

# IMPLEMENTIERUNG EINES WEBBASIERTEN TALSPERREN-MONITORING-SYSTEMS

Kay Smarsly, Ingo Mittrup, Dietrich Hartmann  
*Lehrstuhl für Ingenieurinformatik im Bauwesen, Ruhr-Universität Bochum*  
*hartus@inf.bi.rub.de*

Volker Bettzieche  
*Ruhrverband, Essen*  
*vbe@ruhrverband.de*

## 1 Einführung

Talsperren sind eines der wirkungsvollsten Instrumente zur Regulierung der Wasserführung von Flüssen. Um die Sicherheit und Betriebsbereitschaft von Talsperren zu gewährleisten, sind die Talsperrenbetreiber verpflichtet, die Absperrbauwerke durch geeignete Messeinrichtungen und Kontrollen ständig zu überwachen und die Messungen bzw. Kontrollen in regelmäßigen Abständen ausführlich zu dokumentieren. Die herkömmliche Erfassung, Aufbereitung und Visualisierung der gesammelten Daten erfordert dabei einen erheblichen Arbeits- und Zeitaufwand. Ein leistungsfähiges, computergestütztes Monitoring-System kann die an der Überwachung beteiligten Fachleute in ihrer Arbeit individuell unterstützen und dadurch den Überwachungsaufwand deutlich reduzieren. In Zusammenarbeit mit dem Ruhrverband wurde am Lehrstuhl für Ingenieurinformatik im Bauwesen ein Talsperren-Monitoring-System entwickelt, das die genannten Vorteile realisiert.

## 2 Talsperren-Monitoring

Ziel des Talsperren-Monitoring ist es, durch Messungen und Kontrollen Indizien für ein anomales Bauwerksverhalten zu erhalten, sodass notwendige Gegenmaßnahmen rechtzeitig und ohne Reduzierung der Bauwerkssicherheit durchgeführt werden können. Das Konzept des Talsperren-Monitoring beruht auf der systematischen Erfassung aller relevanten Daten (*Datenerfassung*) sowie der eingehenden Analyse der erhobenen Messdaten (*Datenanalyse*), um das Verhalten des Bauwerks differenziert beurteilen zu können.

Der Prozess der *Datenerfassung* beinhaltet die Erhebung der Daten, die die statische, hydrologische und betriebliche Sicherheit betreffen. Daher muss jedes Absperrbauwerk mit einem Mess- und Kontrollsystem ausgestattet werden, das der Art, der Größe und der Lage des Bauwerks angepasst ist. Bei der Ausstattung eines Staubbauwerks mit Mess- und Kontrolleinrichtungen sind folgende Prinzipien zu beachten [2]:

- Jede Talsperre ist hinsichtlich ihrer Lage und Konstruktion ein Einzelbauwerk.
- Talsperre und Untergrund bilden eine Einheit, die eingebettet ist in eine natürliche Umgebung.
- Das Mess- und Kontrollsystem muss durch geeignete Messverfahren die Beurteilung des Kurzzeit- und Langzeitverhaltens des Bauwerks ermöglichen.
- Bei Auftreten eines anomalen Bauwerksverhaltens müssen die verantwortlichen Mitarbeiter umgehend benachrichtigt werden. Die Ursache der Anomalie sollte durch die Analyse der Messdaten identifizierbar sein.
- Visuelle Kontrollen und Funktionskontrollen von Betriebseinrichtungen durch Fachpersonal sind unverzichtbar.

Die Datenerfassung eines automatischen Talsperren-Monitoring-Systems basiert auf einer umfangreichen Messelektronik (Sensorik). Diese Sensorik besteht aus zwei wesentlichen Komponenten: Messwertgebern (Sensoren) und Datenaufzeichnungsgeräten (Datenlogger). Wichtige Sensoren sind beispielsweise Temperatursensoren, Ultraschallsensoren zur Bestimmung des Sickerwasserdurchflusses, Laser zur Bestimmung von Verschiebungen und Piezometer zur Bestimmung des Porenwasserdrucks.

Die Sensoren sind an definierten Positionen im Absperrbauwerk installiert [2] und werden von Datenloggern durch elektrische Impulse gesteuert: Nach Empfang eines Impulses senden die Sensoren Signale (Spannungen, Stromstärken oder Frequenzen) zurück, die die Datenlogger dann in Messwerte von entsprechender Einheit wandeln und in einem internen Speicher ablegen. Die Konfiguration der Datenlogger ist i.d.R. über eine Hardware-Schnittstelle möglich. Über diese Schnittstelle können ebenfalls die gespeicherten Messdaten auf einen angeschlossenen Rechner transferiert werden. Ein automatisiertes Messsystem wird gewöhnlich durch einen Rechner komplettiert, der nahe des Absperrbauwerks in einer Warte platziert ist.

Die *Datenanalyse* setzt sich in der Praxis aus mehreren Teilprozessen mit verschiedenen Bearbeitungsschwerpunkten zusammen, da ein hohes Maß an Fachwissen gefordert ist. So sind an der Auswertung und Validierung der Messdaten u. a. Techniker, Ingenieure, Geologen und Geodäten beteiligt, die jeweils einen Teilprozess des Gesamtprozesses Datenanalyse bearbeiten. Diese Teilprozesse werden - in Abhängigkeit von der Organisationsform des betrachteten Talsperrenbetreibers - durch die verschiedenen kooperierenden Mitarbeiter in räumlich verteilten Betriebsstellen ausgeführt. Erst die Zusammenführung der erarbeiteten Teilergebnisse aller beteiligten Fachleute an zentraler Stelle kann eine abschließende, umfassende Datenanalyse sicherstellen.

### 3 Konzeption des Talsperren-Monitoring-Systems

Die Konzeption eines computerbasierten Talsperren-Monitoring-Systems muss berücksichtigen, dass die räumlich verteilt arbeitenden, kooperierenden Fachleute auf zentral gehaltene Daten mit unterschiedlichen Anforderungen an die Darstellung und die zeitliche Auflösung zugreifen. Deshalb handelt es sich bei dem hier vorgestellten Konzept um ein webbasiertes System, das eine Lösung dieses verteilten Problems auf der Basis bekannter und etablierter Web-Technologien (wie z.B. HTML, XML oder Java Servlets [5]) erlaubt. Die Nutzung des Systems kann dann seitens der Benutzer ortsunabhängig mit einem Web-Browser über eine gesicherte Internet-Verbindung erfolgen; Messdaten und Benutzerprofile können bei einem minimalen Administrationsaufwand zentral verwaltet werden.

Darüber hinaus muss ein automatisiertes Talsperren-Monitoring-System sowohl die automatische Datenerfassung und Steuerung der vorhandenen Sensorik als auch die weitere Verarbeitung und Analyse der Daten sicherstellen. Das Gesamtproblem „Talsperren-Monitoring“ wird unter Berücksichtigung der vorliegenden Prozesse in folgende drei Teilprobleme zerlegt:

- Steuerung der Sensorik,
- Erfassung der Daten und
- Auswertung, Aufbereitung und Visualisierung der gesammelten Daten.

Dieser Dekomposition folgend werden drei Software-Module entwickelt (vgl. Abb. 1), die auf einem zentralen Steuerrechner nahe der Talsperre installiert werden und die oben beschriebenen Aufgaben übernehmen.

Das erste Modul ist eine **Logger-Klassenbibliothek**, die die Steuerung von Datenloggern ermöglicht. Da Datenlogger die Schnittstelle zwischen Rechner und Sensor bilden, können alle angeschlossenen Sensoren gesteuert werden. Die Logger-Klassenbibliothek ist erweiterbar, sodass Datenlogger beliebiger Hersteller dieser Bibliothek ohne großen Aufwand hinzugefügt werden können. Aufbauend auf der Logger-Klassenbibliothek wird ein **webbasiertes Datenerfassungsmodul** entwickelt, das neben der automatischen, kontinuierlichen Erfassung und Speicherung der Messdaten in einer Datenbank eine einfache grafische Administration von Datenloggern ermöglicht. Beim Entwurf des webbasierten Datenerfassungs-

moduls ist insbesondere zu berücksichtigen, dass eine Fernadministration der Messelektronik, d.h. der Zugriff auf den lokalen Steuerrechner von einem entfernten, verbundenen Rechner aus ermöglicht werden muss. Das dritte Modul - das **webbasierte Visualisierungs- und Auswertungsmodul** - ermöglicht eine benutzerorientierte, grafische Aufbereitung und eine automatische Berichtserstellung aus den gesammelten Daten [4]. Die Daten können dabei flexibel, abhängig von den Anforderungen der verschiedenen Fachleute u.a. im GIF-, ASCII-, HTML-, XML- oder Microsoft-Excel-Format dargestellt und auf den jeweiligen Rechnern lokal gespeichert werden.

Die beiden letztgenannten Module wurden webbasiert konzipiert: Die Darstellung der Informationen und die Interaktion mit dem Benutzer erfolgt ausschließlich mit einem Web-Browser, d.h. neben einem Web-Browser ist clientseitig keine zusätzliche Software erforderlich. Die Einbindung weiterer Module ist gemäß Abbildung 1 ohne großen Aufwand möglich. Beispielsweise ist vorgesehen, ein Zusatzmodul zur vertieften mathematisch-statistischen Analyse [1] an das webbasierte Visualisierungs- und Auswertungsmodul anzubinden, um eine noch differenziertere Messdatenauswertung zu ermöglichen.

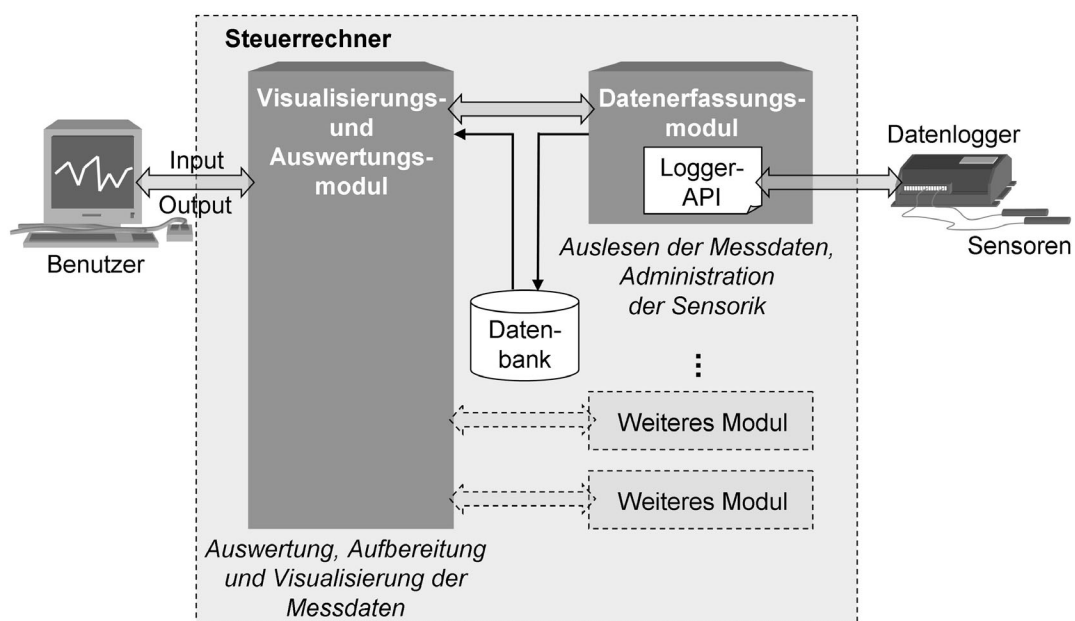


Abb. 1: Architektur des Monitoring-Systems

## 4 Implementierung des Talsperren-Monitoring-Systems

### 4.1 Logger-Klassenbibliothek (Logger-API)

Die in der Praxis sehr unterschiedliche Messelektronik erfordert die Implementierung eines austauschbaren und leicht erweiterbaren Moduls zur Kapselung der spezifischen Hardware. Da die Steuerung von Datenloggern von den verwendeten Kommunikationsprotokollen und den vorgegebenen Befehlsätzen der Hersteller abhängig ist, wurde in einem ersten Schritt eine Java-basierte Klassenbibliothek (Logger-API) zur Steuerung von Datenloggern entwickelt, die die genannten Anforderungen in ihrer Konzeption und Architektur berücksichtigt [5]. Datenlogger verschiedener Hersteller können der Logger-API hinzugefügt werden. Einen wesentlichen Vorteil der implementierten Logger-API zeigt Abbildung 2. Wird die Logger-API in eine Java- oder Web-Applikation integriert, können alle an den Datenlogger ange-

geschlossenen Messeinrichtungen durch den Benutzer oder weitere Softwaremodule gesteuert werden; alle vorhandenen Funktionalitäten sind über einfache Kommandos abrufbar.

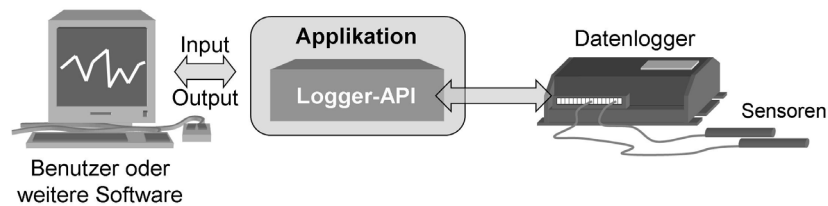


Abb. 2: Steuerung eines Datenloggers über die Logger-API

Weiterhin bietet die Logger-API die Möglichkeit, die vorhandenen Eigenschaften eines Datenloggers softwareseitig zu erweitern. Zusätzliche Funktionalitäten (z.B. weitere Mess- oder Alarmprogramme) werden von der Logger-API emuliert. Ein einfacher Datenlogger kann so auch für komplexere Überwachungsaufgaben eingesetzt werden.

## 4.2 Webbasiertes Datenerfassungsmodul

Die automatische Erfassung der Daten vor Ort wird häufig über einen an der Talsperre platzierten zentralen Rechner gesteuert. An diesen Rechner sind die im Bauwerk installierten Datenlogger angeschlossen. Die Administration der Datenlogger und das Auslesen der Logger-internen Speicher kann somit nur lokal erfolgen.

Um einen Fernzugriff auf den zentralen Steuerrechner und einen Fernzugriff auf die installierten Messeinrichtungen zu ermöglichen, wurde ein webbasiertes Datenerfassungsmodul entwickelt. Das Modul unterstützt die Steuerung von Datenloggern, kapselt die bereits beschriebene Logger-API und stellt für alle Funktionalitäten des Datenloggers eine grafische Oberfläche bereit. Außerdem sind Funktionalitäten zur Verwaltung von konkreten Überwachungsaufgaben enthalten, so können u. a. die Intervalle für das automatische Auslesen eines Logger-Speichers bearbeitet werden. Abbildung 3 zeigt eine Bildschirmausgabe des Datenerfassungsmoduls.

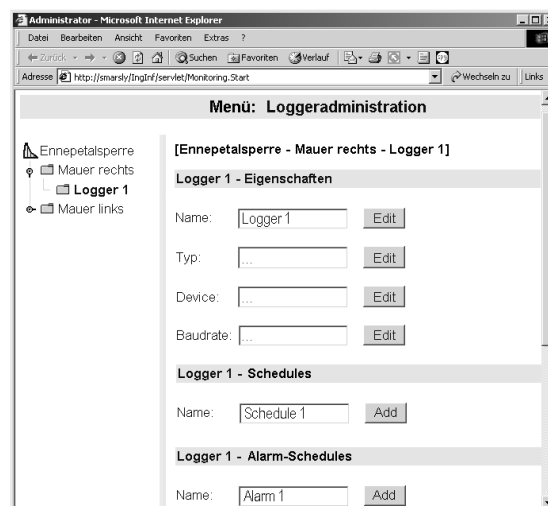


Abb. 3: Bildschirmausgabe des Datenerfassungsmoduls

Die Bildschirmausgabe besteht aus zwei wesentlichen Komponenten: (i) aus einer graphisch dargestellten Baumstruktur, die eine einfache Navigation und eine schnelle Auswahl bestimmter Elemente (z.B. eines Datenloggers oder eines Messprogramms) ermöglicht und (ii) aus einem Eigenschaftenfenster, in dem Details selektierter Elemente dargestellt und bearbeitet werden können.

### 4.3 Webbasiertes Visualisierungs- und Auswertungsmodul

Die Forderung nach Austauschbarkeit, Flexibilität und Modularität von Systemteilen impliziert ein Komponenten-orientiertes Entwurfsmuster. Eine besonders geeignete Basis für ein Lösungskonzept ist das Model-View-Controller-Paradigma (MVC), das eine klare Trennung zwischen Präsentation (*View*), Datenmodell (*Model*) und Ablaufsteuerung (*Controller*) vorsieht. Für die hier vorliegenden Anforderungen ist es jedoch sinnvoll, das konventionelle MVC-Entwurfsmuster entsprechend Abbildung 4 in Richtung einer modularen Schichtenstruktur zu modifizieren, da dann Änderungen oder der Austausch einer Komponente unabhängig von den benachbarten Komponenten möglich sind.

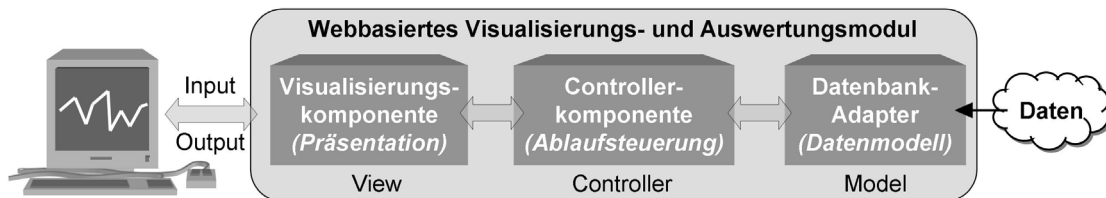


Abb. 4: Entwurfsmuster des Visualisierungs- und Auswertungsmoduls

Die **Visualisierungskomponente** (*View*) dient einerseits dem Benutzer als Schnittstelle zur Eingabe von Datenbankabfragen, Administration von Benutzerprofilen, etc. (*Input*) und andererseits der individuellen Visualisierung der angeforderten Ergebnismengen (*Output*), siehe auch Abbildungen 5 und 6. Die Visualisierungskomponente wurde unter Nutzung der Java Servlet Technologie realisiert [5]. Die **Controllerkomponente** (*Controller*) übernimmt im Wesentlichen die Benutzeridentifikation und die Strukturierung, Aufbereitung und Weiterleitung der vom Benutzer angeforderten Messdaten an die Visualisierungskomponente. D. h., die Controllerkomponente formatiert die vom Benutzer angeforderten und über das Datenmodell erhaltenen Messdaten. Das Datenmodell wurde als austauschbarer **Datenbankadapter** (*Model*) implementiert, sodass mehrere substituierbare Datenbanken im Monitoring-System genutzt werden können. Der Datenbankadapter hat die Aufgabe, eine Verbindung zwischen der/den Datenbank(en) und der Controllerkomponente herzustellen, Messdaten-Anfragen an die Datenbank(en) weiterzuleiten und die Anfrage-Ergebnisse an den Controller zurückzuliefern.

Abbildung 5 zeigt eine grafische Oberfläche zur Auswahl verschiedener Sensoren (hier Temperatursensoren), deren Messdaten abgefragt werden können, in einem Talsperren-Querschnitt. Die Ergebnisse der Messdatenabfrage im GIF-Format zeigt Abbildung 6. Die Interaktion zwischen Benutzer und Datenbank(en) geschieht dabei über einen Web-Browser.

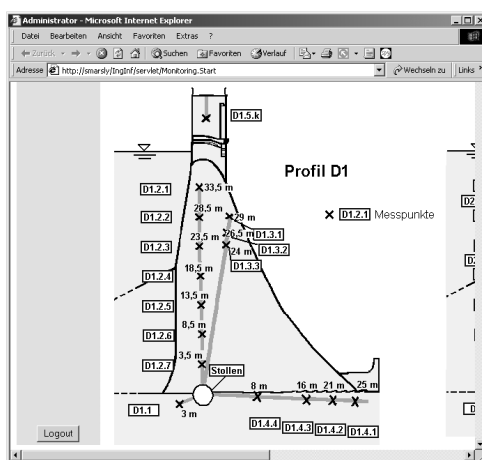


Abb. 5: Messdatenabfrage

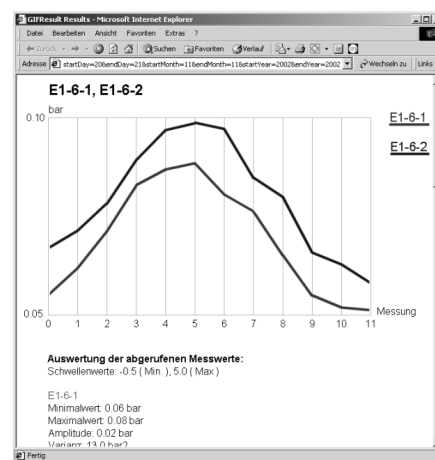


Abb. 6: Visualisierung der Messdaten

Neben der webbasierten Visualisierungskomponente wurde eine WAP-basierte Visualisierungskomponente („WML-Frontend“) entwickelt. Sie ermöglicht einen mobilen Abruf der

Messdaten aus dem Talsperren-Monitoring-System über ein Mobiltelefon. Die am Monitoring beteiligten Aufgabenträger haben dadurch die Möglichkeit, einen Teil ihrer Aufgaben ortsunabhängig zu erfüllen und jederzeit Messdaten anzufordern. Voraussetzung ist lediglich ein WAP-fähiges Mobiltelefon.

## 5 Übertragbarkeit des Systems auf andere Bauwerksszenarien

Das für die Staubauwerksüberwachung konzipierte Talsperren-Monitoring-System ist trotz der speziellen gesetzlichen Vorgaben prinzipiell auf andere Bauwerksszenarien übertragbar, da die bei der Bauwerksüberwachung zentralen Prozesse - die Datenerfassung und die Datenanalyse - durch das implementierte System unterstützt werden.

Die für die automatische *Datenerfassung* entwickelten Module, das Administrationsmodul und die Logger-API, ermöglichen die Fernsteuerung von Datenloggern und der angeschlossenen Messelektronik. Diese Module sind damit nicht auf die Staubauwerksüberwachung beschränkt, sondern können für alle Überwachungsaufgaben genutzt werden, bei denen Datenlogger zum Einsatz kommen. Zur Anpassung an eine konkrete Überwachungsaufgabe, insbesondere an die vorhandene Messinfrastruktur kann die Logger-API um spezifische Datenlogger erweitert werden.

Das webbasierte Visualisierungs- und Auswertungsmodul zur *Datenanalyse* ist ebenfalls auf andere Bauwerksszenarien übertragbar. Es wurde im Kern für die flexible, benutzerorientierte Darstellung von Messdaten ohne Beschränkung auf spezifische Überwachungsaufgaben oder Bauwerkstypen konzipiert. Durch seine modulare Architektur mit austauschbaren Komponenten kann dieses Modul leicht an ein geändertes Bauwerksszenario angepasst werden. Es müssen lediglich die bauwerksspezifischen Komponenten (z.B. für die visuelle Darstellung des Bauwerks, Abbildung 5) modifiziert werden.

## 6 Zusammenfassung

Die skizzierte Lösung ermöglicht die (Fern-)Administration von Datenloggern sowie die schnelle und differenzierte Aufbereitung und Visualisierung von Messdaten. Das entwickelte Monitoring-System ist nicht nur auf die Talsperren-Überwachung beschränkt, sondern kann ohne großen Aufwand an andere Überwachungsaufgaben angepasst werden. Alle an der Überwachung beteiligten Fachleute werden durch einen einfachen Zugriff auf die installierte Sensorik und differenzierte Analysefunktionalitäten bei ihren spezifischen Überwachungsaufgaben unterstützt. So kann der Aufwand für den Datentransfer und die individuelle manuelle Aufbereitung der Daten durch den jeweiligen Aufgabenträger deutlich reduziert werden.

## 7 Literatur

- [1] Bettzieche, V.: Vertiefte Analyse von Messwerten der Talsperrenüberwachung, Scientific Reports; Journal of The Mittweida University of Technology and Economics. Mittweida, April 2002.
- [2] DVWK-Merkblätter zur Wasserwirtschaft, Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau e. V. (DVWK): Meß- und Kontrolleinrichtungen zur Überprüfung der Standsicherheit von Staumauern und Staudämmen. Essen, 1991.
- [3] Mittrup, I.: Entwurf einer webbasierten Facility-Monitoring-Application zur Talsperren-Überwachung, Ruhr-Universität Bochum. Bochum, 2002. <http://www.inf.bi.rub.de>
- [4] Smarsly, K.: Entwicklung eines webbasierten Frameworks zur Auswertung, Aufbereitung und Visualisierung von Messdaten aus einem Talsperren-Monitoring-System, Ruhr-Universität Bochum. Bochum, 2002. <http://www.inf.bi.rub.de>
- [5] Sun Microsystems, Inc.: Java Servlet API Specification - Version 2.2, 1999. <http://java.sun.com/products/servlet/2.2/>