

Jörg Franke und Silke Wieprecht

Bewertung der Versagenswahrscheinlichkeit von Staustufenstandorten mit Bayesschen Netzen

Für Sicherheitsbewertungen sind Ereignis- und Fehlerbäume Stand der Technik. Bayessche Netze stellen eine zeitgemäße Erweiterung dieser statistischen Methoden dar und ermöglichen einen anschaulichen sowie intuitiven Zugang zu komplexen Themen und Zusammenhängen. Ein solches Bayessches Netz wird für die Sicherheitsbewertung von Staustufen vorgestellt. Das Netz bildet die Versagensmodi Überflutung sowie strukturelles Versagen des Stauhaltungsdammes und der Wehranlage ab und ermöglicht die Bewertung des Einflusses der Konstruktion, der Überwachung sowie des Betriebs dieser Bauwerke auf die Anlagenversagenswahrscheinlichkeit.

1 Einleitung

Stauanlagen sind künstliche Bauwerke zur Regulierung des natürlichen Abflusses an Gewässern. Diese Anlagen dienen im Falle der Wasserkraftnutzung der Industrie, im Falle der Be- und Entwässerung der Landwirtschaft sowie als Verkehrsträger der Schifffahrt. Staustufen spannen, im Gegensatz zu Talsperren, im Wesentlichen nur über die Flussbreite und nicht über die gesamte Talbreite (**Bild 1**).

Staufufen sind verschiedensten Einflüssen ausgesetzt, wie beispielsweise nor-

malen Abflussverhältnissen, Hochwasser ggf. mit Treibgut, plötzlichem Turbinenschnellschluss, einer Störung bzw. einer Revision von Verschlüssen, Windereignissen, Frost und Eis oder Erdbeben. Gemäß DIN 19 700-13 [1] sind Staustufen auf diese Einwirkungen auszulegen. Im Jahr 2004 wurde in dieser Norm eine Klassifizierung in drei Klassen mit abgeleiteten Ansprüchen an das Bemessungshochwasser eingeführt. Eine Staustufe mit einer Fallhöhe bei MQ kleiner gleich 3 m ist demnach in Klasse 3 einzuordnen und eine Staustufe mit einer Fallhöhe grö-

ßer 5 m in Klasse 1. Weiter sind Anlagen an schiffbaren Gewässern und Anlagen, bei denen im Falle eines Anlagenversagens Siedlungen gefährdet sind, in Klasse 1 einzuordnen. Die letztgenannte Regel bedeutet u. a. für den Anlagenbetreiber eine Auseinandersetzung mit dem Risiko, das von der Staustufe ausgeht, und damit die Erfordernis, die Wahrscheinlichkeit für „den Fall eines Anlagenversagens“ zu erfassen.

Damit stellen sich verschiedene Fragen, beispielsweise welche Prozesse zu einem Anlagenversagen führen, wie wahrscheinlich dies ist und, wenn die Versagenswahrscheinlichkeit bekannt ist, wie sich diese effizient reduzieren lässt.

Der folgende Beitrag nimmt die vorstehenden Fragen auf und führt ein Bayessches Netz zur quantitativen Bewertung von Staustufenbetrieb und -überwachung ein [2]. In diesem Zuge fließen die Ergebnisse einer Befragung zur Staustufenüberwachung von rund 100 Anlagenbetreibern ein. Im Fokus dieses Artikels stehen damit Staustufen mit einer Fallhöhe bei Mittelwasserabfluss von 0,3 bis 39 m (Median rund 5 m) und einem Ausbauabfluss der Wasserkraftanlage von 0,3 bis 3 000 m³/s (Median 20 m³/s). Der Median der Jahreserzeugung der in der Betreiberbefragung vertretenen Wasserkraftstandorte beträgt 3,5 GWh/a.

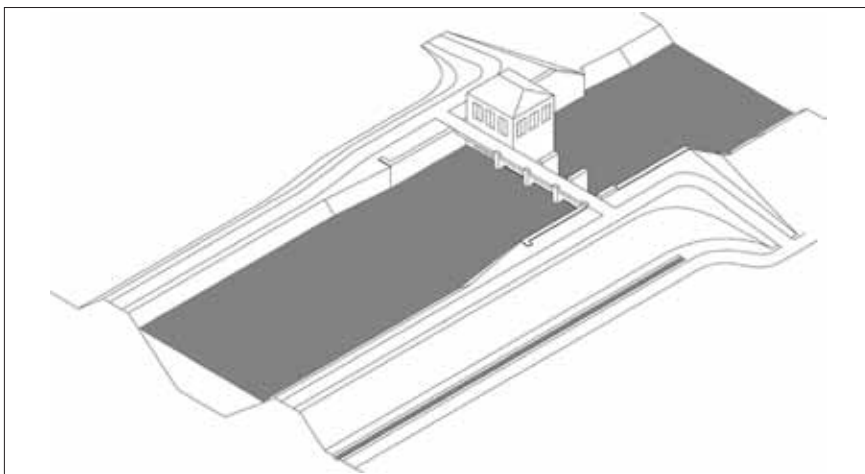


Bild 1: Idealisierte Staustufe: Flusskraftwerk mit dreifeldriger Wehranlage, Wasserkraftanlage und oberstrom gelegentlichem Stauhaltungsdamm

2 Einführung in Bayessche Netze

2.1 Risikobegriff

Das Risiko R ist definiert als das Produkt aus Versagenswahrscheinlichkeit P_F und Schadenspotenzial S_F [3]:

$$R = P_F \cdot S_F \quad (1)$$

Dem Risiko eines Anlagenstandortes ist ein akzeptierbares Risiko, das gesellschaftlich auszuhandeln ist, entgegen zu stellen. Der vorliegende Artikel stellt in diesem Kontext die Ermittlung von Einflussgrößen auf die Versagenswahrscheinlichkeit dar.

2.2 Baumdiagramme und Bayessche Netze

Es gibt zwei für Wahrscheinlichkeitsberechnungen übliche und erprobte Verfahren: zum einen Ereignisbäume und zum anderen Fehlerbäume. Bei Ereignisbäumen liegt der Ursprung des Baumes in einem Hauptereignis, etwa dem Extremniederschlag. Die nächste Verzweigung stellt dann eine Folge dieses Ereignisses dar, beispielsweise das Versagen der Hochwasserentlastungsanlage (**Bild 2**). Bei Fehlerbäumen liegt das Ziel des Baumes im Versagensfall, etwa dem Dammversagen.

Eine Weiterentwicklung dieser Bäume sind Bayessche Netze. Hier können gleichzeitig mehrere Ursachen berücksichtigt werden und die Baumstruktur fällt weg, was mehr Interaktionen ermöglicht. Entwickelt wurden Bayessche Netze ursprünglich für die medizinische Diagnoseunterstützung Ende der 1980er Jahre. In den 2000er Jahren steigerten sich Beliebtheit und Anwendung auch in anderen Fachdisziplinen.

2.3 Bedingte Wahrscheinlichkeiten und der Satz von Bayes

In Bild 2 ist ein Ereignisbaum dargestellt, in dem Wahrscheinlichkeiten für Extremniederschlag und kein Extremniederschlag sowie, unter dieser Bedingung, ein oder kein Versagen der Hochwasserentlastungsanlage abgebildet sind.

Der oberste Ast des Baumes $P(B|A)$ zeigt etwa die Wahrscheinlichkeit eines Versagens der Hochwasserentlastung unter der Bedingung des Extremniederschlages. Es kann jedoch auch ein Versagen der Hochwasserentlastung aus anderen Gründen als Extremniederschlag auftreten.

Mit dem Satz von Bayes, hier ausgewertet $P(A|B)$, ist nun ermittelbar, wie häufig

der Extremniederschlag tatsächlich die Ursache für das Versagen der Hochwasserentlastung darstellt:

$$P(A|B) = P(B|A) \cdot P(A) / P(B) \quad (2)$$

Der Satz von Bayes ermöglicht somit die vertiefte Auswertung vorliegender Informationen und die Gewinnung von Erkenntnissen, die nicht offensichtlich sind. Der Satz von Bayes ist die Grundlage von Expertensystemen wie Bayesschen Netzen und ein wichtiger Baustein für Systeme künstlicher Intelligenz.

2.4 Bayessche Netze

Ein Bayessches Netz besteht aus Knoten und gerichteten Kanten, die keinen Kreis bilden dürfen [4]. Das in **Bild 3** exemplarisch dargestellte Netz zeigt folgende Zusammenhänge: Die Alarmanlage A kann von einem Dieb D oder einem Erdbeben E aktiviert werden. Der Nachbar N wird eventuell durch die Alarmanlage aufgeschreckt und es besteht die Möglichkeit, dass das Erdbeben auch im Radio R gemeldet wird [5]. Diese Prozesse sind alle wahr-scheinlichkeitsbehaftet. So ist es etwa sehr unwahrscheinlich, dass die Alarmanlage aktiv ist, wenn sich kein Dieb am Haus zu schaffen macht und sich darüber hinaus kein Erdbeben ereignet. Es ist aber entsprechend **Tabelle 1** dennoch zu 1 % möglich. Diese A-priori-Wahrscheinlichkeiten sind beispielsweise aus Statistiken bekannt. Mit den in Tabelle 1 exemplarisch beschriebenen A-priori-Wahrscheinlichkeiten lassen sich rechnerisch [4], etwa mit Hugin [6], A-posteriori-Wahrscheinlichkeiten ermitteln, die die Interaktion der Wahrscheinlichkeiten im Netz berücksichtigen. Mittels zusätzlicher Beobachtungen, beispielsweise „im Radio wird von einem Erdbeben berichtet“, werden alle davon abhängigen Wahrscheinlichkeiten im Netz beeinflusst, so dass neue Erkenntnisse gewonnen und berücksichtigt werden können.

3 Bayessches Netz für Staustufen

3.1 Entwicklung des Bayesschen Netzes

Eine Statistik über Versagensfälle an kleineren Wasserbauwerken zeigt, dass die Hälfte der Versagensfälle auf Überströmung, etwa der Dammbauwerke, zurückzuführen sind, gefolgt von innerer Erosion, Untergrundversagen, Bauwerksversagen sowie einem Versagen der Hoch-

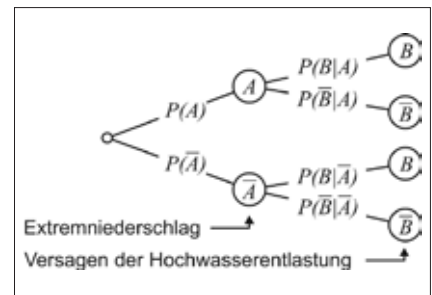


Bild 2: Ereignisbaum bei dem das Versagen der Hochwasserentlastungsanlage in Abhängigkeit des Extremniederschlages dargestellt ist

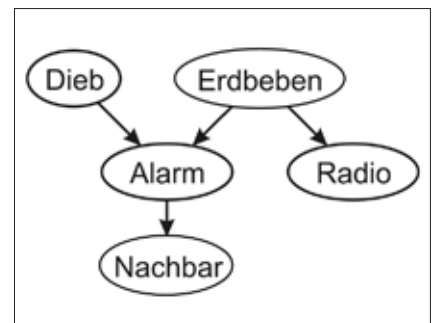


Bild 3: Beispiel für ein Bayessches Netz (nach Pearl [5])

Tab. 1: Wahrscheinlichkeitstabelle für den Knoten A (Alarm)

E	nein		ja		
	D	nein	ja	nein	ja
A	nein	0,99	0,1	0,1	0,01
	ja	0,01	0,9	0,9	0,99

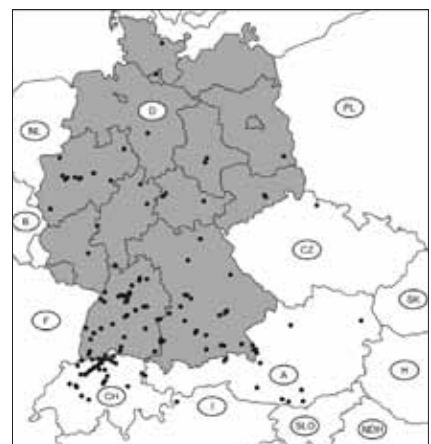


Bild 4: Landkarte mit den in der Befragung erfassten europäischen Staustufenstandorten [2]

wasserentlastung [7]. Es wird deutlich, dass sowohl hydraulische Prozesse als auch geotechnische Versagensmechanismen maßgeblich sind.

Ein Bayessches Netz zur Risikobeurteilung eines baufälligen Dammes in Vietnam [8] aus dem Jahr 2005 berücksichtigt in deutlich reduzierter Form die Ursachen für eine Überflutung sowie geohydraulische Prozesse und zeigt eine intelligente Logik der Verknüpfung von Abfuhrkapazität der Hochwasserentlastungsanlage und Hochwasserzufluss mit der resultierenden Wasserspiegellage.

In dem hier beschriebenen Bayesschen Netz für Staustufen werden die Versagensmodi strukturelles Versagen des Stauhaltungsdammes, strukturelles Versagen der Wehranlage und Überflutung berücksichtigt.

3.2 Gewinnung von Wahrscheinlichkeiten

Die für das Bayessche Netz notwendigen A-priori-Wahrscheinlichkeiten werden mittels einer Betreiberbefragung sowie unter Zuhilfenahme von Literatur gewonnen.

Mit einem mehr als 60 Fragen umfassenden Erhebungsbogen wurden im Zuge einer Betreiberbefragung Informationen zu Standortparametern, Anlagenlayout und Fallhöhen, baulichen bzw. betrieblichen Problemen in der Vergangenheit, Bemessungshochwasser, Wasserkraftanlage, Stauhaltungsstamm, rechtlichen Themen sowie Mess- und Überwachungseinrichtungen von 155 Staustufenstandorten gesammelt (Bild 4). Zwischenergebnisse der Untersuchung wur-

den schon 2009 veröffentlicht [9]. Mittlerweile sind alle Ergebnisse, auch in Abhängigkeit

- der Fallhöhe bei Mittelwasserabfluss, wie in der Staustufen-Norm [1] als Klassifizierung vorgesehen,
- der Jahresarbeit zur Einschätzung der wirtschaftlichen Bedeutung,
- der Gefährdung von Siedlungen durch ein Anlagenversagen sowie
- der Lage in Deutschland und der Schweiz, zusammengestellt [2].

Als wichtige Literaturquellen sind zwei Publikationen zur Versagensstatistik von massiven Wasserbauwerken [10] und von Staudämmen [11], hier herangezogen für die Beschreibung der Versagensprozesse der Wehranlage und des Stauhaltungsdammes, zu nennen. Weitere Statistiken (u. a. [12]), dienen der Ermittlung von Wahrscheinlichkeiten für das Versagen von Bauteilen und Komponenten der Wehranlage. Das vorstehend erwähnte Bayessche Netz für einen vietnamesischen Damm [8] eignet sich für die Bereitstellung von Wahrscheinlichkeiten für das vorliegende Thema aufgrund der unterschiedlichen Zielsetzungen nicht.

Die auf Basis der Literatur beschriebenen und quantitativ belegten Zusammenhänge werden unter Zuhilfenahme der Ergebnisse der Betreiberbefragung auf die Situation an mitteleuropäischen Staustufen angepasst.

3.3 Vorstellung des Bayesschen Netzes

Das Bayessche Netz ist für eine idealisierte mittelgroße Staustufe mit Wasserkraft-

anlage entworfen. Dabei sind die Kennwerte einer durchschnittlichen Staustufe aus der Betreiberbefragung bekannt. Die idealisierte Anlage ist außerdem in Staustufenklasse I gemäß DIN 19700-13 eingestuft und die Wehranlage der Staustufe besitzt drei Wehrfelder.

Neben einigen festen Größen existieren Verteilungsfunktionen und Variationsmöglichkeiten für viele Parameter, wie beispielsweise die Ausbildung des Leerschusses, der im Falle eines Wasserkraftanlagenschnellschlusses notwendig ist, oder das Vorhandensein von Treibgut sowie die Länge und Höhe des Stauhaltungsdammes und die Verfügbarkeit von Verschlüssen, der Antriebe oder der Steuerung sowie der Turnus des Wartungsdienstes.

In Bild 5 ist exemplarisch der Modellteil für eine anlagenbedingte Wasserspiegelerhöhung dargestellt. Die anlagenbedingte Wasserspiegelerhöhung lässt sich einerseits auf den Wasserstand aufgrund von Hochwasser sowie andererseits auf den Wasserstand bei Wasserkraftanlagenschnellschluss im Notstromfall zurückführen. Die Wasserspiegellage bei Hochwasser berücksichtigt die Abflusssituation, eventuelles Treibgut und die Verlandung des Stauraumes. Die Wasserspiegellage ist dabei insbesondere von der Betriebstüchtigkeit der Wehranlage abhängig. Einflüsse sind die Verfügbarkeit der Verschlüsse, Erdbeben sowie die Verfügbarkeit des manuellen oder automatischen Antriebes. Für den automatischen Antrieb sind Oberwasserpegel sowie die

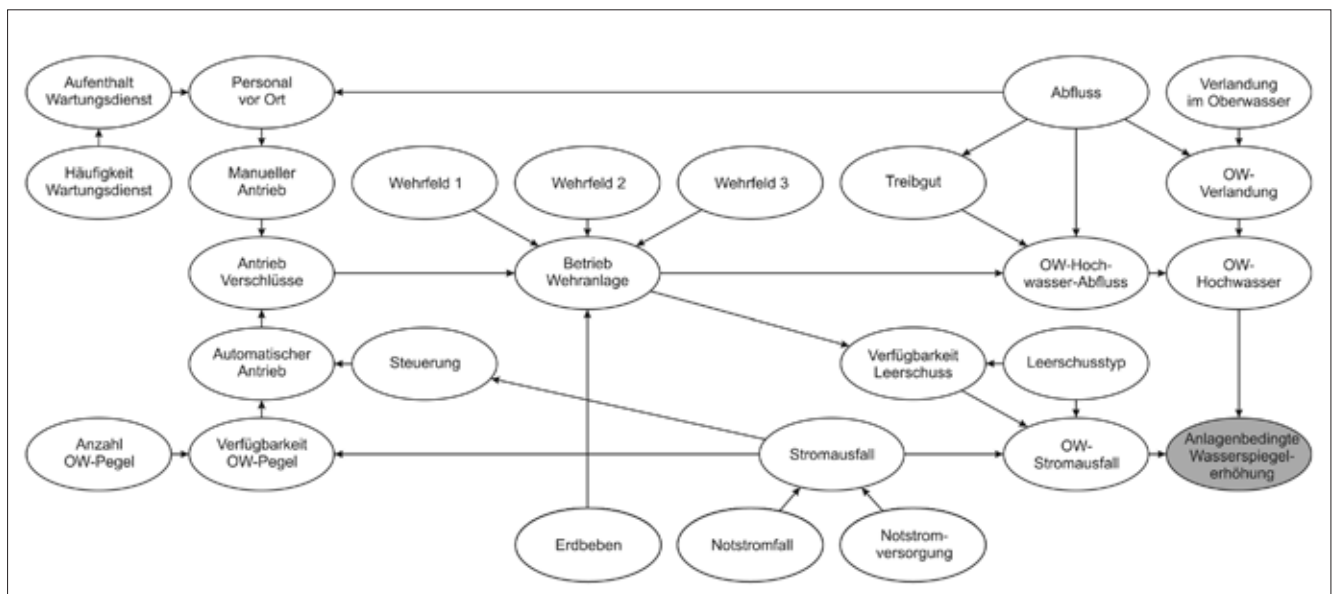


Bild 5: Bayessches Netz für den Modellteil anlagenbedingte Wasserspiegelerhöhung

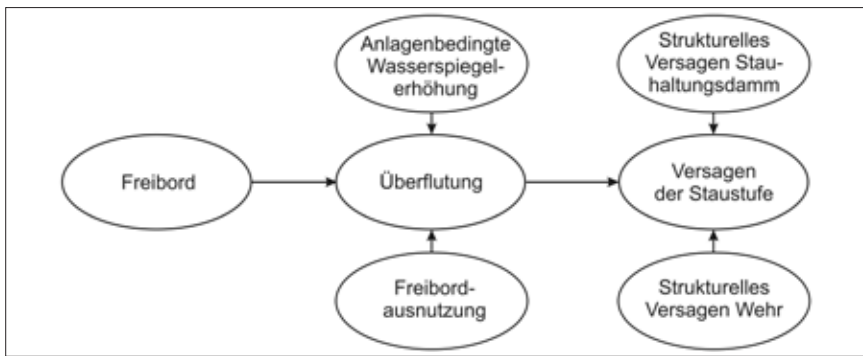


Bild 6: Modellteile des Bayesschen Netzes für Staustufen

Steuerung notwendig. Für den manuellen Antrieb muss Personal vor Ort sein, entweder zufällig im Rahmen des Wartungsdienstes oder planmäßig in Abhängigkeit der Abflusssituation. Die Wasserspiegelhöhe bei Wasserkraftanlagenschnellschluss ist abhängig von Stromausfall, dem Vorhandensein einer Notstromversorgung sowie der Bauart des Leerschusses. Dieser kann entweder als freier Überfall oder als Schütz konstruiert sein, das mit oder ohne Strom betrieben wird. Weiter gibt es Anlagen ohne Leerschuss.

Neben der anlagenbedingten Wasserspiegelerhöhung haben der Freibord sowie die Freibordausnutzung, berücksichtigt sind Windereignisse und Setzungen, einen Einfluss auf die Überflutung. Darüber hinaus sind die Versagensmechanismen für den Stauhaltungsdamm und für die Wehranlage implementiert (Bild 6). Das Netz besteht aus 66 Knoten und insgesamt 220 Knotenzuständen. Die einzelnen Modellteile und Knoteneigenschaften sind bei Franke [2] detailliert beschrieben.

Für Berechnungen innerhalb des Bayesschen Netzes werden stündliche Eintritts- und Versagenswahrscheinlichkeiten zu Grunde gelegt, da ein Zusammentreffen verschiedener Ereignisse in einem Zeitraum von einer Stunde als kritisch angesehen wird. Jährliche Eintritts- und Versagenswahrscheinlichkeiten stellen für das Modell keine relevante Basis dar, da etwa ein Hochwasserereignis deutlich kürzer dauert als ein Jahr und ein Messgerät im Regelfall kein ganzes Jahr ausfällt, sondern nach einer Instandsetzung relativ schnell wieder betriebsbereit ist. Die Darstellung der Ergebnisse erfolgt dann, nach Umrechnung [2], in der im Wasserbau gebräuchlichen Einheit „jährliche Versagenswahrscheinlichkeit“.

3.4 Auswertung des Bayesschen Netzes

Exemplarisch sind in Bild 7 die Ergebnisse der idealisierten, mittelgroßen, durchschnittlichen Staustufe in Abhängigkeit des Freibordes dargestellt. Ausgewertet sind jährliche Versagenswahrscheinlichkeiten dieser Staustufe bei einem Freibord von 0,5 m bis 2,25 m. Das Gesamtversagen

ANZEIGE

WERTE SCHAFFEN – WERTE HALTEN

HUESKER – Ingenieurlösungen mit Geokunststoffen

Erd- und Grundbau

Straßen- und Verkehrswegebau

Wasserbau

Der Einsatz von Geokunststoffen im Wasserbau ist vielfältig und weitverbreitet. Ob Verkehrswasserbau, Deichbau oder Insel- und Küstenschutz, die Gewebe, Vliesstoffe, Verbundstoffe oder Geogitter erfüllen je nach Anforderung unterschiedliche Aufgaben – wirtschaftlich, umweltfreundlich, sicher.

Umwelttechnik

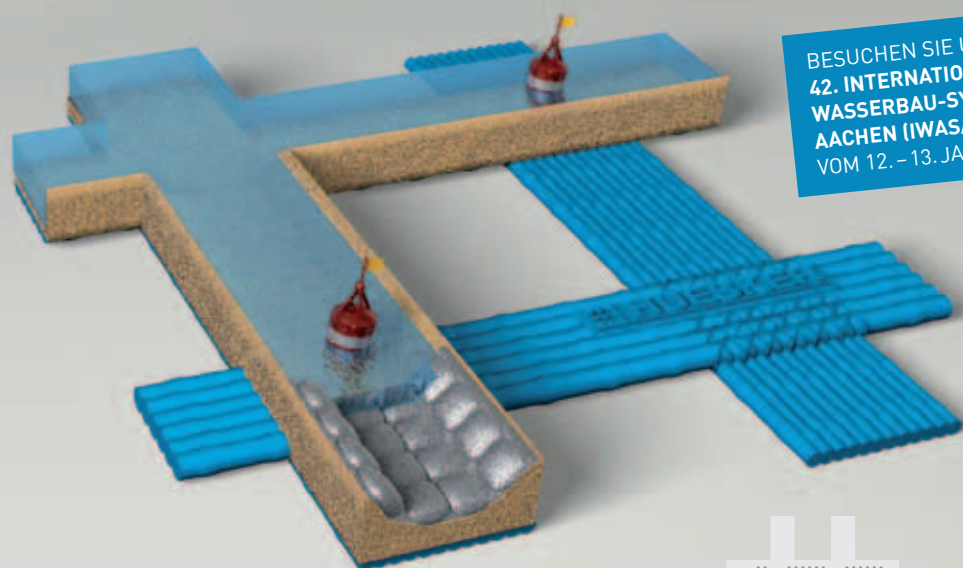
www.huesker.com

HUESKER Ingenieure unterstützen Sie bei der Umsetzung Ihrer Bauprojekte. Verlassen Sie sich auf die Produkte und Lösungen von HUESKER.



HUESKER Synthetic GmbH · 48712 Gescher
Tel.: + 49 (0) 25 42 / 701 - 0 · info@huesker.de

HUESKER



BESUCHEN SIE UNS AUF DEM
42. INTERNATIONALEN
WASSERBAU-SYMPIOSIUM
AACHEN (IWASA)
VOM 12. – 13. JANUAR 2012

150
JAHRE

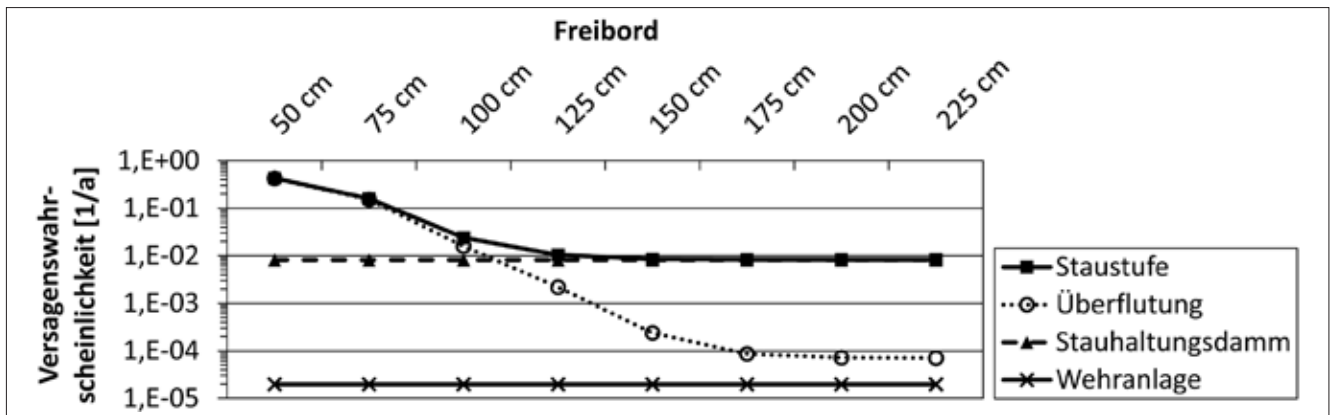


Bild 7: Jährliche Teil- und Gesamtversagenswahrscheinlichkeiten [1/a] einer durchschnittlichen Staufstufe in Abhängigkeit des Freibordes

der Anlage, dargestellt als Linienzug „Staufstufe“, kann dabei keinen geringeren Wert annehmen als die größte Teilversagenswahrscheinlichkeit der Teile „Überflutung“, „Stauhaltungsdammm“ oder „Wehranlage“. Es ist erkennbar, dass für dieses konkrete Beispiel die Überflutung bei einem Freibord von unter 1,25 m maßgeblich ist und bei einem Freibord von über 1,25 m das strukturelle Versagen des Stauhaltungsdammmes die Gesamtversagenswahrscheinlichkeit dominiert.

3.5 Optimierung der Versagenswahrscheinlichkeit von Staufstufenstandorten

Das Bayessche Netz berücksichtigt ohne Variation die Situation an einer mittelgroßen, durchschnittlichen Staufstufe. Die Variation verschiedener Knotenzustände ermöglicht nun einerseits das Netz an die Gegebenheiten einer konkreten Anlage anzupassen und andererseits die Auswirkungen organisatorischer oder baulicher

Änderungen auf die Versagenswahrscheinlichkeit des Anlagenstandortes zu testen. Die Auswertung der Versagenswahrscheinlichkeit in Abhängigkeit des Freibordes in Abschnitt 3.4 sei als erstes Beispiel genannt (Bild 7).

In Bild 8 ist die Versagenswahrscheinlichkeit einer Staufstufe mit 8 m Fallhöhe bei Mittelwasserabfluss, einer Gewässerbreite von 150 m, einer Länge des Stauhaltungsdammmes von über 2 000 m, einer Stauhaltungsdammmhöhe von 4 m sowie einer Stauhaltungsdammböschungsneigung von 20° und einem Freibord von 1,25 m dargestellt. Es ist erkennbar, dass die Teilversagenswahrscheinlichkeit des Stauhaltungsdammmes (Std) die Gesamtversagenswahrscheinlichkeit der Staufstufe dominiert. Die Auswertung zeigt, dass sich die Gesamtversagenswahrscheinlichkeit durch regelmäßige Überwachungsmaßnahmen und positive Befunde im Zuge der Rundgänge reduziert, wobei diese Beobachtungen die Versagenswah-

scheinlichkeit unterschiedlich stark beeinflussen. Auch eine Innendichtung des Stauhaltungsdammmes verringert die Versagenswahrscheinlichkeit. Neben der Überwachung und der baulichen Konkretisierung der Dichtung wird in Bild 8 beispielhaft auch die Länge des Stauhaltungsdammmes verändert. Bei einer Stauhaltungsdammlänge von nur 250 m, im Vergleich zur oben beschriebenen Situation mit 2 000 m, reduziert sich die Versagenswahrscheinlichkeit deutlich, da dann weniger Abschnitte mit potenziellen Fehlstellen vorhanden sind.

Neben den in Bild 8 genannten Modifikationen, sind in dem Bayesschen Netz eine große Vielzahl weiterer Auswertemöglichkeiten gegeben, um den Verhältnissen an unterschiedlichsten Staufstufenstandorten gerecht zu werden. In Franke [2] sind noch zwei weitere Beispiele, eines für eine Staufstufe ohne Stauhaltungsdammm sowie eines für ein Ausleitungskraftwerk mit einem schmalen Triebwasserkanal, dargestellt.

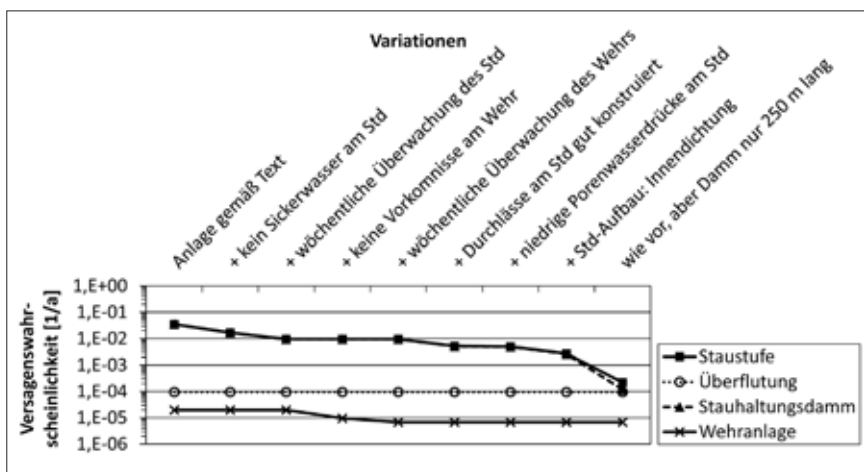


Bild 8: Jährliche Teil- und Gesamtversagenswahrscheinlichkeiten [1/a] für die Staufstufe aus Abschnitt 3.5

3.6 Ergebnisse der Auswertung des Bayesschen Netzes

In [2] sind die Einflüsse von Elementarereignissen, der Konstruktion sowie der Überwachung ausgewertet. Die Auswertung der Elementarereignisse zeigt, dass Windeinwirkungen den größten Einfluss besitzen und dass eine Notstromversorgung wichtig ist. Die Auswertung der Konstruktion zeigt, dass Böschungsneigung und Rauheit des Ufers aufgrund ihres Einflusses auf Windstau sowie Wellenauflauf wesentlich sind, und dass die Länge des Stauhaltungsdammmes einen stärkeren Einfluss auf die Versagenswahrscheinlichkeit hat als deren Höhe. Weiter sind Antrieb und Steuerung der Verschlüsse relevant. Die Auswertung der Überwachung zeigt,

dass Oberwasserpegel zwingend notwendig sind und die Vermessung des Stauhaltungsdammes wichtig ist. Weiterhin ist festzustellen, dass für die hier vorgestellte durchschnittliche Staustufe weitere Bauwerksmessgeräte am Stauhaltungsdamm eine stärkere Minderung der Versagenswahrscheinlichkeit erzielen als durch eine Aufrüstung der Wehranlage.

4 Zusammenfassung und Ausblick

Das Bayessche Netz für Staustufen ist ein für die Bestimmung von Versagenswahrscheinlichkeiten geeignetes Verfahren und mit den entsprechenden, zugrunde gelegten Tabellenwerken [2] ist das Netz einfach auf mannigfaltige Situationen anpassbar. Durch die interaktive Anwendung des Bayesschen Netzes lassen sich Abhängigkeiten und Einflüsse anschaulich darstellen und begreifen. Dies ist auch Ziel und Zweck des vorgestellten Berechnungssystems. Auf Basis vieler Einflüsse und Verknüpfungen wird eine Gesamtversagenswahrscheinlichkeit aus-

gegeben, die einen groben Anhaltspunkt für die Versagenswahrscheinlichkeit des Anlagenstandortes liefert. Damit sind Vergleiche unterschiedlicher Standorte ebenso möglich wie die Bewertung der Auswirkungen von verschiedensten organisatorischen und baulichen Anpassungsmaßnahmen auf die Anlagensicherheit.

Mit dem vorgestellten Bayesschen Netz lassen sich Investitionen, bei im Regelfall begrenztem Budget, auf ihre Wirksamkeit für die Anlagensicherheit überprüfen und entsprechend sinnvolle Maßnahmen erarbeiten.

Für weiterführende Risikoanalysen gibt es unter anderem noch weiteren Forschungsbedarf im Hinblick auf das akzeptierbare Risiko. Hier stellen sich auch politische und gesellschaftliche Fragen. Bei Staustufen ist eine Auslegung bis zum tausendjährigen Hochwasserereignis gemäß DIN 19 700 [1] gefordert. Flussdeiche sind, bei entsprechender Exposition, im Regelfall nur auf hundertjährige Hochwasserereignisse zu bemessen – für weniger bedeutsame Flussdeiche ist die Auslegung auf ein noch geringeres Hochwasser üblich. So entstehen inkonsistente Aus-

legungen entlang eines Gewässerlaufes, zum Teil auch unabhängig von der jeweiligen Gefährdungslage.

Autoren

Dr.-Ing. Jörg Franke

EnBW Kraftwerke AG
(vormals IWS der Universität Stuttgart)
Schelmenwasenstraße 15
70567 Stuttgart
jo.franke@enbw.com

Prof. Dr.-Ing. Silke Wieprecht

Universität Stuttgart
Institut für Wasser- und
Umweltsystemmodellierung (IWS)
Pffaffenwaldring 61
70569 Stuttgart
Wieprecht@iws.uni-stuttgart.de

Literatur

- [1] Norm DIN 19 700: Stauanlagen. Berlin: Beuth-Verlag, 2004.
- [2] Franke, J.: Einfluss der Überwachung auf die Versagenswahrscheinlichkeit von Staustufen. In: Mitteilungsheft des Instituts für Wasserbau der Universität Stuttgart (2011), Nr. 202 (Promotionsschrift).
- [3] Plate, E.: Statistik und angewandte Wahrscheinlichkeitslehre für Bauingenieure. Berlin: Verlag Ernst & Sohn, 1993.
- [4] Kjaerulff, U. B.; Madsen, A. L.: Bayesian Networks and Influence Diagrams: A Guide to Construction and Analysis. Heidelberg: Springer, 2008.
- [5] Pearl, J.: Probabilistic Reasoning in Intelligent Systems: Networks of Plausible Inference. Morgan Kaufman Publ. Inc., 1988.
- [6] Hugin Expert: HUGIN Educational™ Version 7.4. Computerprogramm. 2010.
- [7] Vogel, A.: Data Collection and Analysis of Dam Failures of Small Dams According to the ICOLD Definition. In: Proceedings of the 5th International Conference on Reliability, Maintainability & Safety, Dalian, China, 2001, S. 414-419.
- [8] Smith, M.: Réduction du risque barrage par l'utilisation des réseaux bayésiens. Département des génies civil, géologique et des mines, École polytechnique de Montréal, Thèse présentée en vue de l'obtention du diplôme de philosophiae doctor (Ph. D.), 2005.
- [9] Franke, J.; Wieprecht, S.: Erfahrungen mit der Klassifizierung von Staustufen gemäß DIN 19700-13. In: Korrespondenz Wasserwirtschaft 2 (2009), Nr. 1, S. 32-36.
- [10] Douglas, K. J.; Spannagle, M.; Fell, R.: Analysis of Concrete and Masonry Dam Incidents. University of New South Wales, School of Civil and Environmental Engineering (R-373). Forschungsbericht, 1998.
- [11] Foster, M.; Fell, R.; Spannagle, M.: Analysis of Embankment Dam Incidents. University of New South Wales, School of Civil and Environmental Engineering (R-374). Forschungsbericht, 1998.
- [12] Moss, T. R.: The Reliability Data Handbook. London: Professional Engineering Publishing Limited, 2005.

Joerg Franke and Silke Wieprecht

Evaluation of Barrage Failure Probability using Bayesian Networks

Safety evaluations are commonly carried out using event- and failure-trees. Bayesian Networks are a contemporary development of these techniques and allow clear and intuitive access to complex topics and interrelationships. For barrages, e.g. run-off-river hydropower plants, a Bayesian network is developed for modes of failure including failure due to overtopping and structural failure of the dike or the weir. This network allows the evaluation of the effect of construction, surveillance and operation on the barrage failure probability.

Йорг Франке и Силке Випрехт

Анализ вероятных ситуаций отказа в местах размещения гидроузлов с применением Байесовских сетей

Применение деревьев событий и погрешностей при анализе надежности относится к современному уровню развития техники. Байесовские сети представляют собой актуальное расширение этих статистических методов и делают возможным осуществлять наглядный, а также интуитивный доступ к комплексным темам и отношениям. Представлены Байесовские сети, применяемые для анализа надежности гидроузла. Сеть отображает режим отказа „наводнение“, а также структурный отказ дамбы подпорного бьефа и плотинного комплекса, и позволяет произвести анализ воздействия конструкции, системы контроля и эксплуатации этих сооружений на вероятность их отказа.