$

Bei Berücksichtigung von notwendigen Abstandsflächen der Gebäude zur Grundstücksgrenze, die wegen der Nachbarschaftsrechte nach den Bauordnungen und für die Erschließung benötigt werden, ergeben sich folgende erforderliche Grundstücksgrößen:

beim Mehrfach-H-Typ:

$$\text{Länge} \times \text{Breite} = 230 \text{ m} \times 200 \text{ m} = 46.000 \text{ m}^2 \text{ (ca. 4,6 ha)}$$

beim Breitfußtyp:

$$\text{Länge} \times \text{Breite} = 200 \text{ m} \times 135 \text{ m} = 27000 \text{ m}^2 \text{ (ca. 2,7 ha)}$$

Die Abstandsflächen müssen bei hohen Gebäuden größer als bei niedrigen Häusern sein.

Für beide Gebäudetypen können die Grundstückskosten ermittelt werden, die bei einem Neukauf in Innenstadt- bzw. Stadtrandlage entstehen würden, bestimmt werden, wobei durchschnittliche Erwerbskosten für Münster i. W. angesetzt wurden. Danach ergibt sich folgendes Bild:

Gebäudetyp	Erforderliche Grundstücksgröße	Grunderwerbskosten Innenstadtlage bei 250 €/m ²	Grunderwerbskosten Stadtrandlage bei 100 €/m ²
Breitfußtyp	27.000 m ²	6.750.000 €	2.700.000 €
Mehrfach-H-Typ	46.000 m ²	11.500.000 €	4.600.000 €

Tabelle 4.4/2: Grunderwerbskosten Breitfußtyp und Mehrfach-H-Typ

Beim Mehrfach-H-Typ wird ein ca. 70 % größeres Grundstück benötigt als beim Breitfußtyp. Dies erklärt, warum in Innenstadtlagen häufig vertikal konzipierte Krankenhäuser zu finden sind. Die zur Verfügung stehenden Grundstücksflächen sind zu klein für einen flächigen Entwurf und der Zukauf von angrenzenden bebaubaren Flächen ist in der Regel nicht möglich.

Berücksichtigt man nur die Grunderwerbskosten, ist ein Krankenhaus als Breitfußtyp in Stadtrandlage sicher als günstigster Fall zu betrachten. Dabei ist jedoch die Differenz des Kapitalwertes der möglichen Energieeinsparung (s. Tab. 4.4/1) unberücksichtigt. Sie beträgt 28.768.959 €. Darüber hinaus entstehen bei einem Gebäude des Mehrfach-H-Typs deutlich geringere Baukosten für die ge-

bäudetechnischen Anlagen, weil der Technisierungsgrad erheblich niedriger ist. Die höheren Kosten für den Erwerb eines größeren Grundstückes für die Errichtung eines Mehrfach-H-Typ-Gebäudes sowohl in Stadtrand- wie auch in Innenstadtlage werden also durch die wesentlich geringeren Energiekosten innerhalb kürzester Zeit kompensiert. Ein Krankenhaus, das einen flächig angelegten Entwurf mit einer energetisch optimierten Struktur hat, ist daher die mit Abstand wirtschaftlichere Variante.

Bei der Entscheidung zwischen den beiden vorgestellten Konzepten (Mehrfach-H-Typ bzw. Breitfußtyp) ist es also unter energiewirtschaftlichen Aspekten durchaus lohnenswert, auch erhebliche Mehraufwendungen zu tätigen.

Die Stadtrandlage bietet darüber hinaus unter funktionalen und entwerferischen Gesichtspunkten Vorteile. Die Erreichbarkeit für Personal, Besucher und Patienten sowie für den Notfalltransport ist besser. Anbindungen an öffentliche Verkehrsmittel sind in der Regel gegeben. Die Immissions- und Emissionsschutzproblematik ist geringer, da die Abstände von potentiellen Emittenten und zu schützenden Nachbarbebauungen größer sind.

Der Vergleich der Kapitalwerte macht deutlich, dass ein erhebliches Potenzial zur Disposition steht und dass es eine absolut wirtschaftliche Investition ist, beim Neubau oder bei der Konzeption eines Krankenhauses beträchtliche Investitionen in energiesparende Strategien zu tätigen. Sie sollten jedoch nicht nur auf die gebäudetechnischen Anlagen beschränkt bleiben, sondern eine ganzheitliche immobilienökonomische Betrachtung sein. Die Beurteilung beginnt mit der Grundstücksfrage, den medizinisch-funktionalen Anforderungen und dem Entwurf und muss die gesamte Lebensdauer des Gebäudes mit allen Aspekten umschließen.

5. Strukturanalyse Krankenhäuser – bestehende Gebäude

Neubauten von Krankenhäusern sind angesichts der knappen Finanzlage sehr selten. Die bestehenden Einrichtungen befinden sich häufig in historisch gewachsenen Strukturen und haben im Laufe der Zeit eine Reihe von Veränderungen, Erweiterungen und Umnutzungen erfahren. Da wesentliche Parameter der Bausubstanz, z. B., die Geschosshöhen, nicht veränderbar sind, mussten neue Nutzungen darin eingefügt werden, wobei z. T. große Kompromisse hinsichtlich der Nutzung und Prozessabläufe sowie Kompensationsmaßnahmen bei hygienischen Anforderungen gemacht werden müssen.

Unter energetischen Gesichtspunkten ist es dann oft nicht möglich, eine optimale Versorgungsstruktur zu errichten, da Rücksicht auf bestehende Anlagen genommen werden muss.

An zwei bestehenden Krankenhäusern wird nachfolgend die Struktur aufgezeigt und eine energetische Beurteilung mit den vorgestellten Verfahren vorgenommen. Dabei werden ebenfalls dimensionslose Energieverbrauchskennzahlen gebildet, die eine Bewertung und einen Vergleich der Entwürfe zulassen.

5.1 Johannes-Hospital, Dortmund (Joho)

5.1.1 Allgemeines

Das Johannes-Hospital in Dortmund ist sehr altes Krankenhaus. Es wurde am 15. Februar 1851 mit 12 Betten eröffnet und wuchs schnell. Bereits 1858 wurde an einem anderen Standort ein neues Hospital errichtet, das ebenfalls sehr schnell zu klein wurde. Deshalb wurde 1872 an seinem jetzigen Standort an der Johannesstraße ein Neubau erstellt, der die Keimzelle des heutigen Krankenhauses bildete (Eingangsbäude). Das Hauptgebäude wurde 1894 als Erweiterungsbau angeschlossen. Ein weiterer Anbau folgte 1899, der Südflügel wurde 1913 errichtet. Weitere wesentliche Bauvorhaben waren:

1906	Ärzte- und Rektorenwohnhaus
1926	Waschhaus
1928	Neubau Küchenflügel mit Schwesternwohnheim
1929	Kesselhaus
1974	Schwesterwohnheim und Krankenpflegeschule
1975	Neubau Küchentrakt
1982	Operationsräume
1992	Zentralsterilisation
1994-1997	Bettenhaus/Bettentrakt (Gartentrakt)
1991-1995	Neugestaltung und Sanierung der älteren Bausubstanz ⁹⁷ .

Infolge dieser häufigen und z. T. sehr tief greifenden Baumaßnahmen ist ein komplexer und in seinen Strukturen teilweise sehr inhomogener Baukörper ent-

⁹⁷ Dokumentation „Historische Ausstellung 150 Jahre St.-Johannes-Hospital 1851-2001“
www.joho-dortmund.de/info/ausstellung/index.html

standen, in dem sich die Patientenversorgung nach dem heutigen Stand der medizinischen Wissenschaft vollziehen muss. Es ist leicht vorstellbar, dass dabei nicht immer das Optimum der Prozessabläufe erreicht werden kann. Aber auch der energetische Rahmen ist nicht als optimal zu bezeichnen, da bei einem so komplizierten Baukörper Zugeständnisse wegen der vorhandenen Bausubstanz gemacht werden müssen. Das Johannes-Hospital verfügt heute über 625 Betten.

Vor diesem Hintergrund ist heute folgende Geschosseinteilung gegeben:

- Kellergeschoss Zentral-OP: Tiefgarage, Bettenreinigung, Werkstätten,
Kühlräume, Technikzentralen
- Kellergeschoss: Zentralsterilisation, Zentralküche, Notaufnahme, Endoskopie,
Räume für externe Dienstleister, Personalumkleideräume,
Lager, Labor, Kernspin (MRT), Kardiologie, Technik
- Erdgeschoss: Zwischenebene OP-Trakt, vorstationäre Diagnostik, Röntgen-
abteilung, Schmerzambulanz/IMC,
onkologische Ambulanz, Station GE, Station SE, Verwaltung
1. Obergeschoss: Zentral-OP, operative Intensivstation, Station E1, Konferenz-
räume, Station V1, Station H1, Dialyse, Verwaltung, Inten-
sivstation, Station G1, Station S1,
- Zwischengeschoss: Anästhesie-Klinik, Personalumkleiden, Technikabteilung,
2. Obergeschoss: Ambulantes OP-Zentrum, Augenklinik, Station H2,
Station E2, Augen-OP, Station V2 Station G2, Station S2,
Verwaltung
3. Obergeschoss: HTG-/HNO-/Chirurgische Klinik, Augenklinik, Station K3,
Station H3, Station E3, Station V3, Gyn-OP, Entbindungs-
station, Station G3, Station S3, Verwaltung
4. Obergeschoss: Konferenzräume, Schulungsräume, Arztbüros,
Bereitschaftsräume, Palliativstation, Bereitschaft Gyn-klinik,
Station G3, Station S2, Verwaltung
5. Obergeschoss: Archiv, EDV-Schulung, Station G5, Station H5,
6. Obergeschoss: Technik, Aufzugsmaschinenräume.

Ein einheitliches Konstruktionsraster lässt sich mit Ausnahme des Zentral-OP-Traktes und des Gartentraktes nicht finden. Zwischen den verschiedenen Gebäudeteilen gibt es versetzte Geschosse und unterschiedliche Geschosshöhen.

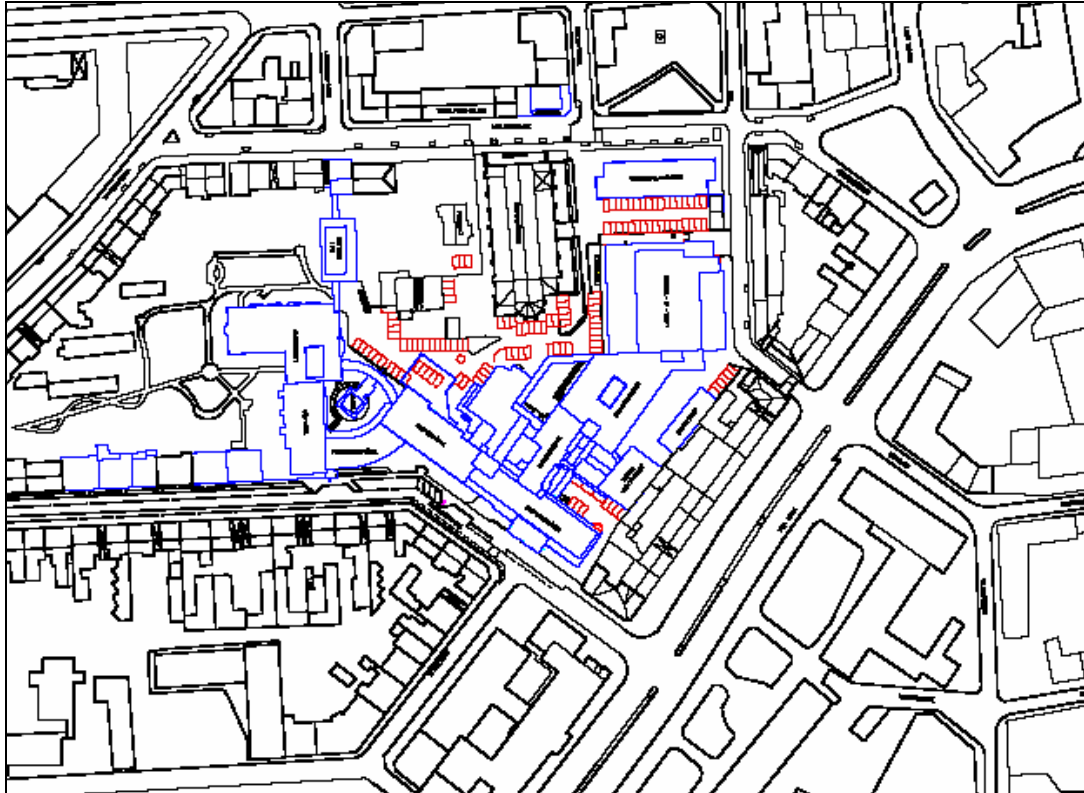


Abbildung 5.1.1/1: Johannes-Hospital, Dortmund, Lageplan, ^{98a}

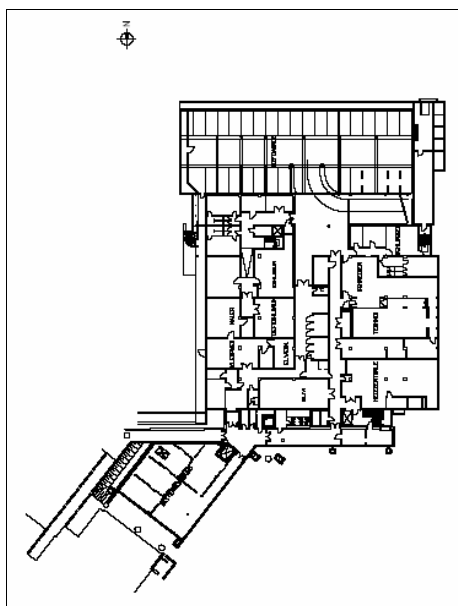


Abbildung 5.1.1/2: Johannes-Hospital, Dortmund, Kellergeschoss-Zentral-OP, ^{98b}

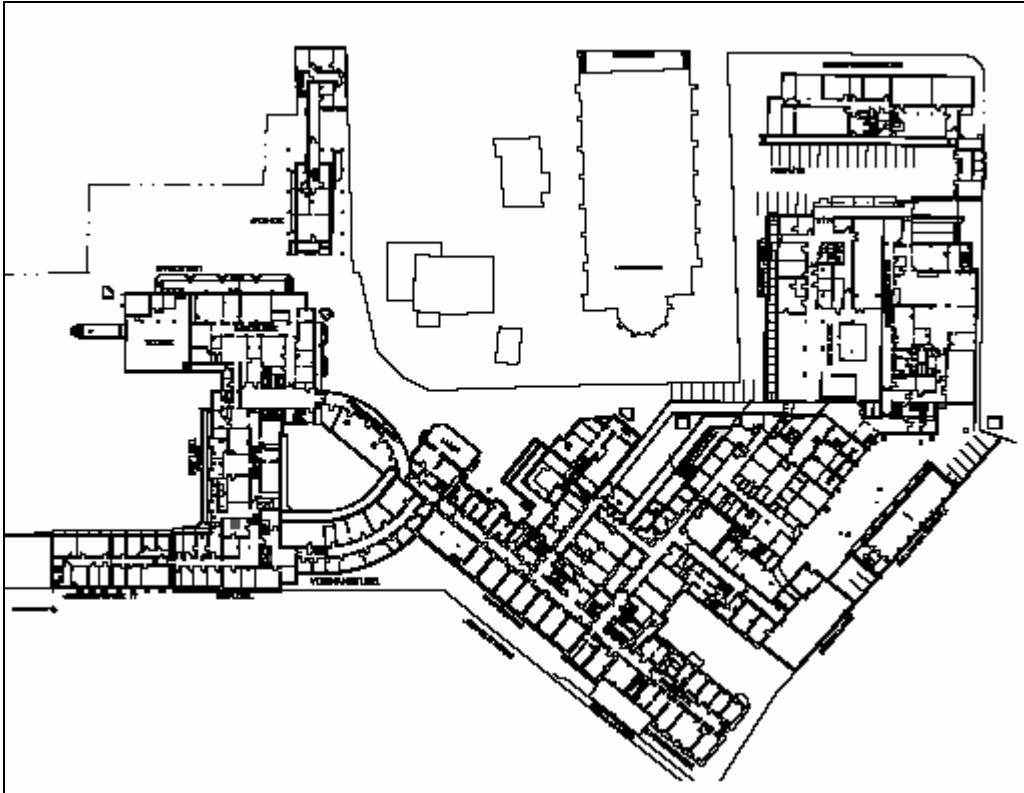


Abbildung 5.1.1/3: Johannes-Hospital, Dortmund, Kellergeschoss, ^{98c}

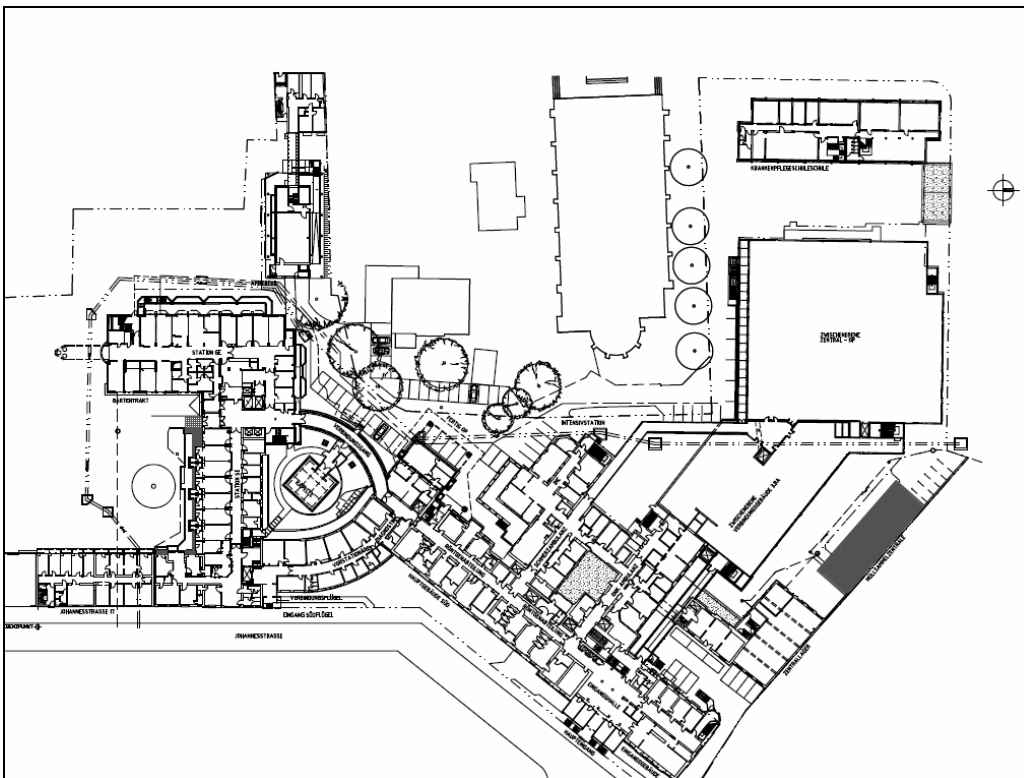


Abbildung 5.1.1/4: Johannes-Hospital, Dortmund, Erdgeschoss mit
Zwischenebene OP-Trakt, ^{98d}

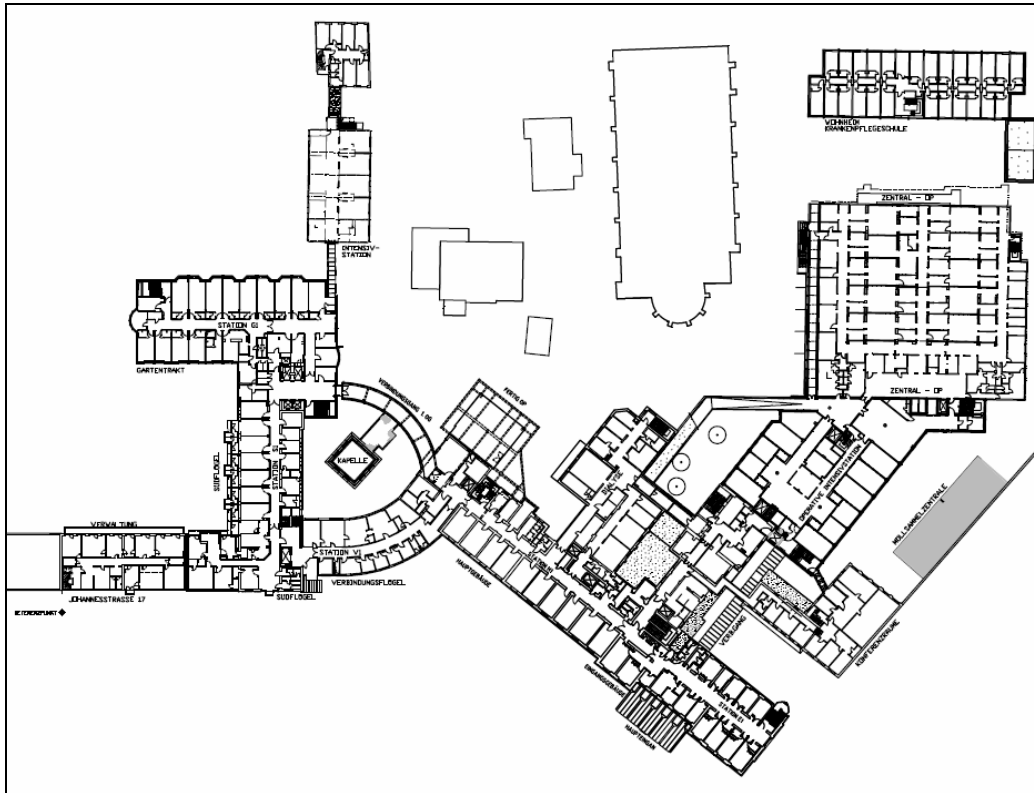


Abbildung 5.1.1/5: Johannes-Hospital, Dortmund, 1. Obergeschoss, ^{98e}

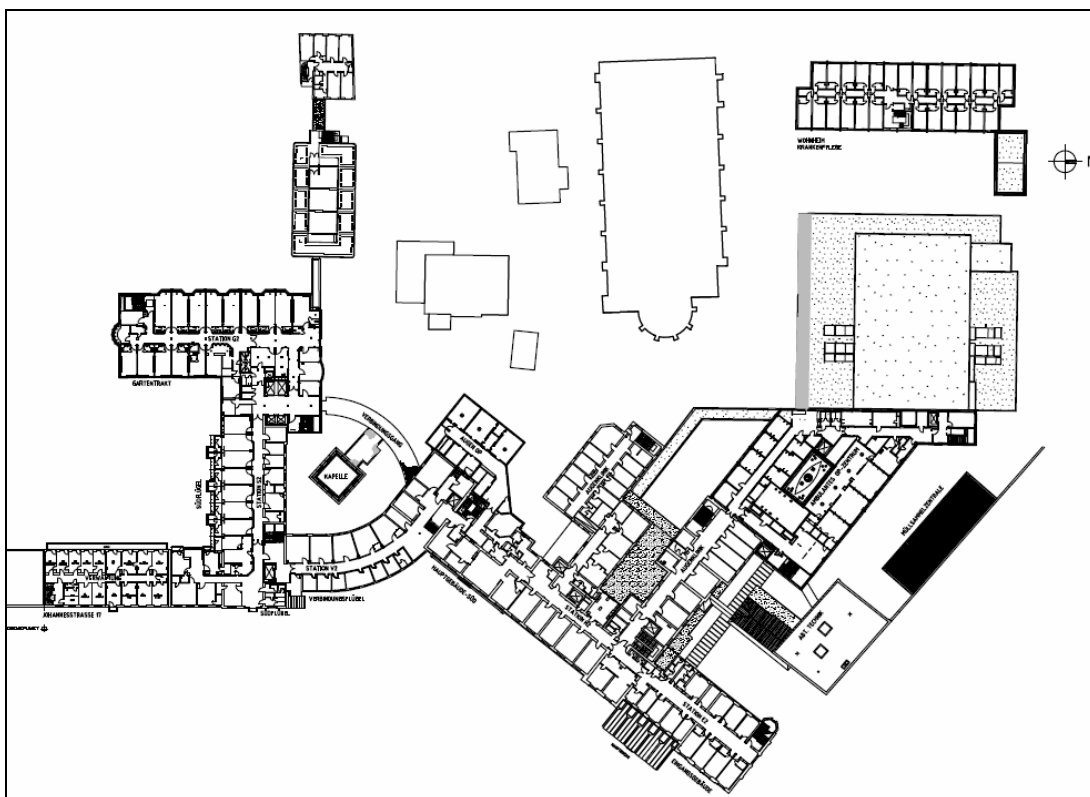


Abbildung 5.1.1/6: Johannes-Hospital, Dortmund, 2. Obergeschoss, ^{98f}

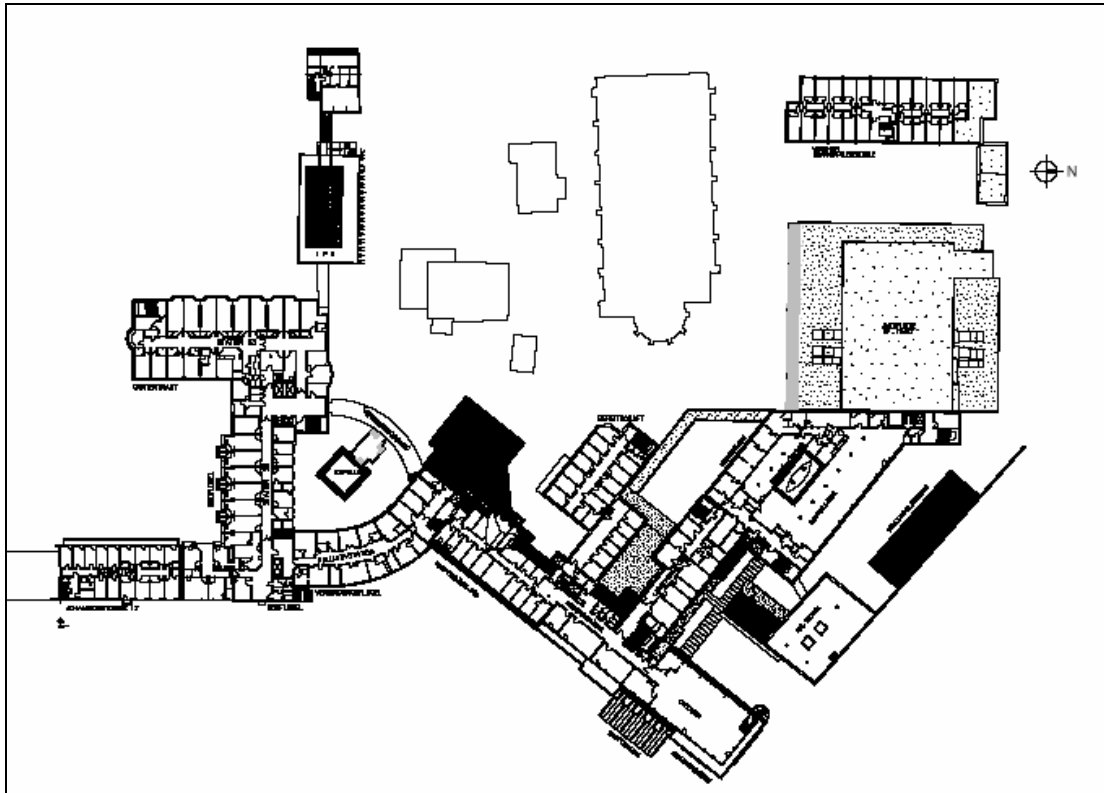


Abbildung 5.1.1/9: Johannes-Hospital, Dortmund, 4. Obergeschoss, 98i

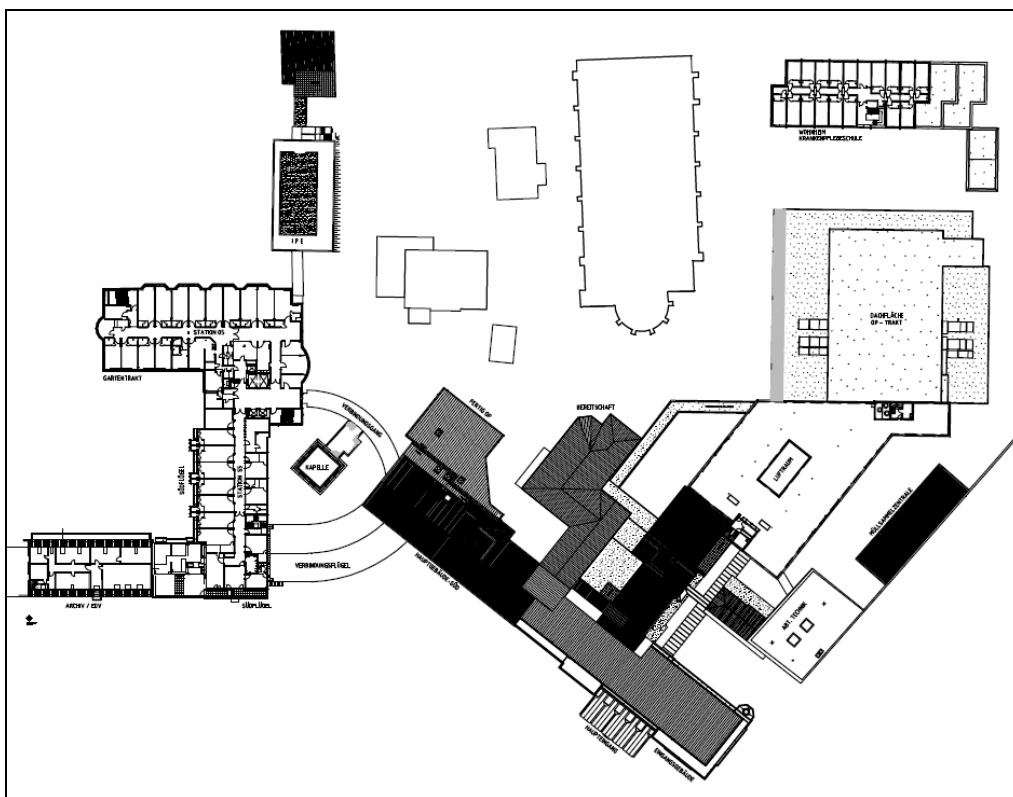


Abbildung 5.1.1/10: Johannes-Hospital, Dortmund, 5. Obergeschoss, 98j

Referenzbereich: OP-Nebenräume, vgl. Tab. 3.6/2
anzusetzende flächenbezogene Energieaufwandszahl: 663 kWh/(m².a)
optimale flächenbezogene Energieaufwandszahl: 663 kWh/(m².a)
Fläche: 710,9 m²

Kardiologie/Kernspin:

Kardiologie: Gartentrakt, Kellergeschoss, Fassadenorientierung: O/W

Kernspin: Südflügel, Kellergeschoss, Fassadenorientierung: N/S

Künstlich belüftet, z. T. natürlich belichtet. Technikzentralen im Kellergeschoss.

Separate Technikräume. Geringe solare Einträge.

Funktion: radiologische Untersuchung und Behandlung

Referenzbereich: Röntgendiagnostik, vgl. Tab. 3.6/2

anzusetzende flächenbezogene Energieaufwandszahl: 720 kWh/(m².a)

optimale flächenbezogene Energieaufwandszahl: 720 kWh/(m².a)

Fläche: 1.205,4 m²

Vorstationäre Diagnostik:

Verbindungsflügel/Hauptgebäude, Erdgeschoss, Fassadenorientierung: O/W

Natürlich belüftet und belichtet. Technikzentralen im Zwischengeschoss darüber.

Durchschnittliche solare Einträge.

Funktion: Untersuchungs- und Behandlungsbereich

Referenzbereich: Pflegebereich, vgl. Tab. 3.6/2

anzusetzende flächenbezogene Energieaufwandszahl: 334 kWh/(m².a)

optimale flächenbezogene Energieaufwandszahl: 334 kWh/(m².a)

Fläche: 325,4 m²

Röntgenabteilung:

Hauptgebäude, Erdgeschoss, Fassadenorientierung: NW/SO

Z. T. Künstlich belüftet, z. T. natürlich belichtet. Separate Technikräume.

Geringe solare Einträge.

Funktion: Untersuchungs- und Behandlungsbereich

Referenzbereich: Pflegebereich, vgl. Tab. 3.6/2

anzusetzende flächenbezogene Energieaufwandszahl: 334 kWh/(m².a)

optimale flächenbezogene Energieaufwandszahl: 334 kWh/(m².a)

Fläche: 633,1 m²

Schmerzambulanz/IMC:

Hauptgebäude, Erdgeschoss, Fassadenorientierung: NO/SW

Künstlich belüftet, z. T. natürlich belichtet. Technikzentralen im Zwischengeschoss darüber. Geringe solare Einträge.

Funktion: Untersuchungs- und Behandlungsbereich

Referenzbereich: Pflegebereich, vgl. Tab. 3.6/2

anzusetzende flächenbezogene Energieaufwandszahl: 334 kWh/(m².a)

optimale flächenbezogene Energieaufwandszahl: 334 kWh/(m².a)

Fläche: 517,8 m²

Onkologische Ambulanz:

Kapellentrakt, Erdgeschoss, Fassadenorientierung: NO/SW

Natürlich belüftet und belichtet. Geringe solare Einträge.

Funktion: Untersuchungs- und Behandlungsbereich

Referenzbereich: Pflegebereich, vgl. Tab. 3.6/2

anzusetzende flächenbezogene Energieaufwandszahl: 334 kWh/(m².a)

optimale flächenbezogene Energieaufwandszahl: 334 kWh/(m².a)

Fläche: 369,9 m²

Verwaltung:

Erdgeschoss, 1., 2., 3. Obergeschoss, Fassadenorientierung: W/O

Natürlich belüftet und belichtet. Geringe solare Einträge.

Funktion: Verwaltung/Büros

Referenzbereich: Pflegebereiche, vgl. 4.3.1 und Tab. 3.6/2

anzusetzende flächenbezogene Energieaufwandszahl: 334 kWh/(m².a)

optimale flächenbezogene Energieaufwandszahl: 334 kWh/(m².a)

Fläche: 738,8 m²

Konferenzräume/Abteilung Technik,

Zentrallager-/Technikgebäude, 1. Obergeschoss und Zwischengeschoss,

Fassadenorientierung: NW/NO/SW

Station V1, Verbindungsflügel, 1. Obergeschoss

Fassadenorientierung: NO/SW

Dialyse, Hauptgebäude, 1. Obergeschoss

Anästhesieklinik/Personalumkleiden

Liebfrauentrakt, Zwischengeschoss

HTG-/HNO-/Chirurgische Klinik

Liebfrauentrakt, 3. Obergeschoss

Konferenz-/Schulungsräume/Arztbüros,

Hauptgebäude und Kapellentrakt, 4. Obergeschoss

Bereitschaftsräume, Hauptgebäude, 4. Obergeschoss

Bereitschaftsräume Gyn-Klinik, Verbindungsflügel, 4. Obergeschoss

Archiv/EDV-Schulung, Verwaltungstrakt, 5. Obergeschoss

Nutzung: Büro, Arztzimmer, Besprechung, Untersuchung,

Behandlung, Bereitschaft,

Natürlich belüftet und belichtet. Geringe solare Einträge.

Funktion: Verwaltung, Arztbüros, Bereitschaftsräume, Seelsorge

Referenzbereich: Pflegebereiche, vgl. 4.3.1 und Tab. 3.6/2

anzusetzende flächenbezogene Energieaufwandszahl: 334 kWh/(m².a)

optimale flächenbezogene Energieaufwandszahl: 334 kWh/(m².a)

Fläche: 4.815,8 m²

Operative Intensivstation:

Liebfrauentrakt, 1. Obergeschoss, Fassadenorientierung: NO/SW

Nutzung als Intensivtherapiestation.

Künstlich belüftet, z. T. natürlich belichtet. Die Technikzentralen befinden sich im Zwischengeschoss über dem 2. OG. Die Anbindung an die RLT-Zentrale ist relativ schlecht, die Entfernung relativ groß. Die Installationen befinden sich zum Großteil in den abgehängten Decken des Nutzbereiches. Die Installationshöhen in den abgehängten Decken sind mit ca. 80 cm gering, sodass die Installationsverhältnisse ungünstig sind. Die solaren Einträge sind wegen der Orientierung und wegen der Beschattung durch Nachbarbebauung gering.

Funktion: Intensivtherapiestation

Referenzbereich: Intensivstation bei

ungünstigen Installationsverhältnissen, vgl. Tab. 3.6/2

anzusetzende flächenbezogene Energieaufwandszahl: 2.005 kWh/(m².a)

optimale flächenbezogene Energieaufwandszahl: 1.479 kWh/(m².a)

Fläche: 927,7 m²

Intensivstation Apothekengebäude:

Apothekengebäude, 1. Obergeschoss, Fassadenorientierung: N/S

Nutzung als Intensivtherapiestation

Künstlich belüftet, z. T. natürlich belichtet. Die Technikzentralen befinden sich im Dachgeschoss unmittelbar darüber. Die Anbindung an die RLT-Zentrale ist gut, die Entfernung kurz. Die Installationen befinden sich zum Großteil in den abgehängten Decken des Nutzbereiches. Die Installationshöhen in den abgehängten Decken sind mit ca. 80 cm für die hier erforderlichen Anlagen ausreichend, sodass die Installationsverhältnisse gut sind. Die solaren Einträge sind wegen der Orientierung und wegen der Beschattung durch Nachbarbebauung gering.

Funktion: Intensivtherapiestation

Referenzbereich: Intensivstation, vgl. Tab. 3.6/2

anzusetzende flächenbezogene Energieaufwandszahl: 1.479 kWh/(m².a)

optimale flächenbezogene Energieaufwandszahl: 1.479 kWh/(m².a)

Fläche: 327,4 m²

Ambulantes OP-Zentrum, OP-Nebenräume:

Liebfrauentrakt, 2. Obergeschoss, Fassadenorientierung: NO/SW

Künstlich belüftet, z. T. natürlich belichtet. Die Technikzentralen befinden sich im Zwischengeschoss über dem 2. OG. Die Entfernung bis zur RLT-Zentrale ist kurz. Die Installationen befinden sich zum Großteil in den abgehängten Decken des Nutzbereiches. Die Installationshöhen in den abgehängten Decken sind mit ca. 80 cm gering, sodass die Installationsverhältnisse ungünstig sind. Die solaren Einträge sind wegen der Orientierung und wegen der Beschattung durch Nachbarbebauung gering.

Funktion: OP-Nebenräume.

Referenzbereich: OP-Nebenräume bei ungünstigen

Installationsverhältnissen, vgl. Tab. 3.6/2

anzusetzende flächenbezogene Energieaufwandszahl:	820 kWh/(m ² .a)
optimale flächenbezogene Energieaufwandszahl:	663 kWh/(m ² .a)
Fläche:	745,6 m ²

Ambulantes OP-Zentrum, OP-Säle:

Liebfrauentrakt, 2. Obergeschoss, Fassadenorientierung: NO

Künstlich belüftet und belichtet. Die Technikzentralen befinden sich im Zwischengeschoss über dem 2. OG. Die Entfernung bis zur RLT-Zentrale ist kurz. Die Installationen befinden sich zum Großteil in den abgehängten Decken des Nutzbereiches. Die Installationshöhen in den abgehängten Decken sind mit ca. 80 cm gering, sodass die Installationsverhältnisse ungünstig sind. Die solaren Einträge sind wegen der Orientierung und wegen der Beschattung durch Nachbarbebauung gering.

Funktion: OP-Säle

Referenzbereich: OP-Saal bei ungünstigen

Installationsverhältnissen, vgl. Tab. 3.6/2

anzusetzende flächenbezogene Energieaufwandszahl:	5.145 kWh/(m ² .a)
---	--------------------------------

optimale flächenbezogene Energieaufwandszahl:	3.648 kWh/(m ² .a)
---	--------------------------------

Fläche:	84,8 m ²
---------	---------------------

OP-Säle Zentral-OP:

Zentral-OP-Trakt, 1. Obergeschoss, alle OP-Säle innen liegend,

Künstlich belüftet und belichtet. Die Technikzentralen befinden sich im Technikgeschoss darüber. Die Entfernung bis zur RLT-Zentrale ist kurz. Die Installationen befinden sich zum Großteil in den abgehängten Decken des Nutzbereiches. Die Installationshöhen in den abgehängten Decken sind mit ca. 80 cm für die hier erforderlichen Anlagen ausreichend, sodass die Installationsverhältnisse gut sind. Solare Einträge fallen nicht an, da alle OP-Säle innen liegen.

Funktion: OP-Saal

Referenzbereich: OP-Saal, vgl. Tab. 3.6/2

anzusetzende flächenbezogene Energieaufwandszahl:	3.648 kWh/(m ² .a)
---	--------------------------------

optimale flächenbezogene Energieaufwandszahl:	3.648 kWh/(m ² .a)
---	--------------------------------

Fläche:	391,0 m ²
---------	----------------------

OP-Nebenräume Zentral-OP:

Zentral-OP-Trakt, 1. Obergeschoss, Fassadenorientierung: S/N

Künstlich belüftet, z. T. natürlich belichtet. Die Technikzentralen befinden sich im Technikgeschoss darüber. Die Entfernung bis zur RLT-Zentrale ist kurz. Die Installationen befinden sich zum Großteil in den abgehängten Decken des Nutzbereiches. Die Installationshöhen in den abgehängten Decken sind mit ca. 100 cm für die hier erforderlichen Anlagen ausreichend, sodass die Installationsverhältnisse gut sind. Wegen der Anordnung von thermisch nicht sensiblen Räumen an den Fassaden (Lager, Dienstzimmer u. ä.) und innen davor liegenden praeoperativen Fluren werden die thermisch sensiblen Räume (Einleitung, Ausleitung, Waschraum, OP-Säle) von äußeren thermischen Lasten frei gehalten.

Funktion: OP-Nebenräume

Referenzbereich: OP-Nebenräume, vgl. Tab. 3.6/2

anzusetzende flächenbezogene Energieaufwandszahl: 663 kWh/(m².a)

optimale flächenbezogene Energieaufwandszahl: 663 kWh/(m².a)

Fläche: 1.800,3 m²

Augen- und Gyn-OP-Säle:

Hauptgebäude, 2. und 3. Obergeschoss, Fassadenorientierung: NO/SO

Künstlich belüftet, z. T. natürlich belichtet. Die Technikzentralen befinden sich im Technikbereich im 1. Obergeschoss. Die Entfernung bis zur RLT-Zentrale ist zwar kurz. Die Installationsverhältnisse sind jedoch als ungünstig einzustufen, da relativ wenig Platz in den abgehängten Decken der Nutzbereiche ist und sich hier auch die Installationen für die OP-Nebenräume befinden. Darüber hinaus ist die Technikzentrale im 1. Obergeschoss relativ klein.

Geringe solare Einträge.

Funktion: OP-Saal

Referenzbereich: OP-Saal bei ungünstigen

Installationsverhältnissen, vgl. Tab. 3.6/2

anzusetzende flächenbezogene Energieaufwandszahl: 5.145 kWh/(m².a)

optimale flächenbezogene Energieaufwandszahl: 3.648 kWh/(m².a)

Fläche: 126,8 m²

Augen- und Gyn-OP-Nebenräume:

Hauptgebäude, 2. und 3. Obergeschoss,

Fassadenorientierung: z. T. SW/N

Künstlich belüftet, z. T. natürlich belichtet. Die Technikzentralen befinden sich im Technikbereich im 1. Obergeschoss. Die Entfernung bis zur RLT-Zentrale ist zwar kurz. Die Installationsverhältnisse sind jedoch als ungünstig einzustufen, da relativ wenig Platz in den abgehängten Decken der Nutzbereiche ist und sich hier auch die Installationen für die OP-Säle befinden. Darüber hinaus ist die Technikzentrale im 1. Obergeschoss relativ klein. Die solaren Einträge sind gering, da es nur wenige Räume mit Fassadenberührung gibt.

Geringe solare Einträge.

Funktion: OP-Nebenräume

Referenzbereich: OP-Nebenräume bei ungünstigen

Installationsverhältnissen, vgl. Tab. 3.6/2

anzusetzende flächenbezogene Energieaufwandszahl: 820 kWh/(m².a)

optimale flächenbezogene Energieaufwandszahl: 663 kWh/(m².a)

Fläche: 557,5 m²

Pflegebereiche:

Station GE/SE, Gartentrakt und Südflügel, Erdgeschoss,

Station G1/S1, Gartentrakt und Südflügel, 1. Obergeschoss,

Station E1, Eingangsgebäude, 1. Obergeschoss,

Station H1, Hauptgebäude, 1. Obergeschoss,

Station G2/S2, Gartentrakt und Südflügel, 2. Obergeschoss,

Station K1, Kapellentrakt, 2. Obergeschoss,

Station H2, Hauptgebäude, 2. Obergeschoss,

Augenklinik, Hauptgebäude, 2. Obergeschoss

Station E2, Eingangsgebäude, 2. Obergeschoss

Station V2, Verbindungsflügel und Hauptgebäude, 2. Obergeschoss

Station G3/S3, Gartentrakt und Südflügel, 3. Obergeschoss,

Station K3, Kapellentrakt, 3. Obergeschoss

Station H3, Hauptgebäude, 3. Obergeschoss

Augenklinik, Hauptgebäude, 3. Obergeschoss

Station E3, Eingangsgebäude, 3. Obergeschoss

Station V3, Verbindungsflügel, 3. Obergeschoss

Entbindungsstation, Verbindungsflügel und Hauptgebäude, 3. Obergeschoss

Station G3/S2, Gartentrakt und Südflügel, 4. Obergeschoss,

Palliativstation, Verbindungsflügel, 4. Obergeschoss

Station G5/S5, Gartentrakt und Südflügel, 5. Obergeschoss:

Fassadenorientierung Gartentrakt: O/W

Fassadenorientierung Südflügel: N/S

Fassadenorientierung Eingangsgebäude: SO/NW

Fassadenorientierung Verbindungsflügel: O/W

Fassadenorientierung Hauptgebäude: SO/NW

Natürlich belüftet und belichtet. Geringe solare Einträge.

Funktion: Normalpflege

Referenzbereich: Pflegebereich, vgl. Tab. 3.6/2

anzusetzende flächenbezogene Energieaufwandszahl:

334 kWh/(m².a)

optimale flächenbezogene Energieaufwandszahl:

334 kWh/(m².a)

Fläche:

15.331,9 m²

5.1.3 Dimensionslose Energieaufwandszahlen

Mit den so ermittelten Ausgangsdaten zur energetischen Struktur des Entwurfes können nun der tatsächliche und der optimale Energieverbrauch sowie die dimensionslosen Energieaufwandszahlen ermittelt werden.

Bereich	Fläche A m ²	Fläche in %	flächen- bezogener Energie- verbrauch tatsächlich E _{Atats} kWh/ (m ² ·a)	Energie- verbrauch tatsächlich Q _{tats} kWh/a	Energie- verbrauch in %	flächen- bezogener Energie- verbrauch optimal E _{Aopt} kWh/ (m ² ·a)	Energie- verbrauch optimal Q _{opt} kWh/a	dimensions- lose Energie- aufwands- zahl E _Z
Endoskopie	293,4	0,98	720	211.248	1,30	720	211.248	1,00
Notaufnahme	710,9	2,38	663	471.327	2,90	663	471.327	1,00
Kardiologie/Kernspin	1.205,4	4,03	720	867.888	5,34	720	867.888	1,00
Diagnostik	325,4	1,09	334	108.684	0,67	334	108.684	1,00
Röntgenabteilung	633,1	2,12	334	211.455	1,30	334	211.455	1,00
Schmerzambulanz	517,8	1,73	334	172.945	1,06	334	172.945	1,00
Onkologische Ambulanz	369,9	1,24	334	123.547	0,76	334	123.547	1,00
Verwaltung	738,8	2,47	334	246.759	1,52	334	246.759	1,00
Konferenzräume/Abteilung Technik	4.815,8	16,10	334	1.608.477	9,89	334	1.608.477	1,00
Operative Intensivstation	927,7	3,10	2.005	1.860.039	11,44	1.479	1.372.068	1,36
Intensivstation Apothekegebäude	327,4	1,09	1.479	484.225	2,98	1.479	484.225	1,00
Ambulantes OP-Zentrum, OP-Nebenträume	745,6	2,49	820	611.392	3,76	663	494.333	1,24
Ambulantes OP-Zentrum, OP-Saal	84,8	0,28	5.145	436.296	2,68	3.648	309.350	1,41
OP-Säle Zentral-OP	391,0	1,31	3.648	1.426.368	8,77	3.648	1.426.368	1,00
OP-Nebenträume Zentral-OP	1.800,3	6,02	663	1.193.599	7,34	663	1.193.599	1,00
Augen- und Gyn-OP-Säle	126,8	0,42	5.145	652.386	4,01	3.648	462.566	1,41
Augen- und Gyn-OP-Nebenträume	557,5	1,86	820	457.150	2,81	663	369.623	1,24
Pflegebereiche	15.331,9	51,27	334	5.120.855	31,48	334	5.120.855	1,00
Summe	29.903,50	100,00		16.264.639	100		15.255.316	1,07

Tabelle 5.1.3/1: Dimensionslose Energieaufwandszahlen Johannes-Hospital, Dortmund

5.1.4 Auswertung

In den meisten Bereichen des Krankenhauses ist die Struktur unter energetischen Gesichtspunkten als gut einzustufen. In der operativen Intensivstation, im ambulanten OP-Zentrum sowie im Augen- und Gyn-OP-Bereich liegt E_Z jedoch z. T. erheblich über dem optimalen Wert. Dies ist auf die ungünstigen Installationsbedingungen zurück zu führen.

Der Vergleich der operativen Intensivstation mit der Intensivstation im Apothekengebäude zeigt, dass eine gute Anbindung und technische Erschließung bei gleicher Nutzung zu einer deutlich besseren energetischen Struktur führt.

Dies gilt auch für den Zentral-OP-Bereich, der durch die RLT-Zentrale und großzügig bemessene Abhängehöhen im Nutzbereich optimal und energiesparend installiert werden kann. Veränderungen an den technischen Anlagen sind dann wesentlich erleichtert und können für energiesparende Techniken genutzt werden, wie die vor Kurzem installierten hocheffizienten Energierückgewinnungsanlagen (SEW-Geräte) zeigen.

Insgesamt ist die energetische Struktur als relativ gut einzustufen, wie die dimensionslose Energieaufwandszahl des gesamten Gebäudes zeigt. E_Z beträgt 1,07 und liegt recht damit nahe beim Optimum. Die relativ schlechten Werte für E_Z im ambulanten OP-Zentrum sowie im Augen- und Gyn-OP-Bereich wirken sich wegen der kleinen Flächenanteile jedoch nur gering aus.

Die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung lieferte eine Energiekostendifferenz von 35.326 €/a und einen Kapitalwert in Höhe von 497.883 € bei einer Lebensdauer von 25 Jahren. Dies ist eine erhebliche Summe, die in die Verbesserung der energetischen Infrastruktur investiert werden kann. Der Schwerpunkt ist dabei insbesondere auf eine Verbesserung der technischen Anlagen und der Anbindung der Technikzentralen der Augen- und Gyn-OP-Bereiche zu legen. Es ist insbesondere auf eine Optimierung der Kanalführung der RLT-Anlagen zu achten, wobei auch die Erweiterung der entsprechenden Technikzentralen in Erwägung gezogen werden muss. In den Nutzbereichen stehen nur wenige Möglichkeiten zur Verfügung, da der Installationsraum in den abgehängten Decken nicht erweitert werden kann.

Kompensierend können die Standzeiten der endständigen Filterung reduziert werden. Während sie üblicherweise bis zu einem Filterwiderstand von ca. 550 Pa bis 600 Pa gefahren werden, sollte hier der Wechsel wesentlich früher, z. B. bei 300 Pa bis 350 Pa erfolgen. Dadurch werden zwar die Unterhaltungskosten für die Filter erhöht, das gesamte Druckniveau in den RLT-Anlagen jedoch um ca. 200 Pa bis 300 Pa gesenkt. Wirtschaftlich ist dies absolut vertretbar.

Es bestehen also auch in einem so komplizierten Bestandsgebäude noch Möglichkeiten, den Energieverbrauch zu optimieren.

5.2 St.-Franziskus-Hospital, Münster (SFH)

5.2.1 Allgemeines

Das Franziskus-Hospital in Münster i. W. ist ebenfalls ein sehr altes Krankenhaus, dessen Geschichte im 19. Jahrhundert beginnt, als der damaligen Bischof von Münster, Johann Georg Müller, der 1853/54 die krankenpflegende Genossenschaft des heiligen Franziskus von Telgte nach Münster holte. Das Krankenhaus wurde 1857 mit 50 Betten eröffnet⁹⁹. Es wurde im Laufe der Zeit vielfach umgebaut und erweitert. Die letzte größere Erweiterung war die Errichtung eines neuen OP-Traktes im Jahre 2000.

Die medizinischen Prozesse lassen sich in einer solchen Struktur nicht optimal abbilden und die technische Versorgung gestaltet sich äußerst schwierig, da erhebliche Rücksichten auf die bestehenden Gebäudeteile und Anlagen genommen werden müssen.

Der Komplex präsentiert sich heute als ein Ensemble von vielen zusammengefügteten Bauteilen ohne Konstruktionsraster und ohne einheitliche bzw. homogene Struktur. Auffallend ist vor allem, dass es lange und verschachtelte Erschließungswege gibt, durch die die Verbindung der einzelnen Gebäudeteile sich kompliziert und unübersichtlich gestaltet. Das Krankenhaus hat heute 589 Betten.

Vor diesem Hintergrund besteht heute folgende Geschosseinteilung:

Kellergeschoss :	Küche, Bettenzentrale/Wäscherei, Lager, Personslumkleiden, Personal-Cafeteria, Prosekur, Nuklearmedizin, Physikalische Therapie, Massage,
Erdgeschoss:	Eingangshalle, Kapelle, Radiologische Praxis (externer Betreiber), Endoskopie, Erst-/Notfallversorgung, Chirurgische Ambulanz, Orthopädie, Isolierstation
1. Obergeschoss:	Zentral-OP alt, Zentral-OP neu, Intensivstation Therapie, Intensivstation Observation, Pflegedienstleitung, Herzkathederlabor, Ambulantes Zentrum, Radiologie, Pflegestationen
2. Obergeschoss:	Arzt- und Bereitschaftsräume, Dialyse, Gynäkologie, Gyn-OP-Abteilung, Entbindung, Neugeborenenpflege,
3. Obergeschoss:	Technik OP-Abteilung neu, Frühgeborenen-/Kinderintensivstation, Pädiatrie, HNO, Nachintensivstation, Diätschulung, Augen-OP-Abteilung,
4. Obergeschoss:	Pflegesttionen
5. Obergeschoss:	Pflegesttionen
6. Obergeschoss:	Pflegesttionen
7. Obergeschoss:	Pflegesttion
8. Obergeschoss:	Hubschrauberlandeplatz
9. Obergeschoss:	Dachraum

⁹⁹ http://de.wikipedia.org/wiki/St._Franziskus-Hospital_M%C3%BCnster

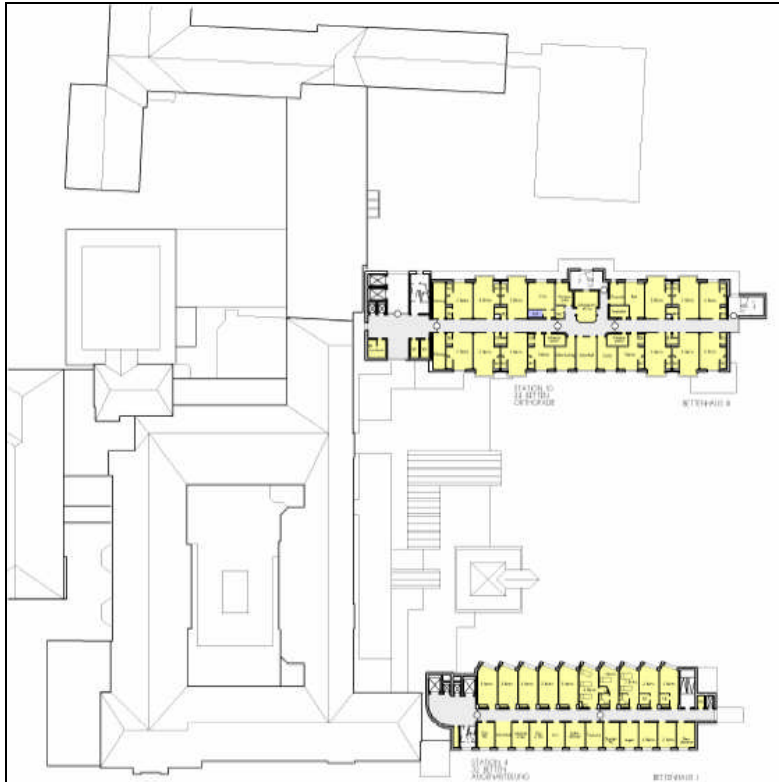


Abbildung 5.2.1/7: St.-Franziskus-Hospital, Münster, 4. Obergeschoss, ^{100g}

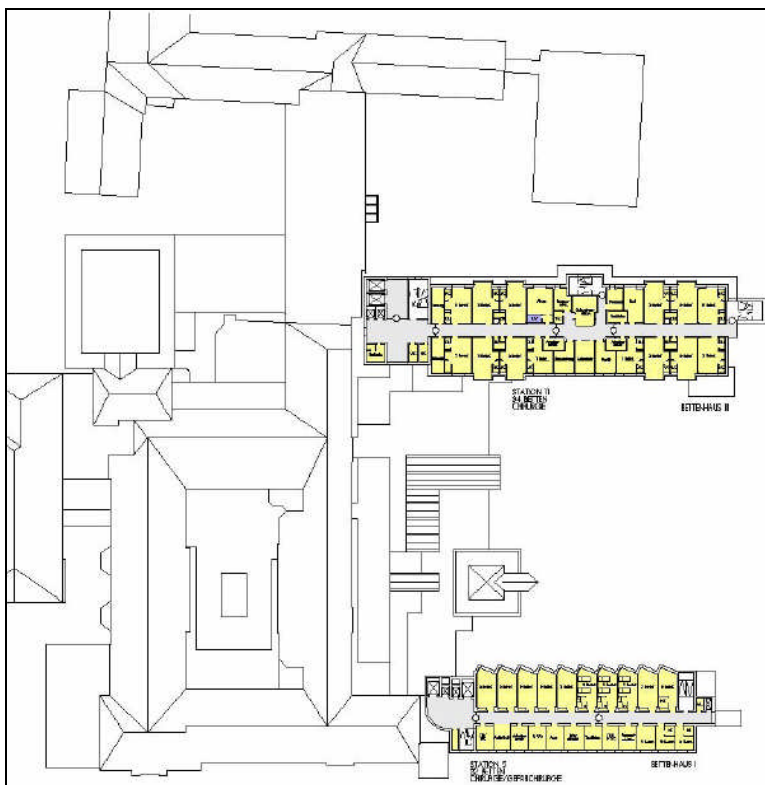


Abbildung 5.2.1/8: St.-Franziskus-Hospital, Münster, 5. Obergeschoss, ^{100h}

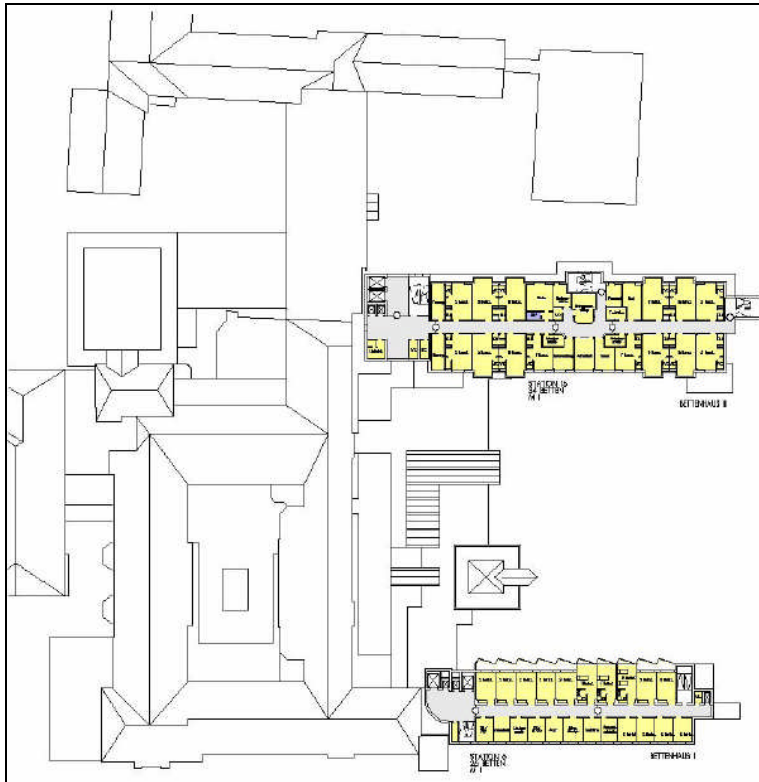


Abbildung 5.2.1/9: St.-Franziskus-Hospital, Münster, 6. Obergeschoss, ¹⁰⁰ⁱ

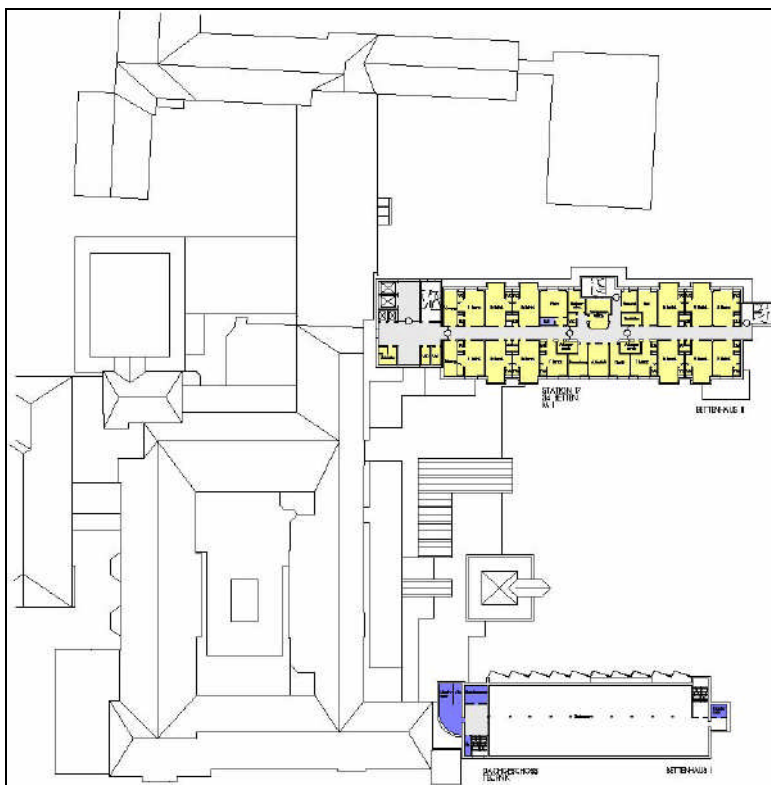


Abbildung 5.2.1/10: St.-Franziskus-Hospital, Münster, 7. Obergeschoss, ^{100j}

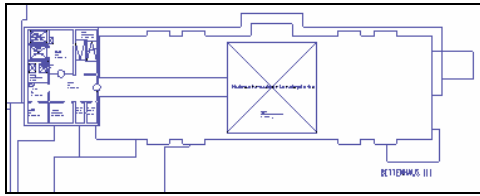


Abbildung 5.2.1/11: St.-Franziskus-Hospital, Münster, 8. Obergeschoss, ^{100k}

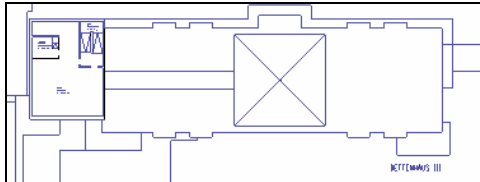


Abbildung 5.2.1/12: St.-Franziskus-Hospital, Münster, 9. Obergeschoss, ^{100l}

5.2.2 Energetische Struktur

Nachfolgend wird eine energetische Bewertung mit den unter 3. und 4. vorgestellten Verfahren vorgenommen. Es werden nur die krankenhausspezifischen Bereiche erfasst. Bei den Flächen handelt es sich um BGF. Die Bereiche werden nach ihrer energetischen Struktur zusammen gefasst, die nicht immer mit ihrer organisatorischen Struktur identisch ist.

Nuklearmedizin:

Kellergeschoss, Westseite, Fassadenorientierung: W/O

Künstlich belüftet. Natürlich belichtet. Keine speziellen Technikbereiche.

Geringe thermische Lasten.

Referenzbereich: Röntgendiagnostik, vgl. Tab. 3.6/2

anzusetzende flächenbezogene Energieaufwandszahl: 1.185 kWh/(m².a)

optimale flächenbezogene Energieaufwandszahl: 720 kWh/(m².a)

Fläche: 392,8 m²

Endoskopie:

Erdgeschoss, Zentralbereich, Fassadenorientierung: O/W

Künstlich belüftet. Natürlich belichtet. Die Schalt- und Steuergeräte sind in eigenen Technikräumen untergebracht. Geringe thermische Lasten.

Funktion. Untersuchung/Behandlung

Referenzbereich: Röntgendiagnostik, vgl. Tab. 3.6/2

anzusetzende flächenbezogene Energieaufwandszahl: 720 kWh/(m².a)

optimale flächenbezogene Energieaufwandszahl: 720 kWh/(m².a)

Fläche: 309,6 m²

^{100 a-1} St.-Franziskus-Hospital, Münster i. W., Planarchiv

Erst-/Notfallversorgung:

Erdgeschoss, Nordseite, Fassadenorientierung: N/S

Künstlich belüftet. Natürlich belichtet. Die Technikzentralen befinden sich im Dachgeschoss des Gebäudes, die Anbindung ist relativ schlecht. Geringe thermische Lasten.

Funktion: Notaufnahme und -versorgung

Referenzbereich: OP-Nebenräume bei ungünstigen

Installationsverhältnissen, vgl. Tab. 3.6/2

anzusetzende flächenbezogene Energieaufwandszahl: 820 kWh/(m².a)

optimale flächenbezogene Energieaufwandszahl: 663 kWh/(m².a)

Fläche: 652,7 m²

Kardiologie/Kernspin:

Kardiologie: Gartentrakt, Kellergeschoss, Fassadenorientierung: O/W

Kernspin: Südflügel, Kellergeschoss, Fassadenorientierung: N/S

Künstlich belüftet, z. T. natürlich belichtet. Technikzentralen im Kellergeschoss.

Separate Technikräume. Geringe solare Einträge.

Funktion: radiologische Untersuchung und Behandlung

Referenzbereich: Röntgendiagnostik, vgl. Tab. 3.6/2

anzusetzende flächenbezogene Energieaufwandszahl: 720 kWh/(m².a)

optimale flächenbezogene Energieaufwandszahl: 720 kWh/(m².a)

Fläche: 1.205,4 m²

Verwaltung:

Bürotrakt, Kellergeschoss, Ostseite

Bürotrakt, Erdgeschoss, Ostseite

Aufnahme, Zentralbereich, Erdgeschoss, Südseite

Bücherei/Konferenzräume, Zentralbereich, Erdgeschoss, Südseite

Bürotrakt, 1. Obergeschoss, Südseite

Bürotrakt, 2. Obergeschoss, Südseite

Natürlich belüftet und belichtet.

Funktion: Verwaltung/Büronutzung

Referenzbereich: Pflegebereiche, vgl. 4.3.1 und Tab. 3.6/2

Anzusetzende flächenbezogene Energieaufwandszahl: 334 kWh/(m².a)

optimale flächenbezogene Energieaufwandszahl: 334 kWh/(m².a)

Fläche: 1.877,1 m²

Arzträume:

Innere Medizin, Zentralbereich, Erdgeschoss, Südseite

Anästhesie, Bettenhaus II, 1. Obergeschoss, Südseite

Chirurgie, 1. Obergeschoss, Westseite

Pädiatrie, Zentralbereich, 3. Obergeschoss, Südseite

Natürlich belüftet und belichtet.

Funktion: Büronutzung

Referenzbereich: Pflegebereiche, vgl. 4.3.1 und Tab. 3.6/2

anzusetzende flächenbezogene Energieaufwandszahl:	334 kWh/(m ² .a)
optimale flächenbezogene Energieaufwandszahl:	334 kWh/(m ² .a)
Fläche:	1.828,3 m ²
Untersuchung/Behandlung:	
Orthopädie, Erdgeschoss, Westseite	659,7
Dialyse, Zentralbereich, 2. Obergeschoss,	507,3
Entbindung/Kreisssäle, 2. Obergeschoss, Nordseite	448,8
Funktion: Untersuchung/Behandlung	
Natürlich belüftet und belichtet	
Referenzbereich: Pflegebereiche, vgl. 4.3.1 und Tab. 3.6/2	
anzusetzende flächenbezogene Energieaufwandszahl:	334 kWh/(m ² .a)
optimale flächenbezogene Energieaufwandszahl:	334 kWh/(m ² .a)
Fläche:	1.615,8 m ²
Bereitschaftsräume:	
Bereitschafts- und Warteräume, OP-Trakt, 2. Obergeschoss, Ostseite	419,6
Funktion: Bereitschaftsräume	
Natürlich belüftet und belichtet	
Referenzbereich: Pflegebereiche, vgl. 4.3.1 und Tab. 3.6/2	
anzusetzende flächenbezogene Energieaufwandszahl:	334 kWh/(m ² .a)
optimale flächenbezogene Energieaufwandszahl:	334 kWh/(m ² .a)
Fläche:	419,6 m ²
Röntgen/Herzkatheder:	
Untersuchung und Behandlung, Zentralbereich, , 1. Obergeschoss	419,6
Funktion: Untersuchungs- und Behandlungsräume	
z. T. Künstlich belüftet, größtenteils natürlich belichtet.	
Separate Technikräume. Geringe solare Einträge.	
Funktion: radiologische Untersuchung und Behandlung	
Referenzbereich: Röntgendiagnostik, vgl. Tab. 3.6/2	
Natürlich belüftet und belichtet	
Referenzbereich: Pflegebereiche, vgl. 4.3.1 und Tab. 3.6/2	
anzusetzende flächenbezogene Energieaufwandszahl:	720 kWh/(m ² .a)
optimale flächenbezogene Energieaufwandszahl:	720 kWh/(m ² .a)
Fläche:	895,1 m ²
Intensivstation:	
OP-Trakt, 1. Obergeschoss, Nordseite	
Funktion: Intensivtherapiestation.	
Künstlich belüftet, größtenteils natürlich belichtet. Die Technikzentralen befinden sich im Zwischengeschoss unter dem 1. OG. Die Anbindung an die RLT-Zentrale ist relativ schlecht, die Entfernung relativ groß. Die Installationen befinden sich zum Großteil in den abgehängten Decken des Nutzbereiches. Die Installationshöhen in den abgehängten Decken sind mit ca. 80 cm gering, sodass die Installati-	

onsverhältnisse ungünstig sind. Die solaren Einträge sind wegen der Orientierung gering.

Funktion: Intensivtherapiestation

Referenzbereich: Intensivstation bei

ungünstigen Installationsverhältnissen, vgl. Tab. 3.6/2

anzusetzende flächenbezogene Energieaufwandszahl: 2.005 kWh/(m².a)

optimale flächenbezogene Energieaufwandszahl: 1.479 kWh/(m².a)

Fläche: 544,6 m²

OP-Säle alt Zentral-OP:

Zentral-OP-Trakt, 1. Obergeschoss, alle OP-Säle innen liegend.

Künstlich belüftet und belichtet. Die Technikzentralen befinden sich im Zwischengeschoss unter dem 1. OG. Die Anbindung an die Zentralen ist relativ schlecht. Nachinstallationen sind kaum oder nur mit sehr großem Aufwand und bei ungünstigen Ergebnissen möglich. Die Installationen befinden sich zum Großteil in den abgehängten Decken des Nutzbereiches. Die Installationshöhen in den abgehängten Decken sind mit ca. 80 cm gering, sodass die Installationsverhältnisse ungünstig sind. Solare Einträge gibt es nicht.

Funktion: OP-Saal

Referenzbereich: OP-Saal bei ungünstigen

Installationsverhältnissen, vgl. Tab. 3.6/2

anzusetzende flächenbezogene Energieaufwandszahl: 5.145 kWh/(m².a)

optimale flächenbezogene Energieaufwandszahl: 3.648 kWh/(m².a)

Fläche: 150,1 m²

OP-Nebenräume alt Zentral-OP:

Zentral-OP-Trakt, 1. Obergeschoss, Fassadenorientierung: N

Künstlich belüftet und belichtet. Die Technikzentralen befinden sich im Zwischengeschoss unter dem 1. OG. Die Anbindung an die Zentralen ist relativ schlecht. Nachinstallationen sind kaum oder nur mit sehr großem Aufwand und bei ungünstigen Ergebnissen möglich. Die Installationen befinden sich zum Großteil in den abgehängten Decken des Nutzbereiches. Die Installationshöhen in den abgehängten Decken sind mit ca. 80 cm gering, sodass die Installationsverhältnisse ungünstig sind. Die solaren Einträge sind gering.

Funktion: OP-Nebenräume

Referenzbereich: OP-Nebenräume bei ungünstigen

Installationsverhältnissen, vgl. Tab. 3.6/2

anzusetzende flächenbezogene Energieaufwandszahl: 820 kWh/(m².a)

optimale flächenbezogene Energieaufwandszahl: 663 kWh/(m².a)

Fläche: 933,7 m²

OP-Säle neu Zentral-OP:

Zentral-OP-Trakt, 1. Obergeschoss, alle OP-Säle ohne Fenster.

Künstlich belüftet und belichtet. Die Technikzentrale befindet sich im Dachgeschoss über dem 2. OG über dem OP-Bereich. Die Anbindung an die Zentrale ist relativ gut. Die Zentrale ist großzügig bemessen, sodass auch Nachinstallationen möglich sind. Die Installationen befinden sich zum Großteil in den abgehängten Decken des Nutzbereiches. Wartung, Instandhaltung und Reparaturen sind schwierig. Die Installationshöhen in den abgehängten Decken sind zwar mit ca. 80 cm relativ gering. Da die direkte Anbindung an die Zentrale jedoch eine gute Verteilung ermöglicht, sind die Installationsverhältnisse als gut einzustufen. Solare Einträge gibt es nicht..

Funktion: OP-Saal

Referenzbereich: OP-Saal, vgl. Tab. 3.6/2

anzusetzende flächenbezogene Energieaufwandszahl:	3.648 kWh/(m ² .a)
optimale flächenbezogene Energieaufwandszahl:	3.648 kWh/(m ² .a)
Fläche:	205,9 m ²

OP-Nebenräume neu Zentral-OP:

Zentral-OP-Trakt, 1. Obergeschoss, Fassadenorientierung: S/N

Künstlich belüftet und belichtet. Die Technikzentrale befindet sich im Dachgeschoss über dem 2. OG über dem OP-Bereich. Die Anbindung an die Zentrale ist relativ gut. Die Zentrale ist großzügig bemessen, sodass auch Nachinstallationen möglich sind. Die Installationen befinden sich zum Großteil in den abgehängten Decken des Nutzbereiches. Wartung, Instandhaltung und Reparaturen sind schwierig. Die Installationshöhen in den abgehängten Decken sind zwar mit ca. 80 cm relativ gering. Da die direkte Anbindung an die Zentrale jedoch eine gute Verteilung ermöglicht, sind die Installationsverhältnisse als gut einzustufen. Die solaren Einträge sind gering.

Funktion: OP-Nebenräume

Referenzbereich: OP-Nebenräume, vgl. Tab. 3.6/2

anzusetzende flächenbezogene Energieaufwandszahl:	663 kWh/(m ² .a)
optimale flächenbezogene Energieaufwandszahl:	663 kWh/(m ² .a)
Fläche:	1.800,3 m ²

Gyn-OP-Saal Zentral-OP:

OP-Trakt, 2. Obergeschoss, Fassadenorientierung: N

Künstlich belüftet und belichtet. Die Technikzentralen befinden sich im Zwischengeschoss unter dem 1. OG. Die Anbindung an die Zentralen ist relativ schlecht. Nachinstallationen sind kaum oder nur mit sehr großem Aufwand und bei ungünstigen Ergebnissen möglich. Die Installationen befinden sich zum Großteil in den abgehängten Decken des Nutzbereiches. Die Installationshöhen in den abgehängten Decken sind mit ca. 80 cm gering, sodass die Installationsverhältnisse ungünstig sind. Die solaren Einträge sind wegen der Orientierung gering.

Funktion: OP-Saal

Referenzbereich: OP-Saal bei ungünstigen

Installationsverhältnissen, vgl. Tab. 3.6/2

anzusetzende flächenbezogene Energieaufwandszahl: 5.145 kWh/(m².a)

optimale flächenbezogene Energieaufwandszahl: 3.648 kWh/(m².a)

Fläche: 41,4 m²

Gyn-OP-Nebenräume Zentral-OP:

OP-Trakt, 2. Obergeschoss, Fassadenorientierung: N

Künstlich belüftet und belichtet. Die Technikzentrale befindet sich im Zwischengeschoss unter dem 1. OG. Die Anbindung an die Zentrale ist relativ schlecht. Nachinstallationen sind kaum oder nur mit sehr großem Aufwand und bei ungünstigen Ergebnissen möglich. Die Installationen befinden sich zum Großteil in den abgehängten Decken des Nutzbereiches. Die Installationshöhen in den abgehängten Decken sind mit ca. 80 cm gering, sodass die Installationsverhältnisse ungünstig sind. Die solaren Einträge sind gering.

Funktion: OP-Nebenräume

Referenzbereich: OP-Nebenräume bei ungünstigen

Installationsverhältnissen, vgl. Tab. 3.6/2

anzusetzende flächenbezogene Energieaufwandszahl: 820 kWh/(m².a)

optimale flächenbezogene Energieaufwandszahl: 663 kWh/(m².a)

Fläche: 200,1 m²

HNO-OP-Saal Zentral-OP:

OP-Trakt, 3. Obergeschoss, Fassadenorientierung: N

Künstlich belüftet und belichtet. Die Technikzentralen befinden sich im Zwischengeschoss unter dem 1. OG. Die Anbindung an die Zentralen ist relativ schlecht. Nachinstallationen sind kaum oder nur mit sehr großem Aufwand und bei ungünstigen Ergebnissen möglich. Die Installationen befinden sich zum Großteil in den abgehängten Decken des Nutzbereiches. Die Installationshöhen in den abgehängten Decken sind mit ca. 80 cm gering, sodass die Installationsverhältnisse ungünstig sind. Die solaren Einträge sind wegen der Orientierung gering.

Funktion: OP-Saal

Referenzbereich: OP-Saal bei ungünstigen

Installationsverhältnissen, vgl. Tab. 3.6/2

anzusetzende flächenbezogene Energieaufwandszahl: 5.145 kWh/(m².a)

optimale flächenbezogene Energieaufwandszahl: 3.648 kWh/(m².a)

Fläche: 27,0 m²

HNO-OP-Nebenräume Zentral-OP:

OP-Trakt, 3. Obergeschoss, Fassadenorientierung: N

Künstlich belüftet und belichtet. Die Technikzentrale befindet sich im Zwischengeschoss unter dem 1. OG. Die Anbindung an die Zentrale ist relativ schlecht.

Nachinstallationen sind kaum oder nur mit sehr großem Aufwand und bei ungünstigen Ergebnissen möglich. Die Installationen befinden sich zum Großteil in den abgehängten Decken des Nutzbereiches. Die Installationshöhen in den abgehängten Decken sind mit ca. 80 cm gering, sodass die Installationsverhältnisse ungünstig sind. Die solaren Einträge sind wegen der Orientierung gering.

Funktion: OP-Nebenräume

Referenzbereich: OP-Nebenräume bei ungünstigen

Installationsverhältnissen, vgl. Tab. 3.6/2

anzusetzende flächenbezogene Energieaufwandszahl: 820 kWh/(m².a)

optimale flächenbezogene Energieaufwandszahl: 663 kWh/(m².a)

Fläche: 55,6 m²

Augen-OP-Saal Zentral-OP:

OP-Trakt, 3. Obergeschoss, Fassadenorientierung: O, keine Fenster

Künstlich belüftet und belichtet. Die Technikzentrale befindet sich im Zwischengeschoss unter dem 1. OG. Die Anbindung an die Zentrale ist relativ schlecht. Nachinstallationen sind kaum oder nur mit sehr großem Aufwand und bei ungünstigen Ergebnissen möglich. Die Installationen befinden sich zum Großteil in den abgehängten Decken des Nutzbereiches. Die Installationshöhen in den abgehängten Decken sind mit ca. 80 cm gering, sodass die Installationsverhältnisse ungünstig sind. Die solaren Einträge sind wegen der Orientierung gering.

Funktion: OP-Saal

Referenzbereich: OP-Saal bei ungünstigen

Installationsverhältnissen, vgl. Tab. 3.6/2

anzusetzende flächenbezogene Energieaufwandszahl: 5.145 kWh/(m².a)

optimale flächenbezogene Energieaufwandszahl: 3.648 kWh/(m².a)

Fläche: 47,1 m²

Augen-OP-Nebenräume Zentral-OP:

OP-Trakt, 3. Obergeschoss, Fassadenorientierung: N

Künstlich belüftet und belichtet. Die Technikzentrale befindet sich im Zwischengeschoss unter dem 1. OG. Die Anbindung an die Zentrale ist relativ schlecht. Nachinstallationen sind kaum oder nur mit sehr großem Aufwand und bei ungünstigen Ergebnissen möglich. Die Installationen befinden sich zum Großteil in den abgehängten Decken des Nutzbereiches. Die Installationshöhen in den abgehängten Decken sind mit ca. 80 cm gering, sodass die Installationsverhältnisse ungünstig sind. Die solaren Einträge sind wegen der Orientierung gering.

Funktion: OP-Nebenräume

Referenzbereich: OP-Nebenräume bei ungünstigen

Installationsverhältnissen, vgl. Tab. 3.6/2

anzusetzende flächenbezogene Energieaufwandszahl: 820 kWh/(m².a)

optimale flächenbezogene Energieaufwandszahl: 663 kWh/(m².a)

Fläche: 73,8 m²

Pflegebereiche:

Isolierstation, Bettenhaus I, Erdgeschoss, Westseite	463,1
Orthopädie, Bettenhaus I, 1. Obergeschoss, Westseite	213,9
Chirurgie, Bettenhaus I, 1. Obergeschoss, Westseite	1.017,3
Station für Risikoschwangere, Bettenhaus II, 2. Obergeschoss, Südseite	359,5
Station 8, Bettenhaus II, 2. Obergeschoss, Westseite	1.017,3
Pädiatrie, Bettenhaus II, 3. Obergeschoss, Südseite	625,1
Nachintensiv, Zentralbereich, 3. Obergeschoss, Westseite	377,3
HNO-Station, 3. Obergeschoss, Nordseite	324,8
Station 9, OP-Trakt, 3. Obergeschoss, Nordseite	612,8
Station 3, Bettenhaus I, 3. Obergeschoss, Westseite	556,5
Pflegestationen, Bettenhaus I/III, 4. Obergeschoss, West-/Ostseite	1.476,4
Pflegestationen, Bettenhaus I/III, 5. Obergeschoss, West-/Ostseite	1.476,4
Pflegestationen, Bettenhaus I/III, 6. Obergeschoss, West-/Ostseite	1.423,8
Pflegestation, Bettenhaus III, 7. Obergeschoss, Ostseite	919,9

Natürlich belüftet und belichtet. Geringe bis durchschnittliche solare Einträge.

Funktion: Normalpflege

Referenzbereich: Pflegebereich, vgl. Tab. 3.6/2

anzusetzende flächenbezogene Energieaufwandszahl: 334 kWh/(m².a)

optimale flächenbezogene Energieaufwandszahl: 334 kWh/(m².a)

Fläche: 10.846,9 m²

5.2.3 Dimensionslose Energieaufwandszahlen

Mit den so ermittelten Ausgangsdaten zur energetischen Struktur des Entwurfes können nun der tatsächliche und der optimale Energieverbrauch sowie die dimensionslosen Energieaufwandszahlen ermittelt werden.

Bereich	Fläche A m ²	Fläche in %	flächen- bezogener Energie- verbrauch tatsächlich E _{Atats} kWh/ (m ² a)	Energie- verbrauch tatsächlich Q _{tats} kWh/a	Energie- verbrauch in %	flächen- bezogener Energie- verbrauch optimal E _{Aopt} kWh/ (m ² a)	Energie- verbrauch optimal Q _{opt} kWh/a	dimensions- lose Energie- aufwands- zahl E _Z
Nuklearme- dizin	392,8	1,63	1.185	465.468	3,40	720	282.816	1,65
Endoskopie	309,6	1,28	720	222.912	1,63	720	222.912	1,00
Erst-/Notfall- versorgung	652,7	2,71	820	535.214	3,91	663	432.740	1,24
Kardiologie/ Kernspin	1.205,4	5,00	720	867.888	6,34	720	867.888	1,00
Verwaltung	1.877,1	7,78	334	626.951	4,58	334	626.951	1,00
Arzträume	1.828,3	7,58	334	610.652	4,46	334	610.652	1,00
Unters./ Behandlung	1.615,8	6,70	334	539.677	3,94	334	539.677	1,00
Bereitschafts- räume	419,6	1,74	334	140.146	1,02	334	140.146	1,00
Röntgen/ Herzkatheder	895,1	3,71	720	644.472	4,71	720	644.472	1,00
Intensiv- station	544,6	2,26	2.005	1.091.923	7,97	1.479	805.463	1,36
OP-Säle alt ZOP	150,1	0,62	5.145	772.265	5,64	3.648	547.565	1,41
OP-Nebenr. alt ZOP	933,7	3,87	820	765.634	5,59	663	619.043	1,24
OP-Säle neu ZOP	205,9	0,85	3.548	730.533	5,33	3.648	751.123	0,97
OP-Nebenr. neu ZOP	1.800,3	7,46	663	1.193.599	8,72	663	1.193.599	1,00
Gyn-OP-Saal ZOP	41,4	0,17	5.145	213.003	1,56	3.648	151.027	1,41
Gyn-OP- Nebenr. ZOP	200,1	0,83	820	164.082	1,20	663	132.666	1,24
HNO-OP- Saal ZOP	27,0	0,11	5.145	138.915	1,01	3.648	98.496	1,41
HNO-OP- Nebenr. ZOP	55,6	0,23	820	45.592	0,33	663	36.863	1,24
Augen-OP- Saal ZOP	47,1	0,20	5.145	242.330	1,77	3.648	171.821	1,41
Augen-OP- Nebenr. ZOP	73,8	0,31	820	60.516	0,44	663	48.929	1,24
Pflege- bereiche	10.846,9	44,97	334	3.622.865	26,45	334	3.622.865	1,00
Summe	24.122,90	100,00		13.694.637	100		12.547.716	1,09

Tabelle 5.2.3/1: Dimensionslose Energieaufwandszahlen St.-Franziskus-Hospital, Münster

5.2.4 Auswertung

In den meisten Bereichen des Krankenhauses ist der Entwurf unter energetischen Gesichtspunkten als gut einzustufen. In den alten Bereichen des Zentralen OP-Traktes liegt E_Z jedoch erheblich über dem optimalen Wert, was auf die ungünstigen Installationsbedingungen zurück zu führen ist, also auf die Lage und die Anbindung der Zentralen an die Versorgungsbereiche.

Dies gilt auch für die Nuklearmedizin und die Intensivtherapiestation.

Insgesamt ist die energetische Struktur des Franziskus-Hospitals als befriedigend bis gut einzustufen. Die dimensionslose Energieaufwandszahl E_Z des gesamten Gebäudes beträgt 1,09 und liegt damit um knapp 10 % über dem Optimum.

Der tatsächliche Energieverbrauch liegt um 1.146.921 kWh/a über dem optimierten Energieverbrauch.

Die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung liefert eine Energiekostendifferenz von 35.555 €/a und einen Kapitalwert in Höhe von 501.110 € bei einer Lebensdauer von 25 Jahren.

Die technische Infrastruktur des alten Bereiches des ZOP's sowie der Gyn-, HNO- und Augen-OP-Bereiche bedarf einer Verbesserung und das damit verbundene Energieeinsparpotenzial ist durchaus beträchtlich.

5.3 Zusammenfassung

Der Vergleich der zwei Krankenhäuser, die eine ähnliche Entstehungsgeschichte haben, zeigt einerseits, dass es auch in schwierigen gewachsenen Strukturen möglich ist, zu recht guten Ergebnissen bei der technischen und energetischen Struktur zu gelangen. Andererseits wird aber auch deutlich, dass die Probleme in den Bereichen der alten Bausubstanz liegen, in denen hochtechnisierte Einrichtungen untergebracht werden müssen (Zentral-OP alt SFH, Augen/Gyn-OP Joho).

Daneben ist festzustellen, dass bei Berücksichtigung der notwendigen Kriterien (vgl. 6.) energieoptimierte Entwürfe in den Pflegestationen durchaus zu erreichen sind. In Gebäuden, die, wie die beiden vorgestellten Häuser eine sehr alte Struktur haben, sind diese Kriterien weitgehend berücksichtigt.

Problematisch sind unter energetischen Gesichtspunkten vor allem voll klimatisierte Häuser aus den 60-er und 70-er Jahren des letzten Jahrhunderts zu sehen, in denen insbesondere in den Pflege-, Untersuchungs- und Behandlungsbereichen mit einem erheblich höheren Energieverbrauch zu rechnen ist und die dimensionslosen Energieaufwandszahlen E_Z deutlich über dem Optimalwert liegen. Sofern diese Gebäude als Breitfußtyp konzipiert sind, ist es wegen der sehr großen innen liegenden Bereiche sehr schwierig, die technische Infrastruktur durch Schaffung von natürlicher Belüftung und Belichtung zu sanieren.

Als Beispiel sei hier das Zentralgebäude der Universitätsklinik Münster genannt. Es hat einen sehr großen Flachbereich mit 6 überirdischen Geschossen bei

einer Ausdehnung von ca. 270 m x 90 m, sodass sich extrem große innen liegende Zonen ergeben. Sie können kaum mit einer natürlichen Belüftung und Belichtung versehen werden, ohne die grundlegende funktionale Struktur des Gebäudes zu verändern, da hierfür größere Funktionsflächen zur Schaffung von Lichthöfen aufgegeben werden müssten.

6. Strategien zur Reduzierung des Energiebedarfs

Die Planung und der Entwurf von Krankenhäusern oder Teilen davon sind Prozesse mit einem großen Zeitbedarf. Ehe die Entscheidung für einen bestimmten Entwurf gefällt wird, sind sehr viele Fragen zu klären und es vergehen nicht selten mehrere Jahre.

Zu Beginn steht die Erkenntnis des Bauherrn oder Betreibers, dass eine bauliche Veränderung notwendig ist oder wird. Der Grund kann in einem geänderten medizinischen Profil, in veränderten medizinischen Prozessen, in der Notwendigkeit zur Installation von neuen medizintechnischen Geräten oder zur Sanierung des Gebäudes oder Teilen davon liegen.

Damit hängt unmittelbar die Klärung zusammen, ob die Baumaßnahme in einem bestehenden Gebäude oder Gebäudekomplex erfolgen soll oder ob ein neuer Standort gefunden werden muss. Bereits in dieser Phase ist die Berücksichtigung von energetischen Fragen notwendig, um ein optimales Projektergebnis zu erreichen. Die Entscheider müssen sich über die Konsequenzen ihrer Entscheidungen im Klaren sein. Häufig werden hier bereits externe Architekten als Berater hinzugezogen, um die baulichen Möglichkeiten und Anforderungen zu klären.

In dieser Projektfrühphase, also noch bevor mit baulichen Planungen begonnen worden ist, werden die Weichen gestellt, ob es möglich ist, ein energieoptimiertes Bauwerk zu erreichen oder nicht.

Dem Architekten kommt in dieser Konzeptfindungsphase die Aufgabe zu, den Bauherrn qualifiziert zu beraten und ihm die Konsequenzen bezüglich der energetischen Fragen der verschiedenen Konzepte, aufzuzeigen. Dabei sind vor allem die Lebensdauer des Gebäudes und die damit zusammenhängenden energiewirtschaftlichen Aspekte von Bedeutung.

Die grundsätzlichen Fragen, die hier zu beantworten sind, betreffen das zu realisierende Raumprogramm, das sich aus dem medizinisch-funktionalen Konzept ergibt und in ein bauliches Konzept mündet. Dieses bauliche Konzept ist unter dem Gesichtspunkt der energetischen Optimierung zu erstellen. Dabei ist zunächst vor allem die Frage von Bedeutung, ob ein horizontal oder ein vertikal strukturierter Baukörper realisiert werden kann.

Ersterer bietet die Möglichkeit, die einzelnen Betriebsbereiche und –stellen räumlich klar zu trennen und die notwendigen Technikbereiche diesen zuzuordnen. Ein primär vertikal gegliederter Baukörper bedeutet häufig eine zentralisierte technische Gebäudeausrüstung sowie eine Hochhaussituation. Beides ist einem energetisch optimierten Konzept abträglich.

In der Konzeptionsphase muss für den Architekten deshalb das Ziel darin liegen, den Bauherrn für die Bedeutung der energetischen Fragestellungen zu sensi-

bilisieren und die Voraussetzungen für ein energieoptimiertes Gebäude zu schaffen.

Daran schließt sich die Phase an, in der die ersten frühen Entwürfe erstellt werden. Dabei kommt es entscheidend darauf an, das Gebäude unter energetischen und funktionalen Gesichtspunkten klar zu strukturieren. Darauf aufbauend sind die Referenzbereiche festzulegen. Sofern es für einen Bereich noch keinen Referenzbereich gibt, ist er mit dem in 3.6 vorgestellten Verfahren zu definieren (vgl. Tab. 3.6/2).

Die Anforderungen, die sich aus den zu erfüllenden medizinischen Funktionen ergeben, sind im baulichen Entwurf umzusetzen. Damit steht die technische Gebäudeausrüstung in unmittelbarem Zusammenhang. Sie ergibt sich ebenfalls aus den zu erfüllenden medizinischen Funktionen und aus dem Entwurf. Die medizinischen Funktionen, der Entwurf und die technische Gebäudeausrüstung stehen in Wechselwirkungen zueinander und beeinflussen sich gegenseitig. Aus dem Zusammenwirken dieser drei Komponenten entsteht die energetische Struktur des Krankenhauses bzw. seiner Teile, die maßgeblich für die Höhe und die Zusammensetzung des Energieverbrauches ist.

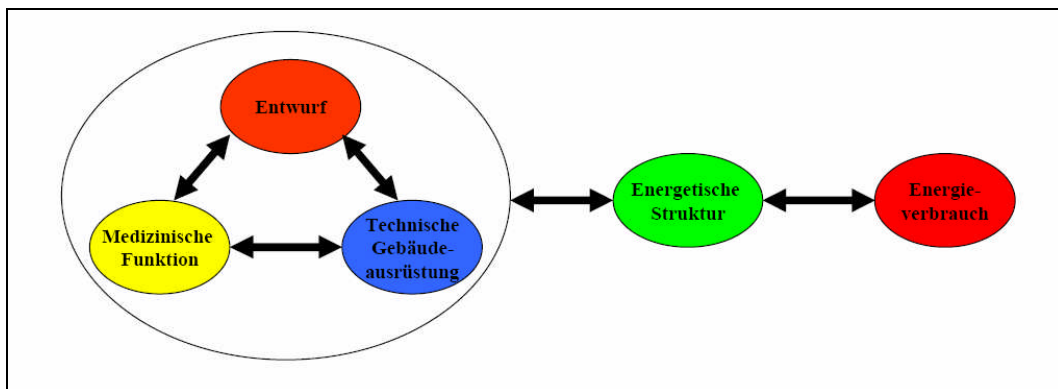


Abbildung 6./1: Wechselwirkungen zwischen Funktion, Entwurf, technischer Gebäudeausrüstung und Energieverbrauch

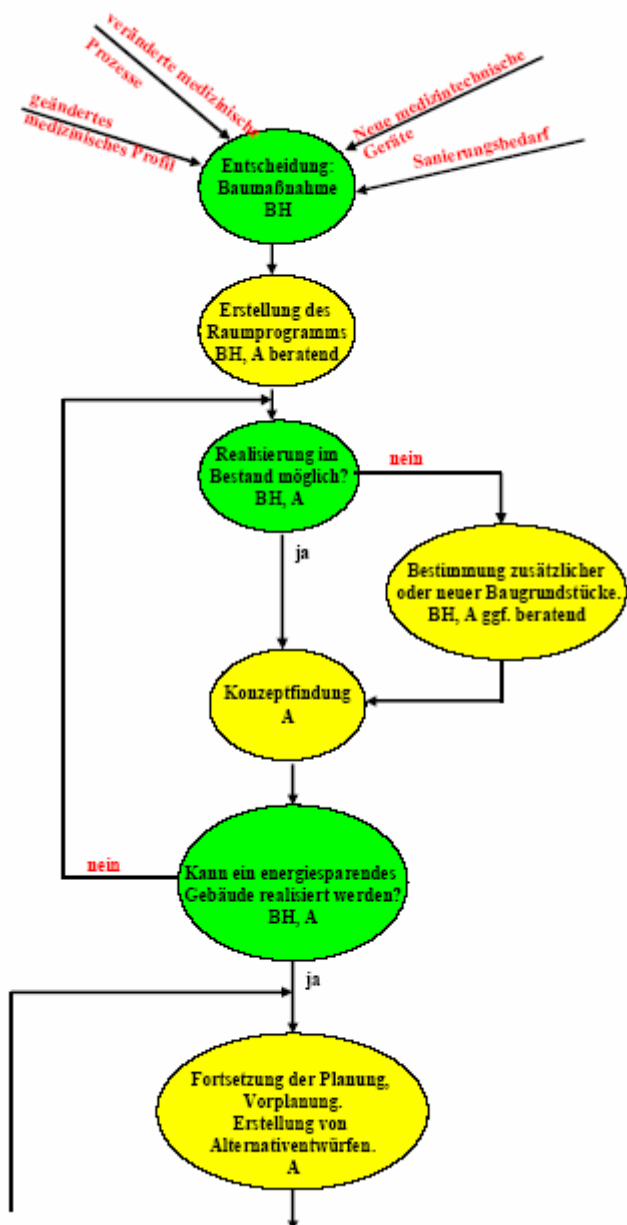
Danach sind alle Betriebsstellen hinsichtlich ihrer energetischen Struktur zu analysieren. Es ist festzulegen, ob die Voraussetzungen für einen energieoptimierten Entwurf vorliegen oder ob es Abweichungen gibt, die den in Kapitel 3 ermittelten energierelevanten Kriterien zuzuordnen sind. Auf dieser Grundlage sind die tatsächlichen und optimalen flächenbezogenen Energieaufwandszahlen nach Tab. 3.7/2 zu bestimmen. Durch Verhältnisbildung sind die dimensionslosen Energieaufwandszahlen für die einzelnen Betriebsstellen und für das gesamte Gebäude zu bestimmen (vgl. 4.3.1 und 4.3.2).

Dieses Verfahren ist für alle zu vergleichenden Entwürfe durchzuführen, so dass sich Vergleichszahlen bilden, mit denen sehr schnell und einfach die energetische Struktur erkannt werden kann und eine Einschätzung der energetischen Qualität des Entwurfes vorgenommen werden kann, ohne dass die gebäudetechni-

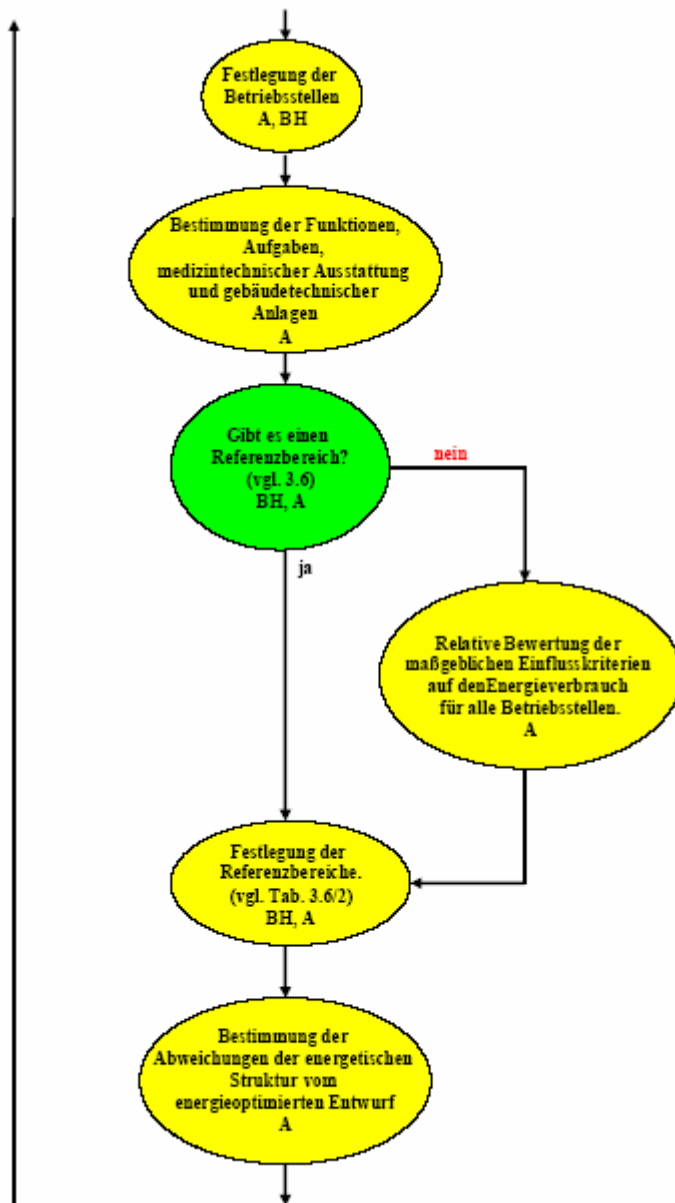
schen Anlagen bereits vollständig entworfen und dimensioniert sein müssten. Darüber hinaus wird deutlich, wo die maßgeblichen Energieverbraucher zu erwarten sind und inwieweit noch korrigierend eingegriffen werden kann.

Dimensionslose Energiebedarfskennzahlen eignen sich für die Beurteilung von Entwürfen im Rahmen der Konzeptionsphase, der Vorplanung, ggf. der Entwurfsphase, bei der Bewertung von Architektenwettbewerben und zur Beurteilung der Energiekosten.

Ebenso können sie auch zur schnellen Analyse der energetischen Struktur bestehender Gebäude verwendet werden, um Problemfelder aufzuzeigen oder einen Vergleich durchzuführen. Sie sind eine Form von Benchmarking und können zur Festlegung von Vorgaben bei Neuplanungen und Neubauten im Rahmen von Ausschreibungen dienen.



A Architekt
BH Bauherr



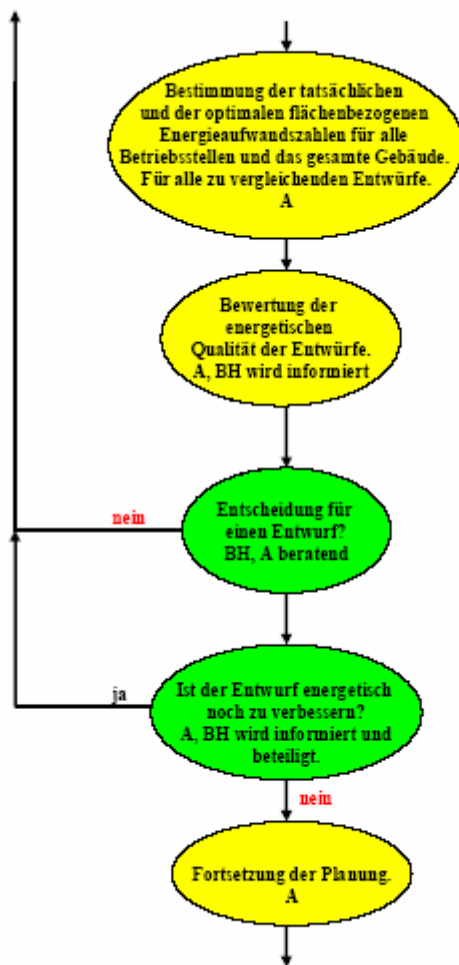


Abbildung 6./2: Ablaufschema der Konzeptfindung und Vorplanung bei der energetischen Beurteilung

Bereits in dieser Phase, in der das bauliche Konzept und der zu realisierende Entwurf festgelegt werden, sind die Faktoren, die die energetische Qualität maßgeblich beeinflussen, zu berücksichtigen. Hier werden die Grundlagen für ein energieoptimiertes Gebäude gelegt, die im weiteren Verlauf der Projektrealisierung nicht mehr revidierbar sind. Die Strategie beim Entwurf muss dies berücksichtigen und konsequent umsetzen. Nachfolgend werden die dabei zu berücksichtigenden Kriterien nochmals aufgeführt:

- Wahl eines Standortes mit ausreichend bebaubaren Flächen
- Wahl einer horizontalen Gebäudestruktur
- Dezentralisierung der gebäudetechnischen Anlagen
- Direkte Zuordnung der Zentralen der technischen Gebäudeausrüstung zu den Versorgungsbereichen, besonders der RLT-Zentralen
- Bestimmung der Magistralen
- Festlegung der Betriebsstellen und ihrer Lage im Gebäude sowie ihrer Anordnung zu den Magistralen

- Festlegung von einheitlichen lichten Raumhöhen und der Geschosshöhen
- Festlegung der Erweiterungsrichtungen
- Festlegung des Konstruktionsrasters
- Unterzugsfreie Decken
- Wahl einer massiven Bauweise
- Konzipierung der Betriebsstellen unter energetischen Gesichtspunkten:
 - OP-Säle:
 - Direkte und kurze Anbindung der RLT-Zentralen an die OP-Säle
 - OP-Nebenräume:
 - Festlegung der thermisch sensiblen und nicht sensiblen Bereiche
 - Bildung von thermisch nicht sensiblen Pufferzonen vor thermisch sensiblen Zonen
 - Minimierung der solaren Lasten
 - Direkte und kurze Anbindung der RLT-Zentrale an die OP-Nebenräume
 - Intensivstationen:
 - Nord-Süd-Orientierung der Fassaden
 - Sonnenschutz
 - Direkte und kurze Anbindung der RLT-Zentrale an die Intensivstation
 - Röntgendiagnostik:
 - Anordnung von künstlich belüfteten Untersuchungsbereichen im Innenbereich
 - Kapselung der Technikbereiche mit sehr hohen Abwärmelasten
 - Sonnenschutz
 - Direkte und kurze Anbindung der RLT-Zentrale an die Röntgendiagnostik
 - Pflegestationen:
 - Vermeidung von Hochhaussituationen
 - Natürliche Belüftung und Belichtung
 - Anordnung der Nasszellen der Patientenzimmer im Innenbereich
 - sehr guter winterlicher und sommerlicher Wärmeschutz

Diese Kriterien sind auch auf alle anderen Betriebsbereiche anzuwenden, die zu den entsprechenden Raumclustern gehören (vgl. Tab. 3.7/2).

Die konsequente Berücksichtigung dieser strategischen Kriterien lässt eine energieoptimierte Struktur zu. Die externen Einflüsse, die zu einer Erhöhung der Lasten führen würde, sind minimiert und die gebäudetechnischen Anlagen können konsequent energiesparend konzipiert werden.

Die finanziellen Mehraufwändungen bei der Investition lassen auf jeden Fall kurze Kapitalrückflusszeiten durch reduzierte Energiekosten erwarten.

7. Zusammenfassung, Ausblick, Tendenzen

Krankenhäuser sehen sich heute in zunehmendem Maße sehr starken externen Einflüssen ausgesetzt, die erhebliche Auswirkungen auf das angestrebte medizinische Profil und die internen Prozesse haben.

Der Kostendruck ist enorm gestiegen. Durch die Einführung der Budgetierung und der Fallpauschalen sind drastische Veränderungen bei der Vergütung der Leistungen der Krankenhäuser eingetreten. Die Verschiebungen bei den Erlösen zwingen die Krankenhäuser dazu, ihren betrieblichen Aufwand und ihre Kosten zu reduzieren, um ihre Gewinnsituation zu verbessern.

Der medizinische Fortschritt ist nach wie vor erheblich und es werden ständig neue und bessere Untersuchungs- und Behandlungsmethoden entwickelt. So beinhalten beispielsweise minimalinvasive operative Eingriffe oder die therapeutischen Möglichkeiten bei der Frühgeborenenversorgung größere Chancen und/oder geringere Belastungen für die Patienten.

Die Patienten erwarten, nach dem neuesten Stand der medizinischen Wissenschaft untersucht und behandelt zu werden und sind darüber hinaus wesentlich kritischer geworden. Dies sind Anforderungen an die Krankenhäuser, durch die sie in eine stärkere Konkurrenzlage geraten, da Patienten und einweisende Ärzte die Häuser miteinander vergleichen.

Spezialleistungen, für die aufwändige und teure medizintechnische Geräte und Anlagen erforderlich sind, werden heute auch in großem Umfang von niedergelassenen Ärzten erbracht, die dadurch zu Konkurrenten der Krankenhäuser werden und Leistungen anbieten, die bis vor Kurzem nur von Krankenhäusern erbracht wurden.

Vor diesem Hintergrund ist die Ausgangslage für die Krankenhäuser erheblich schwieriger geworden und sie sehen sich vor der Aufgabe, ihr Leistungsangebot zu hinterfragen, ihr Profil zu schärfen, ihre Prozesse zu optimieren und ihre Kosten- und Aufwandsstruktur zu verbessern. Der für den Betrieb und die Funktion der Häuser sowie für die Erbringung der medizinischen Leistungen notwendige Energieverbrauch steht dabei ebenso wie alle anderen Kostenbestandteile auf dem Prüfstand.

Sowohl elektrische als auch thermische Energie ist für den Betrieb eines Krankenhauses von grundlegender Bedeutung. Ohne Energie ist ein Krankenhaus nicht betriebsfähig, sodass der Versorgungssicherheit von vitaler Bedeutung ist. In der Gesamt-Kostenstruktur von Krankenhäusern ist der Energieverbrauch zwar nur ein relativ kleiner betriebswirtschaftlicher Faktor. Trotzdem sind Krankenhäuser sehr energieintensive Gebäude. Es steht ein sehr großer Verbrauch zur Disposition.

Darüber hinaus wird mit dem Entwurf des Krankenhauses oder einzelner Teile der Energieverbrauch für einen sehr langen Zeitraum festgeschrieben. Daher ist eine kritische Betrachtung in diesem Zusammenhang notwendig und muss bereits bei den ersten Entscheidungsprozessen, die zum Bau oder zur baulichen Umgestaltung von Krankenhäusern führen, erfolgen.

Bei Krankenhäusern sind die funktionalen Anforderungen an die Gebäude und seine Teile die wichtigsten Prämissen, die in jedem Fall zu erfüllen sind. Die medizinischen und pflegerischen Aufgaben können nicht erbracht werden, wenn die funktionalen Zusammenhänge unzureichend sind. Der Entwurf muss deshalb die medizinischen und pflegerischen Prozesse abbilden und möglichst effizient ermöglichen.

Der Architekt muss aber ebenso alle anderen Randbedingungen berücksichtigen und alle Einflussfaktoren möglichst optimal zusammen zu führen. Hier sind u. a. die Hygiene, der Brandschutz, Gefahrstoffe, aber auch der Energieverbrauch von Bedeutung.

Die wesentliche Schwierigkeit liegt dabei in der Tatsache begründet, dass der Energieverbrauch von Gebäuden im Allgemeinen und von Krankenhäusern im Speziellen nur dann mit hinlänglicher Genauigkeit bestimmt werden kann, wenn sehr viele detaillierte bauliche, betriebs- und prozesstechnische Parameter bekannt sind, die jedoch in der Konzeptions- und Vorentwurfsphase noch nicht definiert werden können.

Trotzdem werden die energetische Qualität und der sich einstellende Energieverbrauch eines Gebäudes entscheidend in diesem Planungsstadium festgelegt. Die betreffenden Parameter sind nach Umsetzung der Planung praktisch nicht mehr zu ändern und für die gesamte Lebensdauer des Gebäudes festgeschrieben.

Für den Architekten kommt es deshalb darauf an, in der Konzeptions- und Vorentwurfsphase die entwurfsbedingten relevanten Faktoren, die den Energieverbrauch maßgeblich bestimmen, erkennen und festlegen zu können und die energetische Qualität seines Entwurfes mit möglichst wenig Aufwand beurteilen zu können. Er hat dabei die Möglichkeit, beim Entwurf in einem sehr frühen Planungsstadium die energetische Qualität und damit den Energieverbrauch des Krankenhauses erheblich zu beeinflussen. Die Energie wird von den im Gebäude installierten Anlagen und Geräten verbraucht. Der Architekt muss durch seinen Entwurf sicherstellen, dass die technischen Anlagen nicht zusätzliche Lasten ausgleichen müssen, die bei einem energetisch optimierten Entwurf nicht entstehen würden.

Weiter ist es von großer Bedeutung, dass die gebäudetechnischen Anlagen energieoptimiert konzipiert und installiert werden können. Auch dies ist durch den Entwurf sicher zu stellen.

Es gibt Krankenhausbereiche, in denen aufgrund ihrer Aufgabe umfangreiche gebäudetechnische Anlagen notwendig sind, ohne die diese Bereiche nicht betrieben werden können (z.B. OP, Intensivstation). Daher ist es hier von wesentlicher Bedeutung, die gebäudetechnischen Anlagen möglichst energieeffizient planen und installieren zu können. Auch dies ist durch den Entwurf sicher zu stellen.

Die medizintechnischen Anlagen und Geräte (z.B. in der Röntgendiagnostik) sowie der Betrieb des Krankenhauses an sich verursachen einen Energieverbrauch, der sich auch durch den Entwurf nicht verändern lässt und der für die Erbringung der medizinischen Leistungen erforderlich ist. Darüber hinaus müssen aber die durch Anlagen und Geräte abgegebenen thermischen Lasten von den gebäudetechnischen Anlagen abgeführt werden. Für den Architekten kommt es deshalb darauf an, sehr früh zu erkennen, welche Lasten in den Räumen entstehen und wie mit dem Entwurf sicher gestellt werden kann, dass sie effizient abgeführt und wie zusätzliche entwurfsbedingte Lasten vermieden werden können.

In anderen Bereichen von Krankenhäusern (z.B. Pflegebereiche) sind keine besonderen gebäudetechnischen Anlagen notwendig und der Installationsgrad ist gering. Hier ist es von essentieller Bedeutung, durch den Entwurf zu vermeiden, dass energieintensive Anlagen notwendig werden, um die raumklimatischen Anforderungen einzuhalten.

Der Gesamt-Energieverbrauch besteht aus einem Sockelverbrauch, der auch bei einem energieoptimierten Entwurf nicht weiter reduziert werden kann. Er setzt sich aus elektrischer und thermischer Energie (Wärme und Kälte) zusammen. Um hier eine Reduzierung zu erreichen, ist die Optimierung bei der Energieerzeugung oder beim Bezug notwendig:

- Durch Eigenstromerzeugung in Verbindung mit Kraft-Wärmekopplung lassen sich die Gesamt-Wirkungsgrade der Strom- und Wärmeerzeugung nahezu verdoppeln.
- Thermische Energieverbundsysteme bieten die Möglichkeit, Abfallwärme, die nicht für Heizzwecke benötigt wird, zur Kälteerzeugung zu nutzen (z. B. mit Absorptionskältemaschinen oder –wärmepumpen).
- Geothermische Energie kann sowohl zur Kälte- als auch zur Wärmegewinnung genutzt werden.
- Geologische Aquifere können zur saisonalen Speicherung von Wärme und Kälte genutzt werden.
- Solarzellen und/oder Windgeneratoren können einen Beitrag zur regenerativen Stromerzeugung liefern. Dazu ist jedoch einschränkend anzumerken, dass auf den hierfür nutzbaren Flächen eines Krankenhauses nur ein kleiner Anteil des Gesamtenergieverbrauches des Gebäudes erzeugt werden kann. Insofern kann mit diesen Anlagen lediglich ein wirtschaftlicher Beitrag geleistet werden, da die Einspeisung des so erzeugten Stroms in das öffentliche Netz erheblich vorteilhafter ist als die Eigennutzung.

- Mit thermischer Solarenergienutzung kann ebenfalls ein Beitrag zur regenerativen Energieerzeugung geleistet werden, der allerdings auch hier relativ klein ist und auch nicht gefördert wird. Es ist jedoch möglich, einen Teil der Energie für die Warmwasserbereitung zu erbringen.

Grundsätzlich ist zunächst die möglichst weitgehende Reduzierung des Verbrauches durch die Optimierung des architektonischen und baukonstruktiven Entwurfes und der TGA-Anlagen anzustreben. Danach ist die elektrische und thermische Energieerzeugung zu optimieren. Alle Maßnahmen ergeben nur im Verbund und im Zusammenwirken eine Minimierung des Energieaufwandes und –verbrauches eines Krankenhauses.

Ein besonderer Schwerpunkt bei der Reduzierung des Verbrauches ist bei denjenigen Krankenhausbereichen zu sehen, in denen Raumluftechnische Anlagen notwendig sind, die ohnehin bereits einen sehr hohen Verbrauch an thermischer und elektrischer Energie haben. Dieser resultiert aus dem für die Erfüllung der hygienischen Anforderungen notwendigen hohen Außenluftanteil, sodass die Außenluft immer mit erheblichem Energieaufwand aufbereitet werden muss. Daneben entsteht für die Förderung der Luft ein sehr großer elektrischer Energieverbrauch, da große Volumenströme bei gleichzeitig hohen Differenzdrücken zu bewegen sind. Dies kann der Architekt mit dem Entwurf beeinflussen. Einerseits sind entwurfbedingte Lasten zu vermeiden, durch die eine Erhöhung der Luftmengen notwendig wird. Andererseits ist eine Erhöhung der Differenzdrücke durch günstige Installationsverhältnisse zu vermeiden.

Für das gesamte Krankenhaus setzt sich der Energieverbrauch aus der Summe der Verbräuche der einzelnen Geräte und Anlagen oder der verschiedenen Bereiche zusammen. Dabei gibt es Bereiche mit unterschiedlicher Nutzung, die jedoch hinsichtlich ihrer energetischen Struktur ähnlich sind. Diese unterschiedlichen Bereiche können beim Entwurf bezüglich ihres energetischen Verhaltens unter denselben Gesichtspunkten betrachtet werden. Es können energetische Raumcluster gebildet werden.

Der Architekt hat mit dem Entwurf die Möglichkeit, den Energieverbrauch der Häuser stark zu beeinflussen. Diese Beeinflussung erfolgt in der Regel indirekt, da die gebäudetechnischen Anlagen erst aufgrund des Entwurfes festgelegt werden. Trotzdem müssen bereits in einem sehr frühen Planungsstadium die Weichen für ein energieoptimiertes Gebäude und seiner Teile gestellt werden.

Die energetische Qualität eines Krankenhauses wird durch die Qualität seiner einzelnen Bereiche bestimmt. Dabei spielt die Größe der einzelnen Bereiche eine entscheidende Rolle. Es ist durchaus möglich, dass ein Haus insgesamt in dieser Hinsicht gut oder zufrieden stellend ist, obwohl einzelne Teile energetisch unzureichend oder mangelhaft sind, wenn die Raumanteile dieser Bereiche am gesamten Haus gering sind.

Umgekehrt wirkt es sich sehr stark aus, wenn große Bereiche, z. B. die Pflegebereiche, als energetisch schlecht einzustufen sind. Die energetische Bilanz des gesamten Hauses kann dann nicht mehr durch eine gute Konzeption in anderen Bereichen ausgeglichen werden.

Unter diesem Gesichtspunkt ist das Entwurfskonzept des gesamten Krankenhauses von entscheidender Bedeutung. Hochhausstrukturen, die eine mechanische Belüftung und Klimatisierung der Bettenhochhäuser notwendig machen, sind aufgrund großer Entfernungen zu den Zentralen und ungünstig konzipierter Installationsbereiche in der Regel als energetisch problematisch zu betrachten. Dies gilt umso mehr, da die üblicherweise in einem ausgedehnten Sockelbereich untergebrachten Untersuchungs- und Behandlungsbereiche dann große innen liegende Bereiche haben, die künstlich belüftet und/oder klimatisiert werden müssen.

Dagegen sind Strukturen, in denen die verschiedenen Bereiche räumlich und organisatorisch voneinander getrennt und die gebäudetechnischen Zentralen den angeschlossenen Versorgungsbereichen direkt zugeordnet sind, als energetisch vorteilhaft anzusehen. Die Gebäudehöhe muss so gering sein, dass eine Klimatisierung wegen der Höhe nicht erforderlich wird. Darüber hinaus gibt es dann hygienische und organisatorische Vorteile, da die Funktionen der einzelnen Bereiche besser voneinander getrennt werden können und es nur minimierte wechselseitige Beeinflussungen gibt.

Zur Beurteilung der energetischen Qualität des gesamten Krankenhauses oder einzelner Teile davon in einem sehr frühen Planungsstadium können dimensionslose Energieaufwandszahlen verwendet werden. Als Maßstab für deren Bestimmung gilt der energieoptimierte Entwurf, an dem der jeweils vorliegende Entwurf gemessen wird. Die energetische Qualität der Entwürfe wird dabei mit wenigen energierelevanten Kriterien bestimmt, sodass eine schnelle und sichere Beurteilung möglich ist.

Mit ihnen können Vergleiche von Entwürfen durchgeführt und die Auswirkungen auf den Energieverbrauch beurteilt werden. Dimensionslose Energieaufwandszahlen liefern die Möglichkeit, einen relativen Maßstab zu verwenden. Dies ist hilfreicher als die üblichen Berechnungsverfahren für den Energieverbrauch, die erst in sehr viel späteren Stadien der Planung sinnvoll verwendet werden können, da diese Verfahren einen Detaillierungsgrad der baulichen, prozess- und betriebstechnischen Planung voraussetzen, der in den hier betrachteten Phasen noch nicht zur Verfügung stehen kann.

Dimensionslose Energieaufwandszahlen können ebenso für die Beurteilung von Entwürfen im Rahmen von Architekturwettbewerben sowie für Vorgaben bei Ausschreibungen nach Leistungs- oder Raumprogramm oder zur Bewertung der Angebote verwendet werden. Sie dienen insofern als eine Art von Benchmarking, um Konzepte miteinander vergleichen und Zielgrößen bilden zu können.

Die Krankenhäuser reagieren auf die verschärfte Konkurrenzsituation mit der Optimierung ihrer Prozesse, der Verbesserung ihrer organisatorischen Strukturen und mit einer möglichst großen Reduzierung ihrer Kosten. Dazu gibt es verschiedene Wege. Zum einen wird eine Reduzierung der Patienten-Verweildauern angestrebt. Hier gibt es jedoch Grenzen durch die Art der Erkrankungen. In diesem Zusammenhang ist auch die Intensivierung der ambulanten Behandlung und insbesondere der ambulanten Operationsverfahren zu nennen. Sie gibt den Häusern die Möglichkeit, bei gleich bleibender Erlössituation die Kosten für die OP-Nachbehandlung entscheidend zu reduzieren.

Viele Häuser streben die Einrichtung von Gesundheitszentren, in denen niedergelassene Ärzte sowohl eigene als auch Patienten des Krankenhauses behandeln. Dadurch können die Krankenhäuser ohne Einschränkung ihres Leistungsangebotes die Kostenstruktur verbessern, da die Praxiseinrichtungen nicht vorgehalten werden müssen und das Auslastungsrisiko nicht beim Krankenhaus liegt.

Die Prozessstrukturen insbesondere des Operationstraktes stehen auf dem Prüfstand. Bei anstehenden Sanierungen oder Neubauten von OP-Abteilungen werden die bisherigen Strukturen überprüft, um die Auslastung zu erhöhen. Mehrere OP-Säle werden zu einem OP-Cluster zusammen gefasst und alle darin liegenden OP-Säle können von mehreren medizinischen Fachrichtungen genutzt werden. Spezialisierte OP-Säle, die ausschließlich einer Fachrichtung vorbehalten und schlecht ausgelastet sind, werden damit vermieden. Für die Einleitung wird in neuen Konzepten ein Raum oder Raumbereich vorgesehen, in dem mehrere Patienten gleichzeitig behandelt werden. Ausleitungsräume werden praktisch gar nicht mehr vorgesehen, da die Narkose der Patienten noch im OP-Saal herunter gefahren wird. Damit wird eine erhebliche Flexibilisierung der OP-Nutzung und eine stark verbesserte Ausnutzung der Flächen erreicht, wodurch bei gleicher OP-Kapazität der Flächenbedarf und damit die Investitions-, Betriebs-, Instandhaltungs- und Energiekosten dieses Bereiches reduziert und optimiert werden können.

Die Hygienekonzepte stehen ebenfalls zur Diskussion. Es wird eine individuellere Betrachtung der notwendigen Hygienemaßnahmen durchgeführt. Der Trend geht allgemein weg von der stark konstruktiv und technisch geprägten Hygiene (Auswahl von Baustoffen und -materialien, RLT-Anlagen) hin zu einer stärkeren Gewichtung der betrieblichen Hygienemaßnahmen (Schutzkleidung, Händedesinfektion). So befindet sich z. B. die DIN 1946, Teil 4 derzeit in Überarbeitung. Voraussichtlich wird dabei die endständige Filterung der Zuluft für die OP-Nebenträume entfallen und die erforderlichen spezifischen Außenluftmengen reduziert werden.

Die gravierenden Änderungen der wirtschaftlichen Situation und Ausrichtung, sowie der medizinischen Prozesse und die zunehmende Konkurrenzsituation bedeuten z. T. tiefgreifende Veränderungen der Strukturen. Die Krankenhäuser müssen auf die sich ändernden Randbedingungen schneller und flexibler reagieren

und ihre Strukturen neuen Anforderungen anpassen können. Die energetischen Strukturen und die Energiekonzepte sind dabei von erheblicher Bedeutung, da die gesicherte Energieversorgung eine Grundvoraussetzung für den Krankenhausbetrieb ist. Häuser mit einer optimierten Energiestruktur haben dabei Vorteile im Wettbewerb bei der Anpassung ihrer Strukturen. Krankenhausbereiche mit einer günstigen Laststruktur und einem geringen Technisierungsgrad und damit auch einem geringen Energieverbrauch lassen sich flexibel nutzen und umnutzen, so dass sie sich leichter geänderten Bedingungen anpassen lassen.

Darüber hinaus haben Krankenhäuser mit optimierten energetischen Strukturen nicht nur betriebliche, sondern auch Nutzungsvorteile, die sich nicht nur in einer optimierten Energiekostensituation darstellen, sondern einen Beitrag zu Sicherung der langfristigen Entwicklung leisten.

Der Architekt hat in diesem Zusammenhang eine wichtige Position. Er muss die Aufgabenstellung und alle Einflüsse darauf erkennen, richtig auswerten, den Bauherrn und Betreiber für die energetischen Fragestellungen und deren Auswirkungen sensibilisieren und darauf aufbauend einen optimierten Entwurf erstellen. Er hat eine stark koordinierende Aufgabe, da er in Krankenhäusern immer interdisziplinäre Problemstellungen zu lösen hat. Die Wechselwirkungen sind vielfältig und nur im Zusammenspiel aller Faktoren wird ein Gebäude entstehen, in dem die Aufgaben und Funktionen bei Behandlung und Pflege erfüllt werden können, Patienten, Mitarbeiter und Besucher einen angenehmen Aufenthalt haben und ein energetisch und ökologisch optimierter Betrieb möglich ist. Die These von Häuptling See-at-la hat somit auch heute nichts von ihrer Gültigkeit verloren:

**„Alles ist miteinander verbunden,
wie das Blut, das eine Familie vereint.
Alles ist verbunden¹⁰¹.“**

¹⁰¹ Häuptling See-at-la (Seattle), Häuptling der Hopi-Indianer, in seiner Rede vor dem Präsidenten der Vereinigten Staaten von Amerika im Jahre 1855

Quellenverzeichnis

Nachfolgend sind die in der vorliegenden Arbeit verwendeten Quellen aufgeführt. Sofern bei Bildern und Zeichnungen keine Quelle angegeben ist, handelt es sich um Darstellungen, die vom Autor angefertigt wurden.

- 1 Häuptling See-at-la (Seattle), Häuptling der Hopi-Indianer, in seiner Rede vor dem Präsidenten der Vereinigten Staaten von Amerika im Jahre 1855
- 2 <http://www.umweltbundesamt.de/dux/kl-inf.htm>
- 3 [www.Viessmann.de/.../de-publish.nsf/AttachmentByTitle/ppr-vitodens-343.pdf/\\$FILE/ppr-vitodens-343.pdf](http://www.Viessmann.de/.../de-publish.nsf/AttachmentByTitle/ppr-vitodens-343.pdf/$FILE/ppr-vitodens-343.pdf)
- 4 www.stadtwerke-karlsruhe.de/download/pdf/brennwert-heizkessel.pdf
- 5 <http://www.stmwivt.bayern.de/energie/bescheidwissen/verwendung/html>
- 6 <http://upi-institut.de/energieverbrauch.htm>
- 7 <http://www.destatis.de/indicator/d/vgr111dd.htm>
- 8 <http://www.destatis.de/presse/deutsch/pm2000/p0130121htm>
- 9 <http://bundesregierung.de/Politikthemen/Umwelt-,12011/Kyoto-Protokoll-allgemein.htm>
- 10 Deutsche Krankenhausgesellschaft: Zahlen, Daten, Fakten 2003, S. 19, 21, 26, 27
deutsche Krankenhaus Verlagsgesellschaft mbH
- 11 <http://www.zwl.de>
- 12 Vom Armenhospital zum Großklinikum, Axel Hinrich Murken, Ausgabe 1988, S. 13-18, 16, 23
- 13 Broschüre „Zentralgebäude der medizinischen Einrichtungen der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster“, 1986, Seite 14, 16, 20,
- 14 BLB NRW Münster, Planarchiv
- 15 „The tall office building artistically considered“, Louis Sullivan, 1896
- 16 Verordnung über den Bau und den Betrieb von Krankenhäusern – Krankenhausbauverordnung (KhBauVO) vom 21.2.1978, §10(1), §22(1)
- 17 VDI 2067, Blatt 1, Ausgabe 09/2000
- 18 DIN 13080:2003-07, Nr. 3.5.2,
- 19 DIN 1946/4 (03/1999)
- 21 DIN 12464/1: 2003-03, Tab. 5.7
- 22 DIN 5035 /3 (09/1988), Nr.3.3, 3.4.1
- 23 DIN 4710, Ausgabe 11/1982

- 24 DIN 24190 Ausgabe 11/1985, Tab. 2
- 25 Verordnung über Arbeitsstätten vom 12.08.2004, Anhang, Nr. 3.4
- 26 VDI 2078 (07/1996), Tabellen A11, B2, B3
- 27 BKI Baukosten 2002, Teil 1, Kostenkennwerte für Gebäude,
Baukosteninformationszentrum Deutscher Architektenkammern, Seite 60
- 28 [http://www.thg-uni-muenster.de/THG-
Chirurgie/home/Schwerpunkte/Intensivstation.htm](http://www.thg-uni-muenster.de/THG-Chirurgie/home/Schwerpunkte/Intensivstation.htm)
- 29 [http://www.marienhospital-steinfurt.de/fachabteilungen/anaesthesiologie/
intensivmedizin.phg](http://www.marienhospital-steinfurt.de/fachabteilungen/anaesthesiologie/intensivmedizin.phg)
- 30 Richtlinie für Krankenhaushygiene und Infektionsprävention, Abschnitt
4.3.1, Nr. 7, Abschnitt 4.3.4, Nr. 3, 4, 5.1, 8, Abschnitt 4.3.6, Nr. 4
- 31 www.klinikum-krefeld.de
- 32 Pschyrembel, Klinisches Wörterbuch, 258. Auflage, 1998
- 33 <http://www.klinkum-ibbenbueren.de>
- 34 <http://www.ek-leipzig.de/medeinr/radiologie-ek-leipzig.html>
- 35 <http://www.greven.net/sozialgesund/gesundheit/mjh.html>
- 36 www.med.uni-heidelberg.de/zentr/strlsch/Bilder/Roentgengeracet.jpg
- 37 www.rnk-berlin.de/.../bilder/1ct.jpg
- 38 www.techfak.uni-bielefeld.de/.../MRT_picture.jpg
- 39 Dirichlet/Labryga/Poelzig/Schlenzig, Krankenhausbau, Maßkoordination-
Entwurfsstrategie-Anwendungsbeispiele, 1979, S. 8, 56, 97, 226, 227, 233,
235, Bild 92, 93
- 40 http://de.wikibooks.org/wiki/Pflege:_Pflegetdefinition
- 41 <http://www.dbfk.de/verband/pflege-definition-icn.html>
- 42 www.ulrici-kliniken.de/typo3temp/d487da086d.jpg
- 43 www.klinik-schwarzach.de/.../images/pat2.JPG
- 44 www.burggraf.at/images/altenhkrankenhabtenau02.jpg
- 45 Krankenhausdatenbank des Landes NRW,
<http://www.mags.nrw.de/krankenhausdb/index.php3>
- 46 Neufert, Bauentwurfslehre, 35. Auflage, 1998, S. 530, 543
- 47 <http://www.akhwien.at/default.aspx?pid=790>
- 48 [http://www.krankenhaus-
frankfurt.de/nwk/pflege_organisationsstruktur.htm](http://www.krankenhaus-frankfurt.de/nwk/pflege_organisationsstruktur.htm)
- 49 <http://www.hbk-zwickau.de/klinikum/hbk.html>

- 50 DIN 4701/1, Ausgabe 03/1983, Nr. 5.4.1.8, Gl. (29)
- 51 DIN 13080:2003-07, Tabelle 1
- 52 Lohfert & Lohfert AS, Methodik der Krankenhausplanung, 2005, S. 25
- 53 http://www.ewb.ch/ww/de/pub/produkte/erdgas/h_ufige-fragen.cfm
- 54 Dokumentation „Historische Ausstellung 150 Jahre St.-Johannes-Hospital 1851-2001“. www.joho-dortmund.de/info/ausstellung/index.html
- 55 Johannes-Hospital, Dortmund, Planarchiv
- 56 http://de.wikipedia.org/wiki/St._Franziskus-Hospital_M%C3%BCnster
- 57 St.-Franziskus-Hospital, Münster i. W., Planarchiv

Abbildungsverzeichnis

- Hinweis: Alle Abbildungen, die nicht mit einer Quellenangabe versehen sind, wurden vom Verfasser angefertigt.
- Abbildung 3.1/1: Blick in einen Krankensaal um 1560 mit verschiedenen chirurgischen Eingriffen. Holzschnitt von Jost Amann, um 1566. Herzog August Bibliothek, Wolfenbüttel
- Abbildung 3.1/2: Die Charite in Berlin. a) Grundriss vom zweiten und b) vom dritten Geschoss
- Abbildung 3.1/3: Universitätsklinik Münster, Zentralklinikum, Bettenturm, Regelgrundriss
- Abbildung 3.1/4: Universitätsklinik Münster, Zentralklinikum, Flachbereich Ebene 03
- Abbildung 3.1/5: Grundriss MRT-Bereich Universitätsklinikum Münster, Zentralklinikum, Ebene 03
- Abbildung 3.2.1/1: OP-Saal mit Einrichtung und Ausrüstung
- Abbildung 3.2.1/2: Blick in einen OP-Saal
- Abbildung 3.2.1/3: Installationsgeschoss über einer OP-Abteilung – Deckendurchführungen (Universitätsklinik Münster, Zentralklinikum, Ebene 04)
- Abbildung 3.2.1/4: Installationsgeschoss über einer OP-Abteilung – Wartungsgang (Universitätsklinik Münster, Zentralklinikum, Ebene 04)
- Abbildung 3.2.1/5: Einleitungsraum
- Abbildung 3.2.1/6: Waschraum
- Abbildung 3.2.1/7: Personalschleuse
- Abbildung 3.2.1/8: OP-Zuluftschirm mit OP-Tisch
- Abbildung 3.2.1/9: Schema einer RLT-Anlage einer OP-Abteilung
- Abbildung 3.2.1.1/1: Energieflussbilder der thermischen und hygrischen Lasten in der OP-Abteilung
- Abbildung 3.2.2.1/1: Energieverbrauch von Ventilatorantrieben in Abhängigkeit von den Strömungsgeschwindigkeiten im Luftkanal
- Abbildung 3.2.2.1/2: abgehängte Decke im OP-Raum, Revision von unten
- Abbildung 3.2.2.1/3: OP-Raum mit begehbare abgehängter Decke

- Abbildung 3.2.2.1/4: OP-Raum mit Stahlbeton-Zwischendecke
- Abbildung 3.2.2.1/5: OP-Feldleuchte im Einbauzustand
- Abbildung 3.2.2.1/6: Säulendiagramm Energieverbrauch, Primärenergieverbrauch und Energiekosten OP-Saal
- Abbildung 3.2.2.2/1: Säulendiagramm Relativer Energieverbrauch, Primärenergieverbrauch und Energiekosten eines OP-Saales bei ungünstigen Installationsverhältnissen
- Abbildung 3.2.2.3/1: Schnitt - Technikzentralen über der OP-Abteilung, Verteilung in der abgehängten Decke: günstige Lösung
- Abbildung 3.2.2.3/2: Grundriss - Technikzentrale neben der OP-Abteilung, Verteilung in der abgehängten Decke: günstige Lösung
- Abbildung 3.2.2.3/3: Schnitt - Technikzentrale über der OP-Abteilung, Verteilung in der Technikzentrale: günstige Lösung
- Abbildung 3.2.2.3/4: OP-Technikzentrale auf dem Dach, Verteilung in der abgehängten Decke, Verbindung zum Versorgungsbe- reich über Schächte: ungünstige Lösung
- Abbildung 3.2.3.2/1: Referenz-OP-Abteilung ohne Einfluß der solaren Lasten auf die thermisch sensiblen Räume
- Abbildung 3.2.3.3/1: Säulendiagramm Energieverbrauch, Primärenergie- verbrauch, Energiekosten der OP-Nebenräume
- Abbildung 3.2.3.4/1: Säulendiagramm Energieverbrauch, Primärenergi- verbrauch, Energiekosten der OP-Nebenräume bei un- günstigen Installationsverhältnissen
- Abbildung 3.2.3.5/1: Referenz-OP-Abteilung mit solaren Einträgen
- Abbildung 3.2.3.6/1: Säulendiagramm Energieverbrauch, Primärenergieverbrauch, Energiekosten der OP-Nebenräume mit solaren Lasten
- Abbildung 3.3.1/1: Ein-Bettzimmer mit Vorraum und Toilettenraum
- Abbildung 3.3.1/2: Zweibettzimmer mit Vorraum und Toilettenraum
- Abbildung 3.3.1/3: Zweibettzimmer ohne Vorraum mit Toilettenraum
- Abbildung 3.3.1/4: Patientenzimmer in einer Intensivstation
- Abbildung 3.3.3/1: Referenz-Intensivstation
- Abbildung 3.3.4/1: Säulendiagramm Energieverbrauch, Primärenergie- verbrauch, Energiekosten der Intensivstation
- Abbildung 3.3.5/1: Säulendiagramm Energieverbrauch, Primärenergie- verbrauch, Energiekosten der Intensivstation bei ungünstigen Installationsverhältnissen

- Abbildung 3.3.6/1: Säulendiagramm Energieverbrauch, Primärenergieverbrauch, Energiekosten der Intensivstation bei Nord-Süd-Orientierung
- Abbildung 3.4.1/1: konventionelles Röntgengerät
- Abbildung 3.4.1/2: Computertomograph
- Abbildung 3.4.1/3: Magnetresonanztomograph
- Abbildung 3.4.3/1: Referenz-Röntgenabteilung
- Abbildung 3.4.4/1: Säulendiagramm Energieverbrauch, Primärenergieverbrauch, Energiekosten der Röntgendiagnostik
- Abbildung 3.4.5/1: Säulendiagramm Energieverbrauch, Primärenergieverbrauch, Energiekosten der Röntgendiagnostik bei nutzraumintegrierten Technikbereichen
- Abbildung 3.5.1/1: Krankenzimmer als Einbettzimmer
- Abbildung 3.5.1/2: Krankenzimmer als Zweibettzimmer
- Abbildung 3.5.1/3: Patientenbad/Stationsbad
- Abbildung 3.5.1/4: Pflegestation Universitätsklinik Münster, Bettenturm Ost, Ebene 15,
- Abbildung 3.5.3/1: Referenz-Pflegestation
- Abbildung 3.5.4/1: Säulendiagramm Energieverbrauch, Primärenergieverbrauch, Energiekosten der Pflegestation
- Abbildung 3.5.5/1: Säulendiagramm Energieverbrauch, Primärenergieverbrauch, Energiekosten der Pflegestation mit RLT-Anlage und solaren Einträgen
- Abbildung 3.5.6/1: Säulendiagramm Energieverbrauch, Primärenergieverbrauch, Energiekosten der Pflegestation mit RLT-Anlage bei ungünstigen Installationsverhältnissen
- Abbildung 3.6/1: Liniendiagramm: Relative Bewertung der maßgeblichen Einflusskriterien auf den Energieverbrauch der untersuchten Krankenhausbereiche
- Abbildung 3.6/2: Liniendiagramm relative Bewertung der maßgeblichen Einflusskriterien auf den Energieverbrauch von Funktionsstellen nach DIN 13080:2003-07, Tab. 1
- Abbildung 3.7/1: Energieverbrauch, Energieaufwandszahl und Energiekosten als relative flächenbezogene Größen

Abbildung 4.1/2:	Prinzipschema Versorgungsanschlüsse eines Krankenhauses
Abbildung 4.1/3:	Prinzipdarstellung Krankenhäuser mit offener Magistrale
Abbildung 4.1/4:	Prinzipdarstellung Krankenhäuser mit geschlossener Magistrale
Abbildung 4.2/1:	Fachabteilungen in Krankenhäusern nach aufgestellten Betten 2001
Abbildung 4.2/2:	Fachabteilungen in Krankenhäusern nach Anzahl der Patienten 2001
Abbildung 4.3.1/1:	Struktur Mehrfach-H-Typ flach
Abbildung 4.3.1/2:	Liniendiagramm relative Bewertung der maßgeblichen Einflusskriterien auf den Energieverbrauch der Betriebsstelle Untersuchung und Behandlung
Abbildung 4.3.2/2:	Universitätsklinik Münster, Zentralgebäude
Abbildung 4.3.2/3:	Struktur Breitfußtyp
Abbildung 4.4/1:	energetische Auswertung Mehrfach-H-Typ und Breitfußtyp
Abbildung 5.1.1/1:	Johannes-Hospital, Dortmund, Lageplan
Abbildung 5.1.1/2:	Johannes-Hospital, Dortmund, Kellergeschoss-Zentral-OP
Abbildung 5.1.1/3:	Johannes-Hospital, Dortmund, Kellergeschoss
Abbildung 5.1.1/4:	Johannes-Hospital, Dortmund, Erdgeschoss mit Zwischenebene OP-Trakt
Abbildung 5.1.1/5:	Johannes-Hospital, Dortmund, 1. Obergeschoss
Abbildung 5.1.1/6:	Johannes-Hospital, Dortmund, 2. Obergeschoss
Abbildung 5.1.1/7:	Johannes-Hospital, Dortmund, Zwischengeschoss OP-Trakt
Abbildung 5.1.1/8:	Johannes-Hospital, Dortmund, 3. Obergeschoss
Abbildung 5.1.1/9:	Johannes-Hospital, Dortmund, 4. Obergeschoss
Abbildung 5.1.1/10:	Johannes-Hospital, Dortmund, 5. Obergeschoss
Abbildung 5.1.1/11:	Johannes-Hospital, Dortmund, 6. Obergeschoss
Abbildung 5.2.1/1:	St.-Franziskus-Hospital, Münster, Lageplan
Abbildung 5.2.1/2:	St.-Franziskus-Hospital, Münster, Kellergeschoss
Abbildung 5.2.1/3:	St.-Franziskus-Hospital, Münster, Erdgeschoss
Abbildung 5.2.1/4:	St.-Franziskus-Hospital, Münster, 1. Obergeschoss

- Abbildung 5.2.1/5: St.-Franziskus-Hospital, Münster, 2. Obergeschoss
- Abbildung 5.2.1/6: St.-Franziskus-Hospital, Münster, 3. Obergeschoss
- Abbildung 5.2.1/7: St.-Franziskus-Hospital, Münster, 4. Obergeschoss
- Abbildung 5.2.1/8: St.-Franziskus-Hospital, Münster, 5. Obergeschoss
- Abbildung 5.2.1/9: St.-Franziskus-Hospital, Münster, 6. Obergeschoss
- Abbildung 5.2.1/10: St.-Franziskus-Hospital, Münster, 7. Obergeschoss
- Abbildung 5.2.1/11: St.-Franziskus-Hospital, Münster, 8. Obergeschoss
- Abbildung 5.2.1/12: St.-Franziskus-Hospital, Münster, 9. Obergeschoss
- Abbildung 6./1: Wechselwirkungen zwischen Funktion, Entwurf, technischer Gebäudeausrüstung und Energieverbrauch
- Abbildung 6./2: Ablaufschema Planung unter Gesichtspunkten der Energieoptimierung

Abkürzungsverzeichnis

A_F	m ²	Fensterfläche
A_G	m ²	Grundfläche
A_R	m ²	Raumfläche
a	m	Kantenlänge Luftkanal
B_{VH}	h/a	Vollbetriebsstunden
b_{IT}	m	Breite Innentür
b_R	m	Raubbreite
b_{Sch}	m	Breite des Zuluftschirmes
C_O	€	Kapitalwert
c_W	kJ/(kg · K)	Spezifische Wärmekapazität von Wasser
E	lx	Mittlere Nennbeleuchtungsstärke
E_A	kWh/(m ² · a)	Flächenbezogene Energieaufwandszahl
E_n	lx	Nennbeleuchtungsstärke
E_Z	-	Dimensionslose Energieaufwandszahl
e	m	Höhe der Bewertungsebene
f	-	Minderungsfaktor
f_R	-	Reduktionsfaktor
h_{AUN}	kJ/kg	Spezifische Enthalpie der Außenluft im Nachtbetrieb
h_{AUT}	kJ/kg	Spezifische Enthalpie der Außenluft im Tagbetrieb
h_{IT}	m	Höhe der Innentür
h_R	kJ/kg	Spezifische Enthalpie der Raumluft
h_R	m	Raumhöhe
h_{ZU}	kJ/kg	Spezifische Enthalpie der Zuluft
h_{ZUN}	kJ/kg	Spezifische Enthalpie der Zuluft im Nachtbetrieb
h_{ZUT}	kJ/kg	Spezifische Enthalpie der Zuluft im Tagbetrieb
i	-	Kapitalzinsfuß
K_K	€	Gesamtkosten Luftkanal
k	€/m ²	Spezifische Luftkanalkosten
LW	-	Luftwechselzahl
l_R	m	Raumlänge
l_{Sch}	m	Länge des Zuluftschirmes
M	-	Multiplikator
\dot{m}_{ZU}	kg/s	Zuluft-Massenstrom
\dot{m}_{ZUT}	kg/s	Zuluft-Massenstrom im Tagbetrieb
\dot{m}_{ZUN}	kg/s	Zuluft-Massenstrom im Nachtbetrieb
m_W	kg/OP	Wasserverbrauch pro Reinigung
n	-	Anzahl
n_O	-	Anzahl der Operationen je Arbeitstag
n_{Arb}	-	Anzahl der jährlichen Arbeitstage
n_{OP}	-	Anzahl der Operateure je Operation
n_{Du}	1/d	Anzahl der Duschkvorgänge pro Tag und Patient
n_{Pat}	-	Durchschnittliche Anzahl der Patienten
n_{da}	d/a	Anzahl der Tage pro Jahr

P_{elL}	W	Elektrische Leistung je Lampe
P_{elA}	W	Elektrische Anschlussleistung der Allgemeinbeleuchtung
P_{elOP}	W	Elektrische Anschlussleistung der OP-Feldbeleuchtung
P_{elM}	W	Elektrische Anschlussleistung der Geräte
P	%	Zinssatz
\dot{Q}_T	W	Heizlast durch Transmission
\dot{Q}_{IW}	W	Heizlast über die Innenwände
\dot{Q}_{IT}	W	Heizlast über die Innentüren
\dot{Q}_{DE}	W	Heizlast über die Decken
\dot{Q}_{FB}	W	Heizlast über die Fußböden
\dot{Q}_{iP}	W	Wärmeabgabe der Personen
\dot{Q}_{TI2}	W	Heizlast bei Norm-Außentemperatur
\dot{Q}_{T9AUT}	W	Heizlast bei beliebiger Außentemperatur im Tagbetrieb
\dot{Q}_{T9AUN}	W	Heizlast bei beliebiger Außentemperatur im Nachtbetrieb
\dot{Q}_{KiT}	°C	Innere Kühllasten Tagbetrieb
\dot{Q}_{KiN}	°C	Innere Kühllasten Nachtbetrieb
q_T	W/m ²	Spezifische Kühllast Tagbetrieb
q_N	W/m ²	Spezifische Kühllast Nachtbetrieb
\dot{Q}_{KT}	W	Thermische Last im Tagbetrieb
\dot{Q}_{KN}	W	Thermische Last im Nachtbetrieb
\dot{Q}_K	W	Thermische Last
\dot{Q}_{HZUT}	W	Heizleistung zur Erwärmung des Zuluftvolumenstromes im Tagbetrieb
\dot{Q}_{HZUN}	W	Heizleistung zur Erwärmung des Zuluftvolumenstromes im Nachtbetrieb
Q_R	kWh/a	Thermischer Energieverbrauch für Warmwasser für Reinigungszwecke
q_{Sp}	W7m ²	spezifische Kühllast je m ² Raumfläche
$\dot{Q}_{K,max}$	W	Maximal abführbare Kühllast
\dot{Q}_{Ki}	W	Innere Kühllast
Q_U	kWh/a	Jährlicher Energieverbrauch für die thermische Aufbereitung der Zuluft
Q_B	kWh/a	Jährlicher Energieverbrauch für die Beleuchtung
Q_M	kWh/a	Jährlicher Energieverbrauch für Geräte
Q_{Arm}	kg/Min	Durchfluss der Wasserentnahmemarmatur
q_R	kg/(m ² · d)	Spezifischer Warmwasserverbrauch
Q_W	kWh/a	Thermischer Energieverbrauch für Warmwasser für Waschwzwecke
Q_{WW}	kWh/a	Thermischer Energieverbrauch für Warmwasser
\dot{Q}_{KT}	W	Kühllast durch Transmission

\dot{Q}_S	W	Solare Kühllast
q_K	W/m ²	Spezifische Kühllast allgemein
\dot{Q}_{Ka}	W	Äußere solare Kühllast
\dot{Q}_K	W	Kühllast
Q_V	kWh/a	Energieverbrauch für die Luftförderung
Q_{el}	kWh/a	Elektrischer Energieverbrauch
$Q_{MsonstR}$	kWh/a	Energieverbrauch für Geräte der sonstigen Räume
Q_{MTechn}	kWh/a	Energieverbrauch für Geräte der Technikräume
$\dot{Q}_{KiTechnT}$	kW	Innere Kühllast der Technikräume im Tagbetrieb
$\dot{Q}_{KiTechnN}$	kW	Innere Kühllast der Technikräume im Nachtbetrieb
t_d	h/d	Stunden pro Tag
t_T	h/a	Nutzungs- oder Betriebszeit im Tagbetrieb
t_N	h/a	Nutzungs- oder Betriebszeit im Nachtbetrieb
t_{dT}	h/d	Tägliche Nutzungs- oder Betriebszeit im Tagbetrieb
t_{Wasch}	Min	Dauer des einzelnen Waschvorganges
T	-	Index letzte zu berücksichtigende Periode
t	-	Periodenindex
t_B	h/a	Nutzungs- oder Betriebszeit allgemein
$t_{16^\circ C}$	°C	Jahresstunden über +16 °C Außenlufttemperatur
t_a	h/a	Gesamt-Jahresstunden
U_{IW}	W/(m ² K)	Wärmedurchgangszahl Innenwand
U_{FB}	W/(m ² K)	Wärmedurchgangszahl Fußboden
U_{DE}	W/(m ² K)	Wärmedurchgangszahl Decke
U_{IT}	W/(m ² K)	Wärmedurchgangszahl Innentüren
U_{AW}	W/(m ² K)	Wärmedurchgangszahl Außenwand
v_m		Verminderungsfaktor
v	m/s	Luftgeschwindigkeit
\dot{V}	m ³ /h bzw. m ³ /s	Luftvolumenstrom
\dot{V}_{ZU}	m ³ /h bzw. m ³ /s	Zuluftvolumenstrom
\dot{V}_{ZU}	m ³ /h bzw. m ³ /s	Zuluftvolumenstrom
\dot{V}_{ZUT}	m ³ /h bzw. m ³ /s	Zuluftvolumenstrom im Tagbetrieb
\dot{V}_{ZUN}	m ³ /h bzw. m ³ /s	Zuluftvolumenstrom im Nachtbetrieb
v_{ZU}	m ³ /(h · m ²)	Spezifischer Zuluftvolumenstrom
\dot{V}_L	m ³ /h	Luftvolumenstrom
V_{Rnass}	m ³	Raumvolumen der Nassräume
V_{WWDu}	l	Wasserverbrauch pro Duschvorgang
X_R	g/kg tr. Luft	Absolute Feuchtigkeit der Raumluft
Z	-	Anzahl der Lampen je Leuchte
ϑ_R	°C	Raumtemperatur

ϑ_{RU}	°C	Raumtemperatur der Umgebungsräume
ϑ_{RN}	°C	Raumtemperatur im Nachtbetrieb
ϑ_{AUN}	°C	Außentemperatur im Nachtbetrieb
ϑ_{RN}	°C	Raumtemperatur im Nachtbetrieb
ϑ_{AUN}	°C	Außentemperatur im Nachtbetrieb
ϑ_{WW}	°C	Warmwassertemperatur
ϑ_{KW}	°C	Kaltwassertemperatur
ϑ_{Zumin}	°C	Zuluftminimaltemperatur
φ_R	%	Relative Feuchtigkeit der Raumluft
Φ	lm	Lichtstrom je Lampe
η_B	-	Reflexionsgrad der Leuchte
η_V	-	Verteilungsverluste
η_B	-	Belastungsgrad
ρ	kg/m ³	Dichte
ρ_{ZUT}	kg/m ³	Dichte der Zuluft Tagbetrieb
ρ_{ZUN}	kg/m ³	Dichte der Zuluft Nachtbetrieb
ρ_{ZU}	kg/m ³	Dichte der Zuluft
ρ_L	kg/m ³	Dichte der Luft
ρ_W	kg/l	Dichte von Wasser
Δh_T	kJ/kg	Spezifische Enthalpiedifferenz im Tagbetrieb
Δh_N	kJ/kg	Spezifische Enthalpiedifferenz im Nachtbetrieb
ΔQ	kWh/a	Jährliche Energieverbrauchsdifferenz
ΔQ_P	kWh/a	Jährliche Primärenergieverbrauchsdifferenz
ΔK	€/a	Jährliche Energiekostendifferenz
ΔK_K	€	Kostendifferenz Luftkanäle
$\Delta \vartheta_{max}$	°C	Maximale Temperaturdifferenz
Δh	kJ/kg	Spezifische Enthalpiedifferenz allgemein
ψ		Rückwärmefaktor

Anhang

Wortlaut der Rede des Häuptlings See-at-la (Seattle) vor dem Präsidenten der Vereinigten Staaten von Amerika im Jahre 1855

WIR SIND EIN TEIL DER ERDE

Der große Häuptling in Washington sendet Nachricht, dass er unser Land zu kaufen wünscht. Der große Häuptling sendet uns auch Worte der Freundschaft und des guten Willens. Das ist freundlich von ihm, denn wir wissen, er bedarf unserer Freundschaft nicht. Aber wir werden sein Angebot bedenken, denn wir wissen, wenn wir nicht verkaufen, kommt vielleicht der weiße Mann mit Gewehren und nimmt sich unser Land. Wie kann man den Himmel kaufen oder verkaufen oder die Wärme der Erde? Diese Vorstellung ist uns fremd. Wenn wir die Frische der Luft und das Glitzern des Wassers nicht besitzen - wie könnt Ihr sie von uns kaufen? Wir werden unsere Entscheidung treffen.

Was Häuptling Seattle sagt, darauf kann sich der große Häuptling in Washington verlassen, so sicher, wie sich unser weißer Bruder auf die Wiederkehr der Jahreszeiten verlassen kann. Meine Worte sind wie die Sterne, sie gehen nicht unter.

Jeder Teil dieser Erde ist meinem Volk heilig, jede glitzernde Tannennadel, jeder sandige Strand, jeder Nebel in den dunklen Wäldern, jede Lichtung, jedes summende Insekt ist heilig, in den Gedanken und Erfahrungen meines Volkes. Der Saft, der in den Bäumen steigt, trägt die Erinnerung des roten Mannes.

Die Toten der Weißen vergessen das Land ihrer Geburt, wenn sie fortgehen, um unter den Sternen zu wandeln. Unsere Toten vergessen diese wunderbare Erde nie, denn sie ist des roten Mannes Mutter. Wir sind ein Teil der Erde, und sie ist ein Teil von uns.

Die duftenden Blumen sind unsere Schwestern, die Rehe, das Pferd, der große Adler sind unsere Brüder. Die felsigen Höhen, die saftigen Wiesen, die Körperwärme des Ponys und die Menschen, sie alle gehören zur gleichen Familie.

Wenn also der große Häuptling in Washington uns Nachricht sendet, dass er unser Land zu kaufen gedenkt, so verlangt er viel von uns. Der große Häuptling teilt uns mit, dass er uns einen Platz gibt, wo wir angenehm und für uns leben können. Er wird unser Vater und wir werden seine Kinder sein. Aber kann das jemals sein? Gott liebt Euer Volk und hat seine roten Kinder verlassen. Er schickt Maschinen, um dem weißen Mann bei seiner Arbeit zu helfen, und baut große Dörfer für ihn. Er macht Euer Volk stärker, Tag für Tag. Bald werdet Ihr das Land überfluten wie Flüsse, die die Schluchten hinabstürzen nach einem unerwarteten Regen.

Mein Volk ist wie eine ablaufende Flut - aber ohne Wiederkehr. Nein, wir sind verschiedene Rassen. Unsere Kinder spielen nicht zusammen, und unsere Alten erzählen nicht die gleichen Geschichten. Gott ist Euch gut gesinnt, und wir

sind Waisen. Wir werden Euer Angebot, unser Land zu kaufen, bedenken. Das wird nicht leicht sein, denn dieses Land ist uns heilig. Wir erfreuen uns an diesen Wäldern. Ich weiß nicht - unsere Art ist anders als die Eure.

Glänzendes Wasser, das sich in Bächen und Flüssen bewegt, ist nicht nur Wasser, sondern das Blut unserer Vorfahren. Wenn wir Euch das Land verkaufen, müsst Ihr wissen, dass es heilig ist, und Eure Kinder lehren, dass es heilig ist und dass jede flüchtige Spiegelung im klaren Wasser der Seen von Ereignissen und Überlieferungen aus dem Leben meines Volkes erzählt. Das Murmeln des Wassers ist die Stimme meiner Vorfäter. Die Flüsse sind unsere Brüder - sie stillen unseren Durst. Die Flüsse tragen unsere Kanus und nähren unsere Kinder. Wenn wir unser Land verkaufen, so müsst Ihr Euch daran erinnern und Eure Kinder lehren: die Flüsse sind unsere Brüder - und Eure -, und Ihr müsst von nun an den Flüssen Eure Güte geben, so wie jedem anderen Bruder auch. Der rote Mann zog sich immer zurück vor dem eindringenden weißen Mann - so wie der Frühnebel in den Bergen vor der Morgensonne weicht. Aber die Asche unserer Väter ist heilig, ihre Gräber sind geweihter Boden, und so sind diese Hügel, diese Bäume, dieser Teil der Erde uns geweiht. Wir wissen, dass der weiße Mann unsere Art nicht versteht. Ein Teil des Landes ist ihm gleich jedem anderen, denn er ist ein Fremder, der kommt in der Nacht und nimmt von der Erde, was immer er braucht. Die Erde ist sein Bruder nicht, sondern sein Feind, und wenn er sie erobert hat, schreitet er weiter. Er lässt die Gräber seiner Väter zurück - und kümmert sich nicht. Er stiehlt die Erde von seinen Kindern - und kümmert sich nicht. Seiner Väter Gräber und seiner Kinder Geburtsrecht sind vergessen. Er behandelt seine Mutter, die Erde, und seinen Bruder, den Himmel, wie Dinge zum Kaufen und Plündern, zum Verkaufen wie Schafe oder glänzende Perlen. Sein Hunger wird die Erde verschlingen und nichts zurücklassen als eine Wüste.

Ich weiß nicht - unsere Art ist anders als die Eure. Der Anblick Eurer Städte schmerzt die Augen des roten Mannes. Vielleicht, weil der rote Mann ein Wilder ist und nicht versteht. Es gibt keine Stille in den Städten der Weißen. Keinen Ort, um das Entfalten der Blätter im Frühling zu hören oder das Summen der Insekten.

Aber vielleicht nur deshalb, weil ich ein Wilder bin und nicht verstehe. Das Geklapper scheint unsere Ohren zu beleidigen. Was gibt es schon im Leben, wenn man nicht den einsamen Schrei des Ziegenmelkervogels hören kann, oder das Gestreite der Frösche am Teich bei Nacht? Ich bin ein roter Mann und verstehe das nicht. Der Indianer mag das sanfte Geräusch des Windes, der über eine Teichfläche streicht - und den Geruch des Windes, gereinigt vom Mittagsregen oder schwer vom Duft der Kiefern. Die Luft ist kostbar für den roten Mann - denn alle Dinge teilen denselben Atem - das Tier, der Baum, der Mensch - sie alle teilen denselben Atem. Der weiße Mann scheint die Luft, die er atmet, nicht zu bemerken; wie ein Mann, der seit vielen Tagen stirbt, ist er abgestumpft gegen den Gestank. Aber wenn wir Euch unser Land verkaufen, dürft Ihr nicht vergessen, dass die Luft ihren Geist teilt mit all dem Leben, das sie enthält. Der Wind gab unseren

Vätern den ersten Atem und empfängt ihren letzten. Und der Wind muss auch unseren Kindern den Lebensgeist geben. Und wenn wir Euch unser Land verkaufen, so müsst Ihr es als ein besonderes und geweihtes schätzen, als einen Ort, wo auch der weiße Mann spürt, dass der Wind süß duftet von den Wiesenblumen.

Das Ansinnen, unser Land zu kaufen, werden wir bedenken, und wenn wir uns entschließen anzunehmen, so nur unter einer Bedingung. Der weiße Mann muss die Tiere des Landes behandeln wie seine Brüder.

Ich bin ein Wilder und verstehe es nicht anders. Ich habe tausend verrottete Büffel gesehen, vom weißen Mann zurückgelassen - erschossen aus einem vorüberfahrenden Zug. Ich bin ein Wilder und kann nicht verstehen, wie das qualmende Eisenpferd wichtiger sein soll als der Büffel, den wir nur töten, um am Leben zu bleiben. Was ist der Mensch ohne die Tiere? Wären alle Tiere fort, so stürbe der Mensch an großer Einsamkeit des Geistes. Was immer den Tieren geschieht, geschieht bald auch den Menschen. Alle Dinge sind miteinander verbunden.

Was die Erde befällt, befällt auch die Söhne der Erde. Ihr müsst Eure Kinder lehren, dass der Boden unter ihren Füßen die Asche unserer Großväter ist. Damit sie das Land achten, erzählt ihnen, dass die Erde erfüllt ist von den Seelen unserer Vorfahren. Lehrt Eure Kinder, was wir unsere Kinder lehren: die Erde ist unsere Mutter. Was die Erde befällt, befällt auch die Söhne der Erde. Wenn Menschen auf die Erde spucken, bespeien sie sich selbst. Denn das wissen wir, die Erde gehört nicht den Menschen, der Mensch gehört zur Erde - das wissen wir. Alles ist miteinander verbunden, wie das Blut, das eine Familie vereint. Alles ist verbunden. Was die Erde befällt, befällt auch die Söhne der Erde. Der Mensch schuf nicht das Gewebe des Lebens, er ist darin nur eine Faser. Was immer Ihr dem Gewebe antut, das tut Ihr Euch selber an. Nein, Tag und Nacht können nicht zusammenleben. Unsere Toten leben fort in den süßen Flüssen der Erde, kehren wieder mit des Frühlings leisem Schritt, und es ist ihre Seele im Wind, der die Oberfläche der Teiche kräuselt.

Das Ansinnen des weißen Mannes, unser Land zu kaufen, werden wir bedenken. Aber mein Volk fragt, was denn will der weiße Mann? Wie kann man den Himmel oder die Wärme der Erde kaufen, oder die Schnelligkeit der Antilope? Könnt Ihr denn mit der Erde tun, was Ihr wollt, nur weil der rote Mann ein Stück Papier unterzeichnet und es dem weißen Manne gibt? Wenn wir nicht die Frische der Luft und das Glitzern des Wassers besitzen, wie könnt Ihr sie von uns kaufen? Könnt Ihr die Büffel zurückkaufen, wenn der letzte getötet ist?

Wir werden Euer Angebot bedenken. Wir wissen, wenn wir nicht verkaufen, kommt wahrscheinlich der weiße Mann mit Waffen und nimmt sich unser Land. Aber wir sind Wilde. Der weiße Mann, vorübergehend im Besitz der Macht, glaubt, er sei schon Gott, dem die Erde gehört. Wie kann ein Mensch seine Mutter besitzen?

Wir werden Euer Angebot, unser Land zu kaufen, bedenken. Tag und Nacht können nicht zusammenleben. Wir werden Euer Angebot bedenken, in das Reservat zu gehen. Wir werden abseits und in Frieden leben. Es ist unwichtig, wo wir den Rest unserer Tage verbringen. Unsere Kinder sahen ihre Väter gedemütigt und besiegt. Unsere Krieger wurden beschämt. Nach Niederlagen verbringen sie ihre Tage müßig, vergiften ihren Körper mit süßer Speise und starkem Trunk.

Es ist unwichtig, wo wir den Rest unserer Tage verbringen. Es sind nicht mehr viele. Noch wenige Stunden, ein paar Winter, und kein Kind der großen Stämme, die einst in diesem Land lebten oder jetzt in kleinen Gruppen durch die Wälder streifen, wird mehr übrig sein, um an den Gräbern eines Volkes zu trauern, das einst so stark und voller Hoffnung war wie das Eure. Aber warum soll ich trauern über den Untergang meines Volkes. Völker bestehen aus Menschen, aus nichts anderem. Menschen kommen und gehen wie die Wellen im Meer. Selbst der weiße Mann, dessen Gott mit ihm wandelt und redet, wie Freund zu Freund, kann der gemeinsamen Bestimmung nicht entgehen. Vielleicht sind wir doch Brüder. Wir werden sehen.

Eines wissen wir, was der weiße Mann vielleicht eines Tages erst entdeckt: unser Gott ist derselbe Gott. Ihr denkt vielleicht, dass Ihr ihn besitzt, so wie Ihr unser Land zu besitzen trachtet. Aber das könnt Ihr nicht. Er ist der Gott der Menschen, der Roten und der Weißen gleichermaßen. Dieses Land ist ihm wertvoll und die Erde verletzen heißt ihren Schöpfer verachten.

Auch die Weißen werden vergehen, eher vielleicht als alle anderen Stämme. Fahret fort, Euer Bett zu verseuchen, und eines Nachts werdet Ihr im eigenen Abfall ersticken. Aber in Eurem Untergang werdet Ihr hell strahlen, angefeuert von der Stärke des Gottes, der Euch in dieses Land brachte und Euch bestimmte, über dieses Land und den roten Mann zu herrschen. Diese Bestimmung ist uns ein Rätsel. Wenn die Büffel alle geschlachtet sind, die wilden Pferde gezähmt, die heimlichen Winkel des Waldes, schwer vom Geruch vieler Menschen und der Anblick reifer Hügel geschändet von redenden Drähten - wo ist das Dickicht - fort, wo der Adler - fort. Und was bedeutet es, Lebewohl zu sagen dem schnellen Pony und der Jagd: Das Ende des Lebens und der Beginn des Überlebens.

Gott gab Euch Herrschaft über die Tiere, die Wälder und den roten Mann, aus einem besonderen Grund. Doch dieser Grund ist uns ein Rätsel. Vielleicht könnten wir es verstehen, wenn wir wüßten, wovon der weiße Mann träumt, welche Hoffnungen er seinen Kindern an langen Winterabenden schildert und welche Visionen er in ihre Vorstellungen brennt, so dass sie sich nach einem Morgen sehnen. Aber wir sind Wilde. Die Träume des weißen Mannes sind uns verborgen. Und weil sie uns verborgen sind, werden wir unsere eigenen Wege gehen. Denn vor allem schätzen wir das Recht eines jeden Menschen, so zu leben, wie er selber es wünscht, gleich wie verschieden von seinen Brüdern er ist. Das ist nicht viel, was uns verbindet.

Wir werden Euer Angebot bedenken. Wenn wir zustimmen, so nur, um das Reservat zu sichern, das Ihr versprochen habt. Dort vielleicht können wir unsere kurzen Tage auf unsere Weise verbringen.

Wenn der letzte rote Mann von dieser Erde gewichen ist und sein Gedächtnis nur noch der Schatten einer Wolke über der Prärie, wird immer noch der Geist meiner Väter in diesen Ufern und diesen Wäldern lebendig sein. Denn sie liebten diese Erde, wie das Neugeborene den Herzschlag seiner Mutter.

Wenn wir Euch unser Land verkaufen, liebt es, so wie wir es liebten, kümmert Euch, so wie wir uns kümmerten, behaltet die Erinnerung an das Land, so wie es ist, wenn Ihr es nehmt. Und, mit all Eurer Stärke, Eurem Geist, Eurem Herzen, erhaltet es für Eure Kinder und liebt es, so wie Gott uns alle liebt. Denn eines wissen wir, unser Gott ist derselbe Gott. Diese Erde ist ihm heilig. Selbst der weiße Mann kann der gemeinsamen Bestimmung nicht entgehen.

Vielleicht sind wir doch Brüder. Wir werden sehen.