

Die Versagensbaumanalyse bei der zuverlässigkeitstechnischen Untersuchung von bestehenden Staumauern

Failure Tree Development for a Reliability Oriented Investigation of Existing Gravity Dams

Kurzfassung / Abstract

Die Aufstellung von Versagensbäumen erlaubt für ausgewählte Gefährdungsszenarien eine systematische Analyse der möglichen Wege zum Versagen bestehender Staumauern. Die Berechnung der Versagenswahrscheinlichkeit unter Berücksichtigung aller zur Verfügung stehenden Informationen mit der sogenannten Zuverlässigkeitsmethode 1. Ordnung läßt den kritischen Weg zum Versagen des Bauwerks und somit mögliche Schwachpunkte der Anlage, die vorrangig bei einer Sanierung berücksichtigt werden müßten, erkennen. Die methodischen Erörterungen werden an einer Beispielmauer illustriert.

Failure tree development with a set of hazard scenarios allows a systematic analysis of possible paths to failure for an existing gravity dam. Reliability calculation including all available information can be done by first order reliability method (FORM) and the critical path to failure can be determined in order to detect weak components in the system. The methodology is illustrated at an example dam.

1 Einführung

Um die Jahrhundertwende wurde eine Reihe von Staumauern aus Bruchsteinmauerwerk mit wasserseitiger Abdichtung und Drainage des Mauerkörpers gebaut. Bei mehreren Mauern wurde die Abdichtung im Laufe der Zeit unwirksam, und die Drainagen versinterten. Damit muß zumindest mit teilweiser Beaufschlagung des Mauerkerne durch Poren- und Sohlwasserdruck gerechnet werden. Aus diesem Anlaß durchgeführte Nachrechnungen solcher Mauern zeigten, daß die nach unseren heutigen Vorschriften (z.B. DIN 19700) erforderlichen Sicherheitsanforderungen nicht mehr erfüllt werden [1, 2]. Als Folge muß mit hohem Aufwand saniert oder das Stauziel merklich abgesenkt werden.

Dabei erhebt sich die Frage, ob die Konzepte und Zahlenwerte der gängigen Nachweisregeln, etwa in DIN 19700, für bestehende Anlagen, für die ja viel mehr Informationen vorliegen, als bei der Festsetzung dieser Nachweisregeln unterstellt werden konnte, stets unverändert übernommen werden müssen.

Im folgenden soll mit Hilfe der Zuverlässigkeitstheorie für Bauwerke eine Methodik beispielhaft entwickelt werden, mit der der tatsächliche Sicherheitsgrad solcher Mauern quantifiziert werden kann. Damit können die sicherheitsrelevanten Auswirkungen von Sanierungsmaßnahmen bewertet und gegebenenfalls „sichere“ Betriebsregeln für die Stauanlage entworfen werden.

2 Gefährdungsszenarien und Versagensbaumanalyse

Stauanlagen sind wie viele andere technische Systeme redundante Systeme. Unter Redundanz wird die Eigenschaft eines Systems verstanden, daß zum Versagen das Eintreten mehrerer ungünstiger Ereignisse notwendig ist. Bei diesen Ereignissen kann es sich um das Versagen von physikalischen Systemkomponenten handeln. Häufig müssen aber auch andere Arten von Komponenten, z.B. der Mensch mit seinen unter Umständen fehlerhaften Handlungen, einbezogen wer-

den. Diese Folge von Ereignissen ist durch das logische „und“ verknüpft. Eine solche zum Versagen führende Ereigniskette könnte im Fall einer Staumauer z.B. die folgenden Ereignisse enthalten: Eintreten einer Hochwassersituation, Hochwasserentlastungsanlage verlegt, Grundablaß nicht zu öffnen, Mauer versagt. Selbst bei einfachen Systemen gibt es in der Regel eine Vielzahl solcher Ereigniskombinationen, die zum Versagen führen können – wobei einige dieser Kombinationen eine ungleich höhere Auftretswahrscheinlichkeit haben als der Rest. Auf diese wichtigen Kombinationen konzentriert sich zweckmäßigerweise eine Zuverlässigkeitsanalyse. Für das Gesamtversagensereignis sind schließlich alle Ereignisketten zum Versagen zu vereinigen, d.h. das Gesamtversagensereignis setzt sich aus vielen durch das logische „oder“ verknüpften Einzelversagensereignissen zusammen.

Ein in anderen Technikbereichen eingeführter und auch hier zweckmäßiger Ansatz erfordert zunächst die Definition einiger für das Mauerversagen besonders kritischer Szenarien (Gefährdungsbilder), die z.B. durch das auslösende Ereignis gekennzeichnet werden [3]. Für die folgenden Erörterungen seien etwa zwei extreme Belastungsereignisse ausgewählt, d.h. extremes Hochwasser (HX) zusammen mit „normalem“ Eisdruck (E) und extremer Eisdruck (XE) zusammen mit normalem Hochwasser (H). Es sei unterstellt, daß diese Ereignisse, d.h. das Leitereignis und das begleitende Ereignis zusammen auftreten können. Das erste Belastungsereignis sei mit $(HX \wedge E)$, das zweite mit $(EX \wedge H)$ bezeichnet. Hier und im folgenden steht das Zeichen „ \wedge “ für das logische „und“ und „ \cap “ für den mengenmäßigen Durchschnitt. Das Zeichen „ \vee “ steht für das logische „oder“ und „ \cup “ für die mengenmäßige Vereinigung. Die logische Analyse des Gefährdungsszenariums kann dann mit Hilfe von Ereignisbäumen, die die möglichen Pfade zum Versagen des Systems in diskrete, aufeinanderfolgende Ereignisse auflösen, erfolgen. Im vorliegenden Fall muß für ein Systemversagen nach Verlust der wasserseitigen Dichtungen zunächst die Zugfestigkeit (Z) am wasserseitigen Querschnittsrand überschritten werden, was zu horizontalen Rissen in der Mauer führt. Bei den Nachweisen der Standsicherheit wird die Zugfestigkeit i.d.R. zu Null gesetzt. Der Verlust der Dichtungen wird aufgrund der Beobachtungen als sicheres Ereignis angenommen und muß daher in der Untersuchung der bestehenden Anlage stets berücksichtigt werden. Nach Entstehen von unter Wasserdruck stehenden Rissen kann Versagen entweder durch Überschreiten der Druckfestigkeit (D) im luftseitigen Restquerschnitt und darauffolgendes Gleiten in der entsprechenden horizontalen Mauerfuge oder durch Kippen (K) der Mauer um die Schwerachse des verbleibenden Querschnitts erfolgen.

Wir betrachten das Szenarium $(HX \wedge E)$ genauer und geben die folgenden baulichen Gegebenheiten vor. Die Stauanlage besitzt einen Grundablaß und einen Betriebsablaß mit jeweils einer bestimmten Leistungsfähigkeit. Außerdem ist eine selbsttätige Hochwasserentlastungsanlage vorhanden, die Hochwasser gefahrlos abführen kann, wenn sie voll funktionsfähig ist. Beim Betrieb der Entlastungen auftretende Unregelmäßigkeiten (begleitende Gefahren) erhöhen den Wasserstand in der Stauanlage und damit die Belastung des Mauerquerschnitts. Gleichzeitiges Auftreten dieser Begleitgefahren macht das Versagen der Mauer wahrscheinlicher. Es muß z.B. damit gerech-

net werden, daß die Hochwasserentlastungsanlage durch Baumstämme oder Eis in unterschiedlichem Grad verlegt ist (HV) (Hochwasserentlastungsanlage verlegt), oder, daß Grundablaß und/oder Betriebsablaß nicht (GA) (BA) oder nicht sofort (AR) (Ablässe lassen sich nicht rechtzeitig öffnen) bei Bedarf geöffnet werden oder geöffnet werden können. (A) steht hier für das komplementäre Ereignis von (A). Im ersten Fall erfassen wir einen Bedienungsfehler, während die zweite Möglichkeit in Anlehnung an aufgetretene Szenarien verschiedene Ursachen haben kann. Mit den oben eingeführten Bezeichnungen für die Leit- und Begleitereignisse ergibt sich der in Bild 1 dargestellte Versagensbaum, d.h. ein Ereignisbaum,

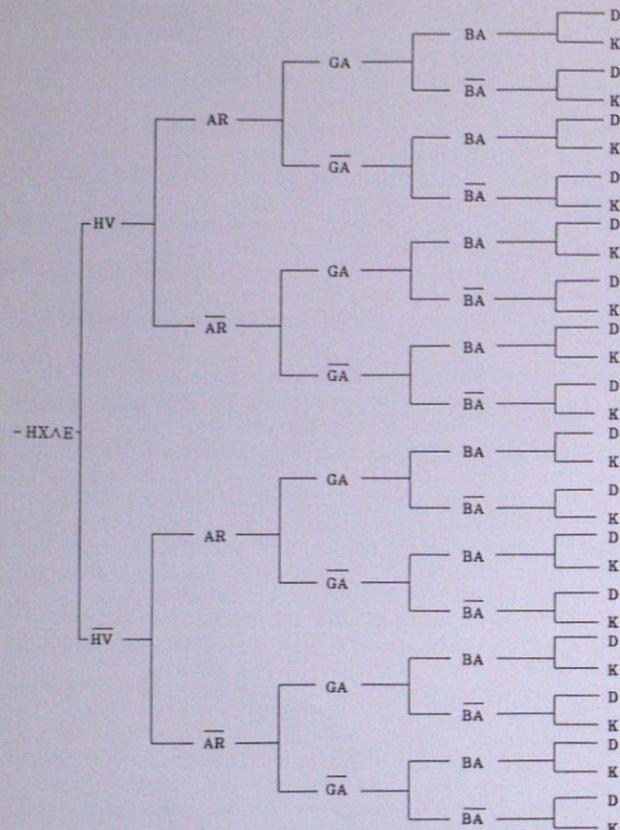


Bild 1: Versagensbaum mit den Ereignissen (HV), (AR), (GA) und (BA)

bei dem nur die zum Versagen führenden Äste aufgenommen sind.

Eine probabilistische Analyse von Versagensbäumen erfordert die Quantifizierung der unsicheren Größen, die Berechnung der Eintrittswahrscheinlichkeiten der Einzelereignisse und schließlich die Berechnung der Wahrscheinlichkeiten der Schnittereignisse, d.h. der Durchschnitte der Ereignisse entlang eines Astes im Versagensbaum. Schwierig wird die Berechnung, wenn die Einzelereignisse nicht unabhängig voneinander sind. Der zu einem Hochwasserereignis gehörige maximale Stauspiegel hängt z.B. von der Stauspiegellhöhe vor dem Hochwasserereignis und dem Inhalt der Hochwasserwelle ab. Die Leistungsfähigkeit der Entlastungsanlagen ist wiederum abhängig von der Stauspiegellhöhe. Umgekehrt bestimmt die Verfügbarkeit der Entlastungsanlage(n) den Abfluß und damit auch den maximalen Stauspiegel. Besonders schwierig sind Abhängigkeiten dann zu modellieren, wenn menschliches Handeln als Systemkomponente hinzukommt, wenn z.B. die selbsttätige Hochwasserentlastungsanlage nicht routinemäßig von etwaigen Störkörpern befreit und der Grundablaß

nicht regelmäßig auf seine Funktionsfähigkeit überprüft wurden.

3 Grundzüge der probabilistischen Analyse von Versagensbäumen

Es ist hier nicht möglich, die Theorie der Berechnung von Versagensbäumen im Einzelnen auszuführen. Hierzu muß auf die reichhaltige Literatur verwiesen werden. Im folgenden wird die sogenannte Zuverlässigkeitsmethode 1. Ordnung (FORM) verwendet, die nachstehend skizziert werden soll.

Gegeben sei ein n-dimensionaler Zufallsvektor \underline{X} mit bekannter, stetig differenzierbarer Verteilungsfunktion $F_{\underline{X}}(\underline{x})$. $\underline{X} = (X_1, \dots, X_n)$ umfaßt z.B. den Stauspiegel vor Eintreffen der Hochwasserwelle, ihren Inhalt, die Verlegetiefe der Hochwasserentlastungsanlage, die Festigkeiten des Bruchsteinmauerwerks und andere unsichere Größen. Jede Komponente im Versagensbaum sei durch eine wenigstens einmal lokal differenzierbare Zustandsfunktion $g_i(\underline{x})$ gekennzeichnet und zwar dergestalt, daß diese Funktion negativ ist, wenn der Versagensfall beschrieben werden soll, ferner gleich Null ist, wenn der sogenannte Grenzzustand beschrieben wird und schließlich positiv ist, wenn sich die Komponente in arbeitsfähigem, intaktem Zustand befindet. Dann gibt es immer eine Transformation $\underline{X} = \underline{T}(\underline{U})$, wobei \underline{U} ein unabhängiger, standard-normaler Vektor ist [4]. Es gilt dann für die Versagenswahrscheinlichkeit der Komponente in erster Näherung [5]

$$P_{f,i} = P(g_i(\underline{T}(\underline{U})) \leq 0) = P(\underline{\alpha}_i^T \underline{U} \leq \underline{\alpha}_i^T \underline{u}_i^*) \approx \Phi(-\beta_i),$$

worin $\Phi(\cdot)$ die Standardnormalverteilung ist und β der sogenannte (geometrische) Sicherheitsindex, definiert als [5]:

$$\beta = \min \{ \|\underline{u}\| \mid \underline{u} : g(\underline{u}) = 0 \} \quad (3.1)$$

Gleichung (3.1) beruht auf einer Linearisierung von $g(\underline{u}) = 0$ durch

$$l(\underline{u}) = \underline{\alpha}^T \underline{u} + \beta$$

mit

$$\beta = -\underline{\alpha}^T \underline{u}^* = \|\underline{u}^*\| \quad (3.2)$$

und

$$\underline{\alpha} = \frac{\text{grad } g(\underline{u}^*)}{\|\text{grad } g(\underline{u}^*)\|} \quad (3.3)$$

dem normalisierten Gradienten von $g(\underline{u}) = 0$ in $\underline{u} = \underline{u}^*$. Der Punkt \underline{u}^* muß mit Hilfe eines geeigneten Suchalgorithmus gefunden werden (siehe [4]).

Für die Wahrscheinlichkeit der Schnittmenge der auf einem Ast des Versagensbaumes vorkommenden Komponenten gilt näherungsweise [5]

$$P(F_p) = P\left(\bigcap_{k=1}^m V_k\right) \approx P\left(\bigcap_{k=1}^m (\underline{\alpha}_k^T \underline{U} + \beta_k(0))\right) \\ = P\left(\bigcap_{k=1}^m (Z_k - \beta_k)\right) = \Phi_m(-\underline{\beta}; \underline{R}) \leq \min_{k=1}^m (\Phi(-\beta_k)) \quad (3.4)$$

mit $\underline{\beta} = (\beta_1, \dots, \beta_m)^T$ und

$$\underline{R} = (\rho_{ij} = \text{Corr}[Z_i, Z_j] = \underline{\alpha}_i^T \underline{\alpha}_j; i, j = 1, 2, \dots, m)$$

Die Wahrscheinlichkeit der Vereinigungsmenge aller Schnittmengen ergibt schließlich die Systemversagenswahrscheinlichkeit, die durch folgende Schranken abgeschätzt werden kann [5]

ROHRE AUS BETON

QUALITÄT hat jetzt ein neues Zeichen.

FBS ist das neue Zeichen der Fachvereinigung Betonrohre und Stahlbetonrohre.

Es steht für die Leistungsfähigkeit von mehr als 40 Mitgliedsfirmen, die Qualitätsrohre und -schachtfertigteile aus Beton und Stahlbeton fertigen – mit Eigenschaften, die immer den strengen Anforderungen der Normen DIN 4032, DIN 4034 und DIN 4035 entsprechen, meistens jedoch weit darüber liegen. Wissen, Erfahrung und technisches Know how der Fachvereinigung Betonrohre und der Studiengesellschaft Stahlbetonrohre sind jetzt unter dem neuen Zeichen vereint, damit Sie künftig noch besser auf gütegeprüfte Betonrohre und Stahlbetonrohre bauen können.

Wir beraten Sie. Sprechen Sie uns an, wenn Sie wirtschaftliche und dauerhafte Kanäle bauen wollen. Schreiben Sie uns, oder rufen Sie uns einfach an.



Voith Speicherpumpen

Ob Pumpen, Pumpturbinen oder Turbinen aller gängigen Typen, Voith steht weltweit an führender Position. Über 30 000 Maschinen für die Wasserkraftnutzung sind bisher ausgeliefert worden. Auch für Sie steht ein Team von qualifizierten Spezialisten bereit für fundierte technische Beratung, Montage und Service sowohl für neue Projekte als auch für die Modernisierung bereits bestehender Wasserkraftanlagen in Europa und Übersee. Modernste Versuchs- und Produktionsmöglichkeiten mit Computerzentren sichern eine optimale Fertigung und Auftragsabwicklung für alle Ausrüstungen.

Unser Bild zeigt den Schlegeis-Speichersee im Zillertal und die Montage einer der Speicherpumpen – für eine Förderhöhe von max. 800 m und einer Leistungsaufnahme von max. 180 MW – im Krafthaus Häusling der Tauernkraftwerke AG, Salzburg, Österreich.

J. M. Voith AG Postfach 168 A-3100 St. Pölten Tel. (27 42) 625 01 Telex 015 510 JMVSP A	Voith S.A. C. P. 30216 BR-01000 São Paulo-S.P. Tel. 11-841-4111 Telex 01 123 291 Voit BR	Voith Hydro, Inc. 115 Summit Drive Exton, PA 19341 Tel. (215) 363-6611 Telex 240 447
---	--	--



18801 d/1

VOITH

J.M. Voith GmbH
Postfach 1940, D-7920 Heidenheim
Tel. (07321) 37-0, Tx. 714 799-20 VHD

Wenn Leistung zählt...

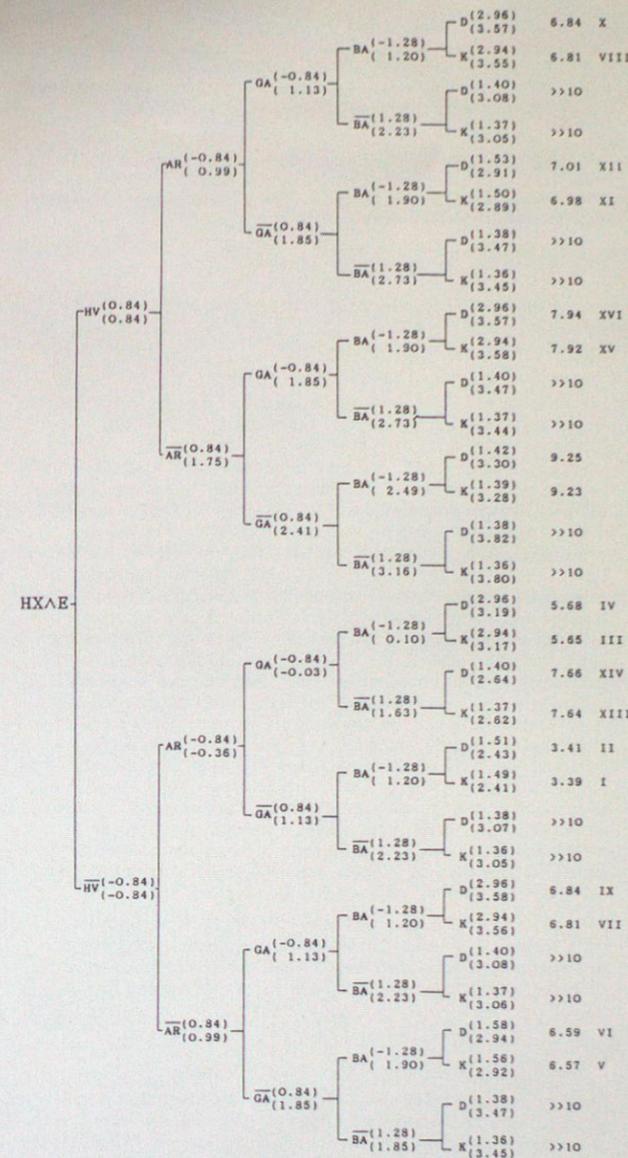


Bild 5: Versagensbaum mit Sicherheitsindices (β -Werte) für Einzereignisse (obere Klammer) und Schnitt entlang des Pfades (untere Klammer) und Rang des jeweiligen Pfades

einem entsprechenden höchsten Stauspiegel überlebt hat, kann ebenfalls berücksichtigt werden. In dem Beispiel wurde angenommen, daß dieser höchste Wasserstand 90 cm unter der Mauerkrone lag (Hochwasserentlastungsanlage angesprungen). Dieses Ereignis soll nach Eintritt des jetzigen Zustandes der Mauer, bei dem der Mauerkörper durchströmt wird, eingetreten sein. Die Wahrscheinlichkeit für das Überlebensereignis ist

$$P(\bar{U}^*) = P(\bar{D}_{\max h} \cap \bar{K}_{\max h}) = 1 - P(D_{\max h} \cup K_{\max h}) = 1 - \Phi(-1,940) = 0,974.$$

Die letzte Spalte in Bild 5 enthält die entsprechenden nach Gl. (4.1) berechneten bedingten Sicherheitsindices. Rechts daneben ist die Ordnung des jeweiligen Pfades nach abnehmender Größe der Wahrscheinlichkeit (steigender Sicherheitsindex β) angegeben. Man erkennt, daß der wahrscheinlichste Pfad zum

Versagen derjenige ist, bei dem nur der Betriebsablaß rechtzeitig geöffnet werden kann und die Hochwasserentlastungsanlage nicht verlegt ist. Die Funktionsfähigkeit des Betriebsablasses ist damit für diese spezielle Anlage von großer Bedeutung. Alle anderen Wege zum Versagen (D) bzw. (K) haben wesentlich geringere Wahrscheinlichkeiten und tragen nur unwesentlich zum Systemversagen bei. Die Systemversagenswahrscheinlichkeit berechnet sich zu $P_{\text{sys}} = |\Phi(-3,40)| \approx 3,4 \cdot 10^{-4}$. Wie man sieht, bringt die Hereinnahme der Kenntnis, daß die Mauer schon ein extremes Ereignis überstanden hat, spürbar mehr Sicherheit.

Eine Berechnung des oben erwähnten zweiten Szenariums (H \wedge EX) läuft ganz analog. Die Versagenswahrscheinlichkeiten sind jedoch wesentlich kleiner, so daß auf eine Wieder-gabe hier verzichtet wird.

6 Stauspiegelabsenkung bzw. Sanierung

Die Versagenswahrscheinlichkeit für ein Bauwerk, dessen Versagen große Folgen für die Allgemeinheit hätte, ist mit $3,4 \cdot 10^{-4}$ ($\beta = 3,4$) in dem Rechenbeispiel zu groß. Dabei erhebt sich zunächst die Frage, welches Sicherheitsniveau und daraus resultierende Teilsicherheitsbeiwerte für eine Sanierung der Anlage angesetzt werden sollten. Zum einen kann der erforderliche Sicherheitsindex in Anlehnung an [6] gewählt werden. Diese Sicherheitsindices wurden durch Kalibrierung an bewährten Bemessungsregeln des Beton- und Stahlbaus gewonnen. Andererseits kommt in Betracht, als Zielwert der Zuverlässigkeit die Versagenswahrscheinlichkeit zu wählen, die sich für die Anlage im „Urzustand“, also bei Annahme einer vollständigen Dichtung an der Wasserseite im Mauer- und Felsbereich, ergeben hätte. Man berechnet den extrem kleinen Wert $P_f = \Phi(-12,7) = 3 \cdot 10^{-37}$. Bei einem solchen Wert stellt sich natürlich die Frage, ob er für den Nachweis der Sicherheit für die zukünftige Lebenszeit noch wirtschaftlich vertretbar ist. Wie eine entsprechende Nachrechnung zeigt, müßte man dazu den Stauspiegel nämlich um 5,5 m von insgesamt 28 m absenken.

Andererseits würde eine Absenkung des Stauspiegels um 2,5 m und die Kenntnis, daß die Mauer das oben beschriebene Hochwasser überlebt hat, zu einem Sicherheitsindex von $\beta = 4,0$ ($P_f = 3 \cdot 10^{-5}$) führen, eine Absenkung um 3,2 m zu $\beta = 5,0$ ($P_f = 3 \cdot 10^{-7}$). Der letztgenannte Wert entspricht ungefähr den Anforderungen für solche Bauwerke in [6].

Stauspiegelabsenkungen sind in der Regel nicht als Dauerlösungen zu betrachten. Es ist deshalb eine Sanierung durchzuführen. Bei der Wahl der entsprechenden baulichen Maßnahme (z.B. Verminderung des Sohlen- und Porenwasserdruckes, Erhöhung der Auflasten) kann die oben beschriebene Methodik sinngemäß angewendet werden. Ziel der Sanierung sollte sein, die Standsicherheit des Bauwerks auf wirtschaftlichem Weg auf Dauer zu gewährleisten. Einen wesentlichen Beitrag zur Standsicherheit leisten dabei Maßnahmen nicht baulicher Art (z.B. häufigere Wartung der Abflüsse und ständige Kontrolle der Hochwasserentlastungsanlage), die ebenfalls im Rahmen dieser Methodik berücksichtigt werden können.

7 Zusammenfassung

Die Aufstellung von Versagensbäumen erlaubt für ausgewählte Gefährdungsszenarien eine systematische Analyse der möglichen Wege zum Versagen bestehender Staumauern. Die Berechnung der Versagenswahrscheinlichkeiten unter Berücksichtigung aller zur Verfügung stehender Informationen mit der sogenannten Zuverlässigkeitsmethode 1. Ordnung läßt den kritischen Weg zum Versagen des Bauwerks und somit mögliche Schwachpunkte der Anlage, die vorrangig bei einer Sanierung berücksichtigt werden müßten, erkennen. Damit lassen sich auch verschiedene Sanierungsvorschläge in einer Kosten-Nutzenrechnung vergleichen.

Die methodischen Erörterungen wurden an einer Beispielmauer illustriert.

Schrifttum

- [1] Spillner, A.: Überlegungen zur Sanierung alter Talsperren. *Wasserwirtschaft* 74 (1984) S. 122 bis 126
- [2] Salveter, G.: Standsicherheitsuntersuchungen zur Sanierung von Gewichtsstaumauern im Rheinischen Schiefergebirge. Vortrag am 7. Nationalen Felsmechanik Symposium, Aachen, 1986
- [3] Schneider, J.: Hazard Scenarios and Structural Design. IABSE SURVEYS S-33/85, IABSE PERIODICA 4/1985, Zürich, 1985
- [4] Hohenbichler, M., R. Rackwitz: Non-Normal Dependent Vectors in Structural Safety. *Journ. of the Eng. Mech. Div., ASCE*, Vol. 107, No. 6, 1981, pp. 1227 bis 1249
- [5] Hohenbichler, M., R. Rackwitz: *First-Order Concepts in System Reliability*. *Struct. Safety*, 1, 3, 1983, pp. 177 bis 188
- [6] DIN: Grundlagen zur Festlegung von Sicherheitsanforderungen für bauliche Anlagen. Berlin, Beuth-Verlag, 1981

Anschrift der Verfasser: Dipl.-Ing. Günther Schall und Dr. Ing. habil. Rüdiger Rackwitz, Lehrstuhl für Massivbau der TU München, Arcisstr. 21, 8000 München 2; Dr.-Ing. Diethelm Linse, Ingenieurbüro Dr. Kupfer, Barerstr. 44, 8000 München 40

Bücherschau/Book Review

Deutsche Forschungsgemeinschaft (Herausgeber K. Lillelund, U. de Haar, H.-J. Elster, L. Karbe, J. Schwoerbel und W. Simonis): *Bioakkumulation in Nahrungsketten. Zur Problematik der Akkumulation von Umweltchemikalien in aquatischen Systemen* (Forschungsbericht/DFG). 1. Auflage, Weinheim, VCH Verlagsgesellschaft, 1987. 327 Seiten, 112 Bilder, 29 Tabellen, Format 17 x 24 cm. Broschürt, DM 98,-

Der Forschungsbericht präsentiert Ergebnisse des Schwerpunktprogramms „Nahrungskettenprobleme“ der Deutschen Forschungsgemeinschaft. Mit diesem Untersuchungsprogramm trug die DFG Anfang 1971 dem sich in den sechziger Jahren immer deutlicher abzeichnenden Phänomen der Bioakkumulation von Umweltchemikalien Rechnung. Alle Beiträge dieses Buches beschäftigen sich daher mit den Wechselwirkungen von Umweltbedingungen und Bioakkumulation. Die Beschränkung der Untersuchungen auf kurze Nahrungsketten und wenige exemplarische Schadstoffe – das Insektizid Lindan, das Herbizid Atrazin und die Schwermetalle Blei, Cadmium und Quecksilber – erbrachte neben einer Vielzahl spezieller Befunde auch grundlegende Aussagen zum Problem der Bioakkumulation in aquatischen Systemen. Folgerichtig gliedert sich der Band auch in zwei Abschnitte „Übergreifende Ergebnisse“ (11 Arbeiten) und „Kurzfassungen der Ergebnisse der Einzelprojekte“ (19 Arbeiten). Eine Auflistung der einzelnen Themen würde jedoch den vorliegenden Rahmen sprengen. Eine zusammenfassende Bewertung der Befunde, Literaturangaben und ein Verzeichnis der Projekte und Projektleiter des Untersuchungsprogramms runden den Bericht ab.

G. Haider

Herausgegeben von Gerd Lange und Kurt Lecher. Unter Mitarbeit von Herbert Grubinger, Gerd Lange, Kurt Lecher, Uwe Schlüter und Jürgen Schwoerbel: *Gewässerregelung – Gewässerpflege. Naturnaher Ausbau und Unterhaltung von Fließgewässern*. 1. Auflage, Verlag Paul Parey, Hamburg und Berlin, 1986. 228 Seiten, 368 + 196 Bilder, 36 Tabellen, Format 23 x 15,5 cm, kartoniert, DM 68,-. ISBN 3-490-17716-9

Die zahlreichen Veröffentlichungen der letzten Jahre, die sich mit dem naturnahen Wasserbau beschäftigen, tragen ganz wesentlich dazu bei, daß die Erkenntnisse über die ökologischen Funktionen eines Fließgewässers und die vielschichtigen Zusammenhänge zwischen Mensch und Natur Allgemeingut werden und auch in der Praxis ihren Niederschlag finden. Zielsetzungen und damit die notwendige Auswahl des darzubietenden Stoffes sind dabei jeweils recht unterschiedlich. Im vorliegenden Buch „Gewässerregelung/Gewässerpflege“ von G. Lange und K. Lecher werden die folgenden Problemkreise abgehandelt:

Aufgaben und Ziele naturnaher Gewässerregelung; physikalische, chemische, limnologische und rechtliche Grundlagen; Regelungsgrundsätze; Sicherung der Gewässerprofile; Bauwerke; Hochwasserschutz; kleine Gewässer und landwirtschaftliche Vorfluter; Gewässer in Siedlungsgebieten und bei Straßenbaumaßnahmen; Wildbachverbauung; Gestaltung der Tallandschaft; Gewässerunterhaltung und -pflege; Kosten von Gewässerregelung und -unterhaltung; Projektentwicklung.

Als Co-Autoren konnten H. Grubinger, U. Schlüter und J. Schwoerbel für spezifische Kapitel gewonnen werden, so daß einerseits die Eigenarten von Flachlandgewässern im norddeutschen Raum ebenso Berücksichtigung finden wie die Charakteristiken der Bäche und Flüsse Süddeutschlands und andererseits die Thematik des Buches auch aus dem Blickwinkel des Biologen und Landschaftsplaners umrissen wird.

Die Autoren hatten als Zielgruppe vor allem die mit Wasserbau befaßten Ingenieure in Verwaltung, Ingenieurbüros, Bau- und Zulieferfirmen im Auge, über die physikalischen, chemischen, limnologischen und rechtlichen Grundlagen wird ein sehr knapper Überblick gegeben. Der hydraulischen Problematik wird ein breiter Raum gewidmet. Bewußt haben es die Autoren dabei in Kauf genommen, daß der angehende oder im Berufsleben stehende Wasserbauer hier vieles wiederfinden wird, was zu den Grundlagen seiner Ausbildung zählt. Der Vorteil davon aber ist, daß die für eine Bemessung notwendigen Formeln, Kennwerte und Diagramme praxisgerecht aufbereitet und zusammengestellt sind. Wo es für eine schnellere Umsetzung bei anstehenden Planungs- und Bemessungsaufgaben angebracht erschien, sind ausführliche Beispiele zu den Rechengängen mitaufgenommen. Um allerdings dem Untertitel des Buches, „Naturnaher Ausbau von Fließgewässern“ auch in diesem Teilbereich stärker Rechnung zu tragen, wäre es wünschenswert gewesen, diesbezügliche Entscheidungshilfen in stärkerem Maße einzufügen. Beispielsweise wäre für den planenden Ingenieur eine kritische Wertung verschiedener Wehrtypen hinsichtlich ihrer Brauchbarkeit im naturnahen Wasserbau (Sauerstoffeintrag, Passierbarkeit, Einfügung in das Gewässerumfeld) von großem Interesse. Ausführliche Literaturangaben zu den einzelnen Kapiteln ermöglichen andererseits eine gezielte Bearbeitung speziellerer Fragestellungen, die hier abzuhandeln der beschränkte Umfang eines Handbuches verbot.

So wird das mit Tabellen und Abbildungen reich ausgestattete Werk insgesamt für alle diejenigen, die mit Gewässerregelung und Gewässerpflege befaßt sind oder befaßt sein werden, von großem Nutzen sein und mit Gewißheit eine weite Verbreitung finden.

W. Marx

Ernstberger, H.: *Einfluß der Landnutzung auf Verdunstung und Wasserbilanz: Bestimmung der aktuellen Evapotranspiration von unterschiedlich genutzten Standorten zur Ermittlung der Wasserbilanz von Einzugsgebieten in unteren Mittelgebirgslagen Hessens*. Kirchzarten, Verlag Beiträge zur Hydrologie, 1987. XVI + 187 Seiten, 39 Bilder, 55 Tabellen, Format DIN A 5, brosch., DM 37,50. ISBN 3-922749-94-1

Praktikable Methoden zur Ermittlung der Verdunstung für unterschiedliche Vegetationsbestände und Standorte gewinnen zunehmend an Bedeutung. Es wird eine einheitliche, einfach durchzuführende Verdunstungsberechnung vorgestellt. Neben der HAUDE-Formel wird die PENMAN-Gleichung in Verbindung mit vegetations- und kulturspezifischen Faktoren zur Ermittlung der potentiellen Verdunstung für unterschiedliche Nutzungsarten herangezogen. Die vegetationspezifischen Faktoren werden standort- und gebietsinvariant in Abhängigkeit von phänologischen Phasen oder Nutzungseingriffen bestimmt. Die wirkliche Verdunstung läßt sich unter Berücksichtigung der Bodenfeuchte errechnen. Die Kalibrierung konnte auf der Basis mehrjähriger Meßergebnisse von 19 Meßstandorten vorgenommen werden.

Die Übertragung der punktuell ermittelten Wasserbilanzen für einzelne Standorte ist anhand der Bodeneigenschaften und der Landnutzung auf 3 kleine Einzugsgebiete (Saubach in Nordhessen, Krofdorf in Mittelhessen) durchgeführt worden. Im Rahmen der vorliegenden Untersuchungen weist das Waldgebiet Krofdorf die höchste Gebietsverdunstung auf.

Die Untersuchung zeigt neue methodische Ansätze und bietet praxisnahe Anwendungsmöglichkeiten.

Redaktion