

# HENRY

Hydraulic Engineering Repository

Ein Service der Bundesanstalt für Wasserbau

---

Conference Paper, Published Version

## Huber, Nils Peter; Polczyk, Herbert; Grote, Alexander; Köngeter, Jürgen Analyse von Überwachungskonzepten für Stauanlagen

Dresdner Wasserbauliche Mitteilungen

Zur Verfügung gestellt in Kooperation mit/Provided in Cooperation with:

**Technische Universität Dresden, Institut für Wasserbau und technische Hydromechanik**

---

Verfügbar unter/Available at: <https://hdl.handle.net/20.500.11970/103871>

Vorgeschlagene Zitierweise/Suggested citation:

Huber, Nils Peter; Polczyk, Herbert; Grote, Alexander; Köngeter, Jürgen (2005): Analyse von Überwachungskonzepten für Stauanlagen. In: Technische Universität Dresden, Institut für Wasserbau und technische Hydromechanik (Hg.): Stauanlagen am Beginn des 21. Jahrhunderts. Dresdner Wasserbauliche Mitteilungen 29. Dresden: Technische Universität Dresden, Institut für Wasserbau und technische Hydromechanik. S. 115-130.

### Standardnutzungsbedingungen/Terms of Use:

Die Dokumente in HENRY stehen unter der Creative Commons Lizenz CC BY 4.0, sofern keine abweichenden Nutzungsbedingungen getroffen wurden. Damit ist sowohl die kommerzielle Nutzung als auch das Teilen, die Weiterbearbeitung und Speicherung erlaubt. Das Verwenden und das Bearbeiten stehen unter der Bedingung der Namensnennung. Im Einzelfall kann eine restriktivere Lizenz gelten; dann gelten abweichend von den obigen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Documents in HENRY are made available under the Creative Commons License CC BY 4.0, if no other license is applicable. Under CC BY 4.0 commercial use and sharing, remixing, transforming, and building upon the material of the work is permitted. In some cases a different, more restrictive license may apply; if applicable the terms of the restrictive license will be binding.





## Analyse von Überwachungskonzepten für Stauanlagen

Dipl.-Ing. Nils Peter Huber, Dipl.-Ing. Herbert Polczyk,  
Dipl.-Prof. Alexander Grote, Univ.-Prof. Dr.-Ing. Jürgen Köngeter

Wesentlicher Bestandteil der Sicherheit von Stauanlagen ist eine auf die individuellen Gegebenheiten angepasste Überwachung. Sie ermöglicht den Betreibern, anhand gesammelter Erfahrungen, Beobachtungen und Daten, auf eventuelle Unregelmäßigkeiten zu reagieren. Im Allgemeinen stehen keine Kriterien und Verfahrensweisen zur Verfügung, mittels derer eine Bewertung der Effizienz von Überwachungsmaßnahmen erfolgen kann. Vor diesem Hintergrund soll ein Ansatz dargestellt werden, der einen objektiven Vergleich unterschiedlicher Konzepte sowie gegebenenfalls deren Optimierung erlaubt. Auf Grundlage einer strukturierten kausal-logischen Beschreibung verschiedener Grundtypen von Überwachungskonzepten soll eine probabilistische Herangehensweise auf Basis der Berechnung von Fehler- und Versagenswahrscheinlichkeiten innerhalb der Maßnahmenketten einen deterministischen Bewertungsmaßstab ersetzen. Am Beispiel des Überwachungskonzepts der Rurtalsperre wird diese Herangehensweise dargestellt. Ebenfalls präsentiert werden Ergebnisse einer unter 16 Talsperrenbetreibern durchgeführten Umfrage zur Talsperrenüberwachung.

Talsperrenüberwachung, Fehlerbäume, Wahrscheinlichkeit, menschlicher Fehler

### 1 Einleitung

Das hohe Sicherheitsniveau deutscher Stauanlagen wird traditionell durch ein intensives und wirkungsvolles Zusammenspiel von qualitätssichernden Faktoren in Konzeption, Planung, Bauausführung und letztlich im Betrieb gewährleistet. Vor allem im Hinblick auf die dauerhafte bestimmungsgemäße und sichere Nutzung von Anlagen zeichnet sich die Stauanlagenüberwachung als nachhaltiger Bestandteil der Stauanlagensicherheit aus. Demzufolge fordert die DIN 19700 (2004) ein „an die Stauanlage individuell angepasstes Überwachungssystem, bestehend aus Messeinrichtungen und visuellen Kontrollen“. Für Talsperren finden sich darüber hinaus verbindliche



Regelungen in Wassergesetzen verschiedener Bundesländer (beispielsweise §106 LWG-NRW, 1995). In der praktischen Umsetzung konkretisiert wird die Stauanlagenüberwachung durch allgemein anerkannte, begleitende Hinweise und technische Merkblätter (DVWK 222, 1991).

Der Betrieb von Stauanlagen ist heute mehr denn je auch durch betriebswirtschaftliche Zwänge stark beeinflusst. In diesem Zusammenhang wird eventuell auch der intensive Einsatz von Personal und Messtechnik bzw. Automatik im Rahmen der Stauanlagenüberwachung zukünftig kritischen ökonomischen Analysen unterzogen werden. Problematisch kann sich dann die Tatsache darstellen, dass Sicherheitsaspekte und -maßnahmen traditionell als schwer zu bewerten gelten. Die durch die Maßnahmen zu verhindernden unerwünschten Ereignisse sind äußerst selten. Die jüngste Einbindung von Risikoaspekten in die DIN 19700 (2004) eröffnet allerdings die Möglichkeit, den Nutzen von Maßnahmen in Bezug auf die Stauanlagensicherheit einer Bewertung zugänglich zu machen.

Die stetige Weiterentwicklung von Messtechnik, Datenübertragungsraten und Werkzeugen zur Datenauswertung führte in der Vergangenheit zu einem verstärkten Einzug technischer Komponenten in die Stauanlagenüberwachung. Diese Tatsache erlaubt es, zeitgemäße Stauanlagenüberwachungskonzepte differenziert auf Basis von traditionellen (personalintensiven), technisch unterstützten oder gänzlich automatisierten Verfahrensweisen zu entwickeln. Es erscheint sinnvoll, Methoden zu finden, mittels derer

- ein möglichst objektiver Vergleich verschiedener Konzepte,
- die Ermittlung des Beitrags von Überwachungsmaßnahmen auf die Zuverlässigkeit einer Stauanlage sowie
- die Optimierung konkreter Konzepte und somit effektive Minderung von Stauanlagenrisiken

ermöglicht wird.

Am Beispiel der Rurtalsperre wird für den konstruierten Fall eines Sickerwasseranstiegs mit potentiell nachfolgendem Versagen infolge innerer Erosion eine Bewertung verschiedener grundlegender Überwachungskonzepte vorgestellt.



## 2 Talsperrenüberwachung in Deutschland

Flankierend zu den Arbeiten wurde eine Erhebung zum Stand der Talsperrenüberwachung in Deutschland durchgeführt. Ziel dieses Schritts war es unter anderem, Aussagen über die Allgemeingültigkeit von Modellannahmen, die zur Beschreibung und Analyse der Überwachungsstruktur der Rurtalsperre getroffen werden sollten, ableiten zu können und in diesem Zusammenhang zu erfahren,

- inwieweit bereits Automatismen Einzug in die Talsperrenüberwachung gehalten haben,
- unter welchen Rahmenbedingungen der Einsatz des Talsperrenüberwachungspersonals erfolgt und
- welche detaillierten Zielsetzungen von Talsperrenbetreibern in Bezug auf von ihnen gewählte Überwachungskonzepte verfolgt werden.

Als Ergebnis der Befragung mittels eines 20 Fragen umfassenden Katalogs liegen Daten von 16 Talsperrenbetreibern vor. Die Gesamtzahl der hiermit erfassten Talsperren beträgt 128, wobei keine Differenzierung zwischen verschiedenen Bautypen erfolgen kann. Neun Betreiber haben weniger als fünf Talsperren in ihrem Verantwortungsbereich. Der Frage nach der möglichen Auswirkung der Anzahl der Talsperren auf die Überwachungsstruktur wurde im Rahmen der Auswertung noch nicht nachgegangen.

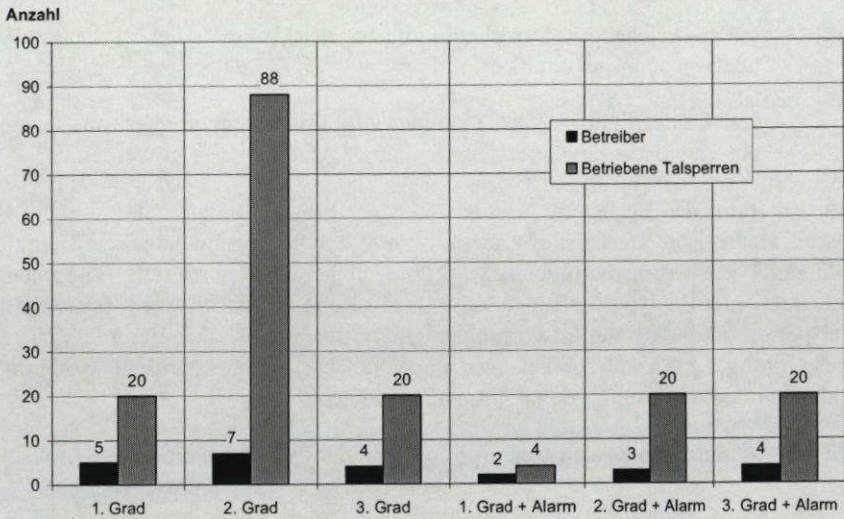
Die ermittelten Daten lassen sich grob in folgende Kategorien einteilen:

- Allgemeines zur Organisation der Überwachung: Arbeitsanweisungen, Berichtserstellung und Kommunikation.
- Umsetzung der Überwachung, getrennt nach Personal und Automatik: Umfang, Aufgabenzuweisung für das Personal, Automatisierungsgründe, Probleme und Fehlerquellen sowie Alarmierungsmethoden.
- Messgrößen: Erfasste Messgrößen, Redundanzen und Alarmschwellenabgleich.

Abbildung 1 zeigt, in welchem Umfang die Überwachung sowohl von Seiten der verschiedenen Betreiber als auch in Bezug auf die Anzahl der Talsperren automatisiert ist (die Anzahl der Talsperren pro Kategorie ergibt sich in den



Abbildungen 1 bis 3 vereinfacht als Hochrechnung über die jeweiligen Betreiber). Demnach sind alle erfassten Talsperren mit Einrichtungen zur automatischen Messwerverfassung ausgerüstet. 69% der Betreiber/Talsperren verfügen über einen automatisierten Datentransfer zur Betreiberzentrale. Vier Betreiber verfügen über einen daran anschließenden automatischen Abgleich der eingehenden Daten mit vorgegebenen Alarmschwellen. Fünf Betreiber knüpfen eine Alarmierung unmittelbar an die Messwerverfassung an der Talsperre. Sieben Betreiber setzen für den Fall einer als potentiell kritisch anzusehenden Entwicklung an einer ihrer Talsperren keine automatischen Systeme zur Alarmierung ein.



**Abbildung 1:** Grade der Automatisierung nach Betreibern und Talsperren:

- 1. Grad: nur Messwerverfassung
- 2. Grad: [1. Grad] + Datentransfer zur Betreiberzentrale
- 3. Grad: [2. Grad] + Auswertung (Schwellenwertabgleich)

In Abbildung 2 sind die sich aus dem Einsatz automatisierter Datenerfassungs- und -Verarbeitungsmethoden aus Sicht der Betreiber ergebenden Nutzenstiftungen dargestellt. Hauptargument der Einführung derartiger Systeme ist die ständige Datenverfügbarkeit und somit die Möglichkeit der kontinuierlichen Überwachung von Anlagen.

Die Verfügbarkeit und somit Effizienz einer automatisierten Überwachung hängt von zahlreichen Einflussfaktoren ab. Abbildung 3 veranschaulicht die



häufigsten Probleme der Betreiber mit den eingesetzten technischen Systemen. Der Ausfall der Messautomatik sowie die Lieferung von scheinbar ungenauen Daten (Messwertausreißer) sind die häufigsten Effekte. Übertragungsfehler und falsche Bedienung sind vergleichsweise gering repräsentiert.

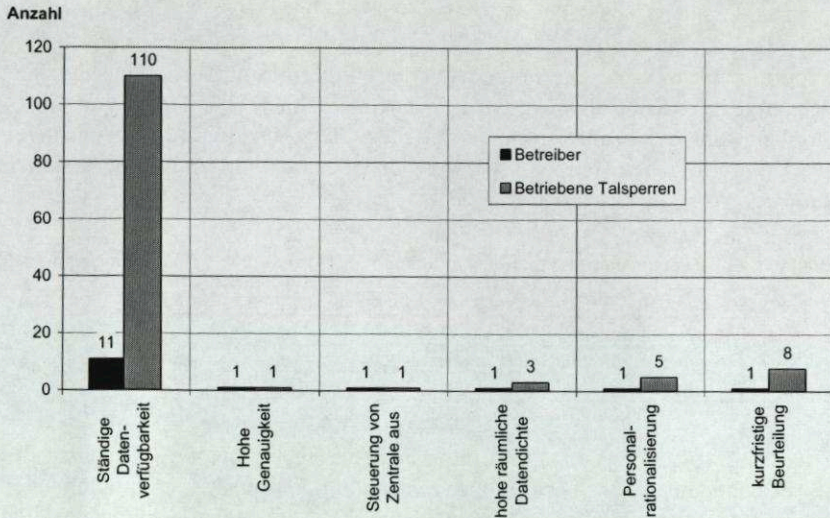
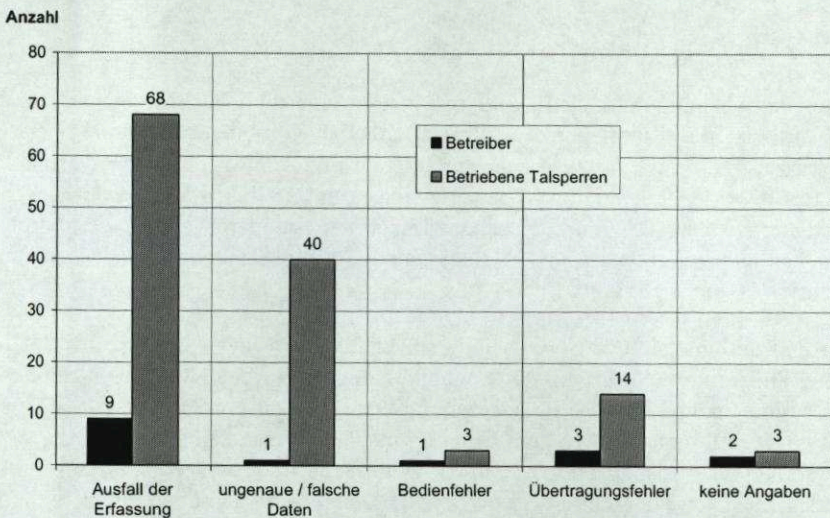


Abbildung 2: Wesentlicher Grund der automatisierten Talsperrenüberwachung





**Abbildung 3:** Häufigstes Problem mit der eingesetzten Überwachungsautomatik

Trotz des bereits sehr hohen Anteils automatisierter Überwachungsabläufe ersetzen diese nicht die Betreuung durch verantwortliches Talsperrenpersonal. In Tabelle 1 ist der Umfang des Personaleinsatzes im Rahmen der Talsperrenüberwachung an den 128 durch die Befragung abgedeckten Talsperren ausgewertet. Die Frage nach der Durchführung von arbeitstäglichen Begehungen der Kontrollgänge wird für hochgerechnet 93% der Talsperren (14 Betreiber) positiv beantwortet. Somit liegt letztlich für alle betrachteten Talsperren eine Koexistenz von personeller Überwachung und automatisierten Elementen vor.

**Tabelle 1:** Personaleinsatz und Zuständigkeit von Talsperrenwärtern an Talsperren

Anwesenheit des Talsperrenwärters	Anteil [%]
Ständige Präsenz an einer Talsperre	28,9
Geregelte Aufenthaltszeit an einer Talsperre	8,6
Betreuung mehrerer Talsperren	62,5
Ausschließlich von Betreiberzentrale überwacht	0,0

15 Betreiber beantworteten die Frage nach der regelmäßigen Teilnahme des Talsperrenpersonals an Fortbildungsveranstaltungen positiv. Notfallübungen werden von vier Betreibern einmal jährlich durchgeführt. Unregelmäßige Notfallübungen werden von elf Betreibern abgehalten.

### 3 Überwachungsstruktur der Rurtalsperre

Die Überwachung der sicherheitsrelevanten und betrieblichen Anlagenteile und Abläufe an der Rurtalsperre erfolgt durch eine Kombination automatisierter Prozesse mit dem Einsatz von ausgebildetem und verantwortlichem Personal. Derart hybride Überwachungskonzepte sind grundsätzlich, wie Kapitel 2 zeigt, an einer großen Zahl der deutschen Talsperren Standard. Nichts desto trotz ergeben sich mitunter relevante Unterschiede, die im Rahmen einer genaueren Analyse Berücksichtigung finden müssen.

Zu den automatisierten Überwachungsmaßnahmen an der Rurtalsperre zählen unter anderem die Sickerwassermengenmessungen an sieben Messquerschnitten im Kontrollgang. Die Datenaufzeichnung erfolgt quasi-kontinuierlich in einem Messintervall von 15 Minuten. Die erhobenen Messdaten werden über ein eingerichtetes Talsperrenleitsystem im Betriebsgebäude des Talsperrenwärters und in der Betreiberzentrale des WVER bereitgestellt. Darüber hinaus ist ein automatisches Alarmsystem auf Basis voreingestellter Schwellenwerte



installiert. Die Auslösung des Alarms erfolgt im Fall der Schwellenwertüberschreitung sowohl an der Talsperre als auch in der Betreiberzentrale des WVER in Düren.

Eine wesentliche Grundlage des Überwachungskonzepts für die Rurtalsperre ist letztlich aber der Bereitschaftsdienst des verantwortlichen Talsperrenwärters, was theoretisch zu dessen ständigen Verfügbarkeit führt. Der Aufgabenumfang des Überwachungspersonals umfasst dabei die tägliche Begehung des Kontrollgangs und der gesamten Anlage. In Bezug auf das der Betrachtung zu Grunde liegende potentielle Versagensszenario der inneren Erosion werden sowohl die im Kontrollgang akkumulierten Sickerwassermengen im tiefsten Punkt des Kontrollgangs (Pumpensumpf) per Hand gemessen als auch die gesamte Anlage visuell hinsichtlich einer Durchfeuchtung des Dammkörpers untersucht. Die automatisch erhobenen und in das Betriebsgebäude vor Ort übertragenen Daten werden täglich überprüft, interpretiert und offensichtliche Messwertausreißer auf Grundlage der eigenen Erfahrung sowie in Abgleich mit vorliegenden Referenzmessungen korrigiert. Fortbildungen und Notfallübungen werden regelmäßig durchgeführt. Per Dienstanweisung des WVER sind die Aufgaben des Überwachungspersonals festgeschrieben und es ist festgelegt, dass durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse zu dokumentieren sind.

## **4 Analysemethodik**

### **4.1 Überwachung im Versagensmechanismus der inneren Erosion**

Moderne Sicherheitskonzepte für technische Anlagen und Systeme sind vermehrt risikobasiert. Die Bestimmung von Versagenswahrscheinlichkeiten als ein wesentliches Element von Risikobetrachtungen erfolgt strukturiert durch eine Abbildung von Versagensmechanismen über eine ereignishierarchische Zusammenführung diskreter Ereignisse in Ereignisablaufdiagrammen, Fehlerbäumen oder vergleichbaren Methoden der Logik [Hartford & Baecher, 2004]. Eine erfolgreiche Stauanlagenüberwachung kann in diese Versagensmechanismen eingreifen und dazu führen, dass gegebenenfalls rechtzeitige Maßnahmen zur vollständigen Abwendung eines Versagens, zur Verlängerung des für Notfallmaßnahmen zur Verfügung stehenden Zeitfensters und zur Minderung der Konsequenzen ergriffen werden können. Hierfür muss zum einen eine rechtzeitige Erfassung von Mess- und Beobachtungsdaten erfolgen, nachfolgend mit „Datenerhebung“ beschrieben. Darüber hinaus ist es erforderlich, dass diese Daten rechtzeitig und korrekt interpretiert werden und



an zuständige Stellen weitergeleitet werden. Nachfolgend wird dieser Schritt mit „Detektion“ bezeichnet.

Zur Visualisierung und logischen Verknüpfung der einzelnen Schritte der Datenerhebung und der Detektion einer Anomalie bzw. eines unerwünschten Zustands eignen sich im gegebenen Zusammenhang Fehlerbäume, die in den Ereignisablauf eines Versagens integriert werden. In Abbildung 4 ist die Einbindung der Aspekte Datenerhebung und Detektion schematisch in einen Ereignisablauf dargestellt.

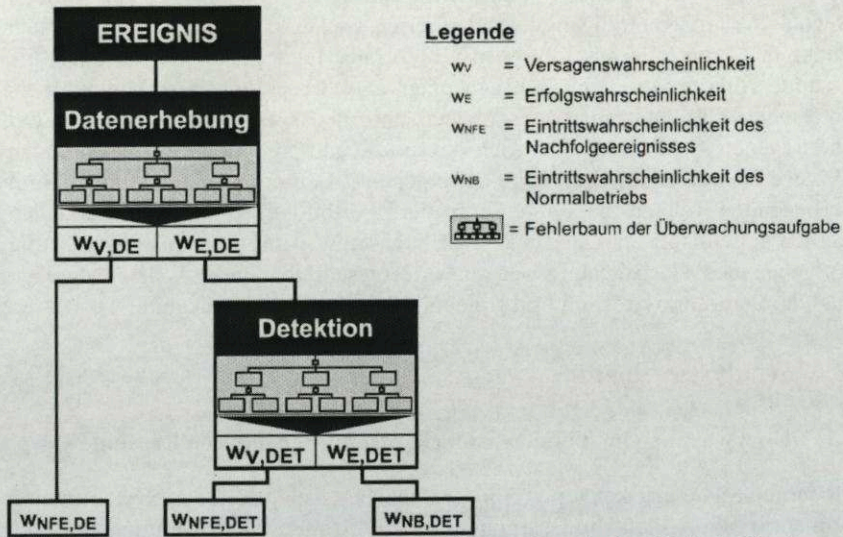


Abbildung 4: Einbindung von Elementen der Überwachung in einen Ereignisablauf

Im gegebenen Kontext wird, wie einleitend genannt, der Versagensmechanismus „Durchströmen eines Dammkörpers“ betrachtet. Hierfür kann, beispielhaft und der Vollständigkeit halber, der folgende hypothetische Versagensablauf angenommen werden:

Ungewöhnliche lokale Setzungen → Risse im Dammkörper → Beschädigung der Dichtung → Durchströmung des Dammkörpers → Innere Erosion → Röhrenbildung → Wasseraustritt/Leckagen an der Luftseite → Breschenbildung → Dambruch

Die Überwachung greift in dieser Ereigniskette nachgeschaltet der Durchströmung des Dammkörpers ein. Eine erfolgreiche Erhebung von Daten



zum Sickerwasseranfall und eine daran anschließende Detektion der Anomalien kann bei rechtzeitiger und erfolgreicher Einleitung von Gegenmaßnahmen theoretisch zu einer Vermeidung der Inneren Erosion bzw. Unterbindung einer progressiven Erosionsröhrenbildung führen. Der Einfachheit halber wird der positive Ausgang von Datenerhebung und Detektion in Abbildung 4 mit „Normalbetrieb“ umschrieben, da eingeleitete Maßnahmen und deren Erfolgswahrscheinlichkeiten nicht Bestandteil der Betrachtung sind. Ebenso ist der weitere Verlauf eines möglichen Versagens an dieser Stelle nicht von Relevanz.

## 4.2 Überwachungskonzepte und Fehlerbäume

Die Vielfalt an Überwachungskonzepten für Talsperren lässt sich, unter anderem in Anlehnung an die in Kapitel 2 dargestellten Ergebnisse, durch drei wesentliche Grundtypen allgemein charakterisieren. Diese können gegebenenfalls modifiziert und spezifischen Randbedingungen angepasst werden:

- **Automatisierte Überwachung:** Die Überwachung ist maximal automatisiert. Quasi-kontinuierlich erfasste Messdaten (Datenerhebung) werden ausschließlich automatisch per Datenfernübertragung (DFÜ) zur Betreiberzentrale gesendet. Die Detektion basiert auf einer automatischen Auswertung eingehender Daten in entsprechenden Auswerteroutinen und Modellen. Ein schwellenwertbasiertes Alarmsystem trägt gegebenenfalls zur Detektion bei.
- **Personelle Überwachung:** Die Überwachung erfolgt durch an der Talsperre tätiges Personal. Die Datenerhebung erfolgt durch Handmessung und durch visuelle Kontrollen. Die Detektion erfolgt vor Ort durch Vergleich mit Messwertzeitreihen und Schwellenwerten auf Grundlage von Erfahrung und Ausbildung.
- **Hybride personelle/automatisierte Überwachung:** Maßgebendes Element ist das Überwachungspersonal an der Talsperre. Datenerhebung und Detektion werden durch technische Maßnahmen ergänzt. Von Seiten des Personals erfolgt ein Messwertabgleich von automatisch und manuell erhobenen Daten. Automatische Alarmer können ebenfalls ergänzend eingebunden werden. Dieser Fall ist entsprechend Kapitel 2 repräsentativ für einen Großteil der erfassten deutschen Talsperren.



Drei Aspekte beeinflussen die Versagenswahrscheinlichkeit einer automatisierten Datenerhebung maßgeblich:

- Wahrscheinlichkeit des Ausfalls der Stromversorgung (Primärstrom- und Notstromversorgung)
- Wahrscheinlichkeit, dass das zu beobachtende Ereignis räumlich nicht im durch Messgeräte abgedeckten Bereich liegt, d.h. messtechnisch nicht erfassbar ist
- Technische Ausfallwahrscheinlichkeit der Messgeräte.

Die Wahrscheinlichkeit der korrekten Detektion einer gegebenenfalls kritischen Entwicklung hängt im Rahmen der automatisierten Überwachung von Fehlerwahrscheinlichkeiten in den folgenden Punkten ab:

- Bereitstellung eines korrekten Messwerts (Messungenauigkeiten, Messfehler, Störeinflüsse)
- Datenfernübertragung zur Betreiberzentrale
- Funktionstüchtigkeit gegebenenfalls installierter Alarmsysteme. Die Zuverlässigkeit derartiger Systeme hängt wiederum von der Zuverlässigkeit bzw. Störanfälligkeit der eingesetzten technischen Bauteile sowie der Wahrscheinlichkeit eines Stromausfalls ab
- Einstellung der Alarmschwellen auf Grundlage von Berechnungen oder Erfahrungen
- Stromversorgung in der Betreiberzentrale
- Rechtzeitige, d.h. zeitnah zum Auftreten und Ablaufen einer kritischen Entwicklung erfolgende Auswertung vorliegender Daten.

Durch logische Verknüpfung der Versagens- und Fehlerwahrscheinlichkeiten der diskreten Einzelfaktoren innerhalb eines Ablaufs lassen sich Erfolgs- und Ausfallwahrscheinlichkeiten der Datenerhebung und Detektion rechnerisch bestimmen. Beispielsweise Ebeling (2003), Fenton & Littlewood (1990) und Kalenda (1990) liefern wahrscheinlichkeitsbasierte Grundlagen zur Zuverlässigkeit technischer Systeme. Darüber hinaus ergeben sich Annahmen für oben beschriebene Wahrscheinlichkeiten anhand der Auswertung von Seiten von Talsperrenbetreibern gemachter Erfahrungen.



Abbildung 5 zeigt einen Fehlerbaum zur Analyse einer hybriden personellen/automatisierten Datenerhebung. Das grau hinterlegte Element zeigt dabei die Anpassung bzw. Ergänzung einer rein personellen Überwachung (lediglich die weißen Elemente) um Aspekte der automatisierten Datenerhebung. Die Versagenswahrscheinlichkeit der automatisierten Datenerhebung erfolgt dabei in Abhängigkeit vorgenannter Einflussparameter in separaten Fehlerbetrachtungen. Ersichtlich ist die definitionsgemäß enge Verbindung zwischen einer personellen und einer hybriden personellen/automatisierten Überwachung, in der die Technik, der Struktur des Großteils der Überwachung deutscher Talsperren entsprechend, ergänzende Funktionen besitzt.

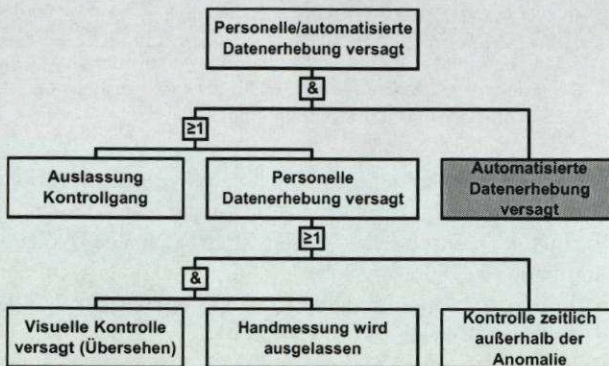
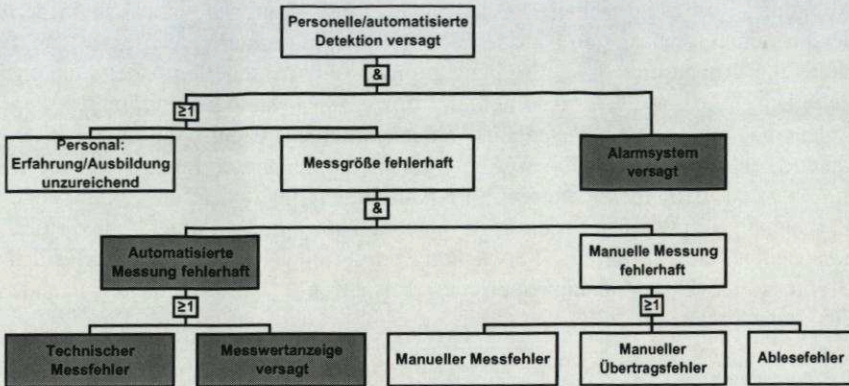


Abbildung 5: Fehlerbaum für das Versagen der hybriden personellen/automatisierten Datenerhebung (& = UND-Verknüpfung;  $\geq 1$  = ODER-Verknüpfung)

Der Fehlerbaum für die durch technische Maßnahmen unterstützte personelle Detektion von kritischen Messwerten und Prozessen ist in Abbildung 6 dargestellt. Ausgehend von einer erfolgten Datenerhebung sind sowohl der Datentransfer als auch die Interpretation der Daten für eine erfolgreiche Detektion und somit rechtzeitige Einleitung von Gegenmaßnahmen von Bedeutung. Automatische Alarmsysteme können die Detektion unterstützen. An der Rurtalsperre liegt ein derartiges Alarmsystem, ebenso wie die Übertragung automatisiert erhobener Messdaten zum Betriebsgebäude des Talsperrenwärters (vgl. Kapitel 3), vor.





**Abbildung 6:** Fehlerbaum für das Versagen der hybriden personellen/automatisierten Detektion eines eventuell kritischen Sickerwasseranstiegs (& = UND-Verknüpfung;  $\geq 1$  = ODER-Verknüpfung)

Die Versagens- und Fehlerwahrscheinlichkeiten einzelner Schritte bzw. Elemente der Fehlerbäume lassen sich aus ausführlichen Ausarbeitungen zum Thema des Einflusses menschlicher Fehler auf technische Abläufe ableiten. Swain & Guttman (1983) analysieren in diesem Zusammenhang die Fehlerwahrscheinlichkeit menschlicher Handlungen im Rahmen der Überwachung und des Betriebs von Kernkraftwerken in Abhängigkeit von vielseitigen Einflussparametern. Hinzen (1993) führt eine ähnliche und sehr ausführliche Analyse für die Sicherheit der Eisenbahn durch. Einflussparameter sind beispielsweise psychologisch oder physiologisch bedingte Fehlerraten des Menschen bei definierten Tätigkeiten, Ausbildungs- und Trainingsstand des Personals, Stressniveau, Wiederholraten und Automatismen innerhalb der Tätigkeit, Eintönigkeit oder Abwechslungsreichtum der Handgriffe, interne Kontrollmechanismen etc. Eine Übertragbarkeit auf die vorliegenden Rahmenbedingungen ist konzeptionell möglich und im Bereich der Sicherheit von Talsperren und wasserbaulichen Anlagen beispielsweise von Kalenda (1990) und Idel (1988) behandelt.

## 5 Analyse des Überwachungskonzepts der Rurtalsperre

Die in Abbildung 5 und Abbildung 6 dargestellten Fehlerbäume beinhalten die wesentlichen Einflussparameter auf die Überwachung der Rurtalsperre. Die Bewertung der Erfolgs- oder Versagenswahrscheinlichkeit der Überwachung innerhalb eines definierten Versagensablaufs (Abbildung 4) basiert letztlich auf der Analyse der Schnittstelle zwischen sichtbarer bzw. detektierbarer



Systemreaktion und den Erhebungs- und Detektionsanstrengungen. Diese Schnittstelle ist maßgeblich durch die räumliche und zeitliche Dimension des Versagensablaufs charakterisiert. Vorliegend wird davon ausgegangen, dass ein kritischer Anstieg der Sickerwassermengen spätestens bei der visuellen Kontrolle auf der luftseitigen Böschung detektiert werden kann. Fell et al. (2003) stellen theoretische Überlegungen an bzw. analysieren Dammversagensereignisse infolge progressiven Pippings mit der Zielsetzung, Aussagen zur Entwicklungsdauer eines Versagens treffen zu können. Die ermittelten Zeitspannen variieren dabei stark zwischen weniger als drei Stunden und mehreren Tagen. Für die Rurtalsperre, bestehend sowohl in Teilen aus feinkörnigen und in Teilen aus grobkörnigen Schüttkomponenten, wird vorliegend eine Zeitspanne von 16 Stunden angenommen. Hieraus ergibt sich die Wahrscheinlichkeit, dass eine tägliche Kontrolle außerhalb des Versagensereignisses liegt, zu 0,33.

Tabelle 2 fasst die Grundannahmen zur Abschätzung der Fehler- und Versagenswahrscheinlichkeiten der in Abbildung 5 (Datenerhebung) logisch verknüpften Elemente beispielhaft zusammen.

**Tabelle 2:** Grundannahmen für die Wahrscheinlichkeitsberechnung bei hybrider personeller/automatisierter Datenerhebung

Versagenselement	Flankierende Annahmen	Wert
Kontrolle außerhalb der Anomalie	Versagensdauer 16 h tägliche Kontrolle	$3,3 \cdot 10^{-1}$
Handmessung wird ausgelassen	„trotz schriftlicher Anweisung“	$3,0 \cdot 10^{-3}$
Visuelle Kontrolle versagt (Übersehen)	„Unterforderung“ des Personals „Immer wiederkehrende Tätigkeit“ „Nur Erfahrung mit sicherer Anlage“	$5,1 \cdot 10^{-3}$
Auslassung Kontrollgang	Einmal in zwei Jahren	$1,4 \cdot 10^{-3}$
Automatisierte Datenerhebung versagt	Stromversorgung 99,99% verfügbar Ereignis liegt im Messbereich (Ausfallwahrscheinlichkeit Messgeräte aus Überwachungsdatenanalyse)	$1,6 \cdot 10^{-5}$

Für die Bestimmung der Versagenswahrscheinlichkeiten der hybriden personellen/automatisierten Detektion (entsprechend Abbildung 6) werden entsprechende Annahmen für die relevanten Einflussgrößen getroffen.

Die resultierenden Ergebnisse der Wahrscheinlichkeitsbetrachtungen für die Sickerwasserüberwachung der Rurtalsperre sind in Tabelle 3 dargestellt. Diesen gegenüber gestellt sind Berechnungen für ein hypothetisches rein automatisiertes (vgl. Erläuterung in Kapitel 4.3) und ein rein personelles



Überwachungskonzept für die Rurtalsperre. Letzteres basiert auf den in Abbildung 5 (Datenerhebung) und Abbildung 6 (Detektion) dargestellten Zusammenhängen unter Auslassung der dunkelgrau hinterlegten Elemente der unterstützenden Automatisierung. Die Überwachung schlägt insgesamt fehl, wenn entweder die Datenerhebung oder die Detektion versagt.

**Tabelle 3:** Ergebnisse der Betrachtungen (Versagenswahrscheinlichkeiten)

Überwachungskonzept	Datenerhebung	Detektion	Datenerhebung oder Detektion
Hybrid personell/automatisiert (Rurtalsperre)	$5,4 \cdot 10^{-6}$	$1,5 \cdot 10^{-8}$	$5,4 \cdot 10^{-6}$
Automatisierte Überwachung	$1,6 \cdot 10^{-5}$	$5,4 \cdot 10^{-6}$	$2,2 \cdot 10^{-5}$
Personelle Überwachung	$3,3 \cdot 10^{-1}$	$2,1 \cdot 10^{-3}$	$3,4 \cdot 10^{-1}$

Es zeigt sich, dass die hybride personelle/automatisierte Überwachung den anderen Überwachungskonzepten unter den gegebenen Randbedingungen überlegen ist. Dieses Ergebnis überrascht nicht, resultiert es doch aus der Redundanz erzeugenden Überlagerung von zwei einzelnen Überwachungskonzepten. Ein wesentliches Ergebnis liefert allerdings der relative Vergleich der Konzepte untereinander. So weist die hybride personelle/automatisierte Überwachung gegenüber der personellen Überwachung eine um den Faktor 62.000 geringere, gegenüber der rein automatisierten Überwachung eine noch um den Faktor 4 geringere Versagenswahrscheinlichkeit auf.

Parametervariationen an den aufgestellten Fehlerbäumen zeigen vor dem Hintergrund des gewählten Szenarios und der definierten Randbedingungen rechnerische Möglichkeiten zur Verbesserung der Zuverlässigkeit der Überwachung. In diesem Zusammenhang zu nennen ist die Rolle der Erfahrung und Ausbildung des eingesetzten und die Daten interpretierenden Überwachungspersonals. Somit kann eine weitere Verbesserung betrachteter Konzepte anhand des Analysewerkzeugs erfolgen.

## 6 Fazit

Ziel der Betrachtungen war es, anhand einer zu entwickelnden Methodik die Zuverlässigkeit bzw. Versagenswahrscheinlichkeit von Konzepten zur Stauanlagenüberwachung, im vorliegenden Fall der Rurtalsperre, zu bewerten. Vor dem Hintergrund von Risikobetrachtungen bieten sich Analyseverfahren an, die auf der logischen Beschreibung von Prozessabläufen einerseits sowie der quantitativen Bestimmung von Wahrscheinlichkeiten andererseits eine



objektive und für vergleichende Betrachtungen geeignete Bewertungsgrundlage schaffen. Anhand einer Fehlerbaumanalyse kann dieser Schritt, wie gezeigt, angepasst an spezifische Überwachungskonzepte durchgeführt werden.

Am Beispiel der Rurtalsperre wird deutlich, in welchem Maße das Redundanz erzeugende Zusammenspiel von Überwachungsautomatik und personellen Maßnahmen gegenüber rein personellen und auch gegenüber automatisierten Konzepten zu einer Erhöhung der Zuverlässigkeit der Überwachung von Stauanlagen führen kann. Als wichtig zeigen sich dabei auch die Fähigkeiten des eingesetzten Überwachungspersonals. Vor allem durch eine Erhöhung des Erfahrungsschatzes sowie Aus- und Fortbildungen kann demnach eine Zuverlässigkeitssteigerung von Überwachungsmaßnahmen erreicht werden.

Es bleibt festzuhalten, dass die Erfolgswahrscheinlichkeit einer Überwachung unmittelbar von der zeitlichen Entwicklung eines kritischen Prozesses abhängt. Dabei steigt mit zunehmender Geschwindigkeit eines Versagens die Effizienz der rein automatisierten Überwachung für die Datenerhebung und Detektion im Vergleich zur personellen und auch zur hybriden personellen/automatisierten Überwachung stark an. Für derartige Versagensabläufe ist allerdings die Erfolgswahrscheinlichkeit eingeleiteter Notfall- bzw. Gegenmaßnahmen im Vergleich zu derjenigen bei Vorliegen längerer Vorwarnzeiten von vorne herein eher gering.

Ein besonderer Dank gilt den 16 befragten Talsperrenbetreibern, die aufgrund ihrer spontanen Bereitschaft zur Mithilfe einen interessanten Einblick in den Status der Talsperrenüberwachung in Deutschland ermöglicht haben.

## 7 Literatur

- DIN 19700 (2004): Stauanlagen. Ausgabe: 2004-07. Berlin: Beuth (Deutsche Norm / DIN, Deutsches Institut für Normung; 19700).
- DVWK 222 (1991): Meß- und Kontrolleinrichtungen zur Überprüfung der Standsicherheit von Staumauern und Staudämmen: DK 627.82.04 Staudamm; DK 624.058 Standsicherheit. Hamburg u.a.: Parey (DVWK-Merkblätter zur Wasserwirtschaft; 222). ISBN 3-490-32297-5
- Ebeling, H.-J. (2003): Störanalysen tragen zur Qualität der Stromversorgung bei. Pressegespräch zum VDN-Fachkongress "Netztechnik"; Berlin: Verband der Netzbetreiber (VDN) <http://www.vdn-berlin.de/kabeltagung2003.asp> [24.08.2004]
- Fell, R.; Wan, C. F.; Cyganiewicz, J.; Foster, M. (2003): Time for Development of Internal Erosion and Piping in Embankment Dams. In: Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, Vol. 129, No. 4; April 1, 2003.
- Fenton, N.; Littlewood, B. (1990): Software Reliability and Metrics. Essex [et.al.]: Elsevier Science Publishers LTD.



- Hartford, D.N.D.; Baecher, G.B. (2004): Risk and Uncertainty in Dam Safety. London, GB: Thomas Telford. - ISBN 0-7277-3270-6
- Hinzen, A. (1993): Der Einfluss des menschlichen Fehlers auf die Sicherheit der Eisenbahn. Aachen: Institut und Lehrstuhl für Schienenbahnwesen und Verkehrswirtschaft der RWTH, Dissertation. ISSN 0176-9359
- Idel, K.H. (1988): Sicherheitsuntersuchungen auf probabilistischer Grundlage für Staudämme. Abschlussbericht. Essen: Deutsche Gesellschaft für Erd- und Grundbau.
- Kalenda, R. (1990): Zur Quantifizierung der hydraulischen Versagenswahrscheinlichkeit beweglicher Wehre. München: Frank (Technische Universität München / Lehrstuhl für Wasserbau und Wassermengenwirtschaft im Institut für Bauingenieurwesen IV: Mitteilungen; 62)). - ISSN 0939-0308
- Swain, A.D. & Guttman, H.E. (1983): Handbook of Human Reliability Analysis with Emphasis on Nuclear Power Plant Applications; NUREG/CR-1278-F, Final Report. Albuquerque: Sandia National Laboratories

## Autoren:

Dipl.-Ing. Nils Peter Huber

Institut für Wasserbau und  
Wasserwirtschaft  
RWTH Aachen  
Mies-van-der-Rohe-Straße 1  
D 52056 Aachen

Tel.: +49 - 241 - 8025924  
Fax: +49 - 351 - 8022348  
E-Mail: [huber@iww.rwth-aachen.de](mailto:huber@iww.rwth-aachen.de)

Dipl.-Ing. Herbert Polczyk

Unternehmensbereich Talsperren  
Wasserverband Eifel-Rur (WVER)  
Eisenbahnstraße 5  
D 52353 Düren

Tel.: +49 - 2421 - 4941350  
Fax: +49 - 2421 - 4941359  
E-Mail: [polczyk@wver.de](mailto:polczyk@wver.de)

Dipl.-Ing. Alexander Grote

Institut für Wasserbau und  
Wasserwirtschaft  
RWTH Aachen  
Mies-van-der-Rohe-Straße 1  
D 52056 Aachen

Tel.: +49 - 241 - 8025924  
Fax: +49 - 351 - 8022348  
Email: [alex@iwwl.rwth-aachen.de](mailto:alex@iwwl.rwth-aachen.de)

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Jürgen Köngeter

Institut für Wasserbau und  
Wasserwirtschaft  
RWTH Aachen  
Mies-van-der-Rohe-Straße 1  
D 52056 Aachen

Tel.: +49 - 241 - 8025262  
Fax: +49 - 241 - 8022348  
Email: [koengeter@iww.rwth-aachen.de](mailto:koengeter@iww.rwth-aachen.de)