

HENRY

Hydraulic Engineering Repository

Ein Service der Bundesanstalt für Wasserbau

Conference Paper, Published Version

Hack, H.-P.

Anmerkungen zur Risikoanalyse und der Versagenswahrscheinlichkeit von 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/20.500.11970/103899>

Vorgeschlagene Zitierweise/Suggested citation:

Hack, H.-P. (2004): Anmerkungen zur Risikoanalyse und der Versagenswahrscheinlichkeit von Stauanlagen. In: Technische Universität Dresden, Institut für Wasserbau und technische Hydromechanik (Hg.): Risiken bei der Bemessung und Bewirtschaftung von Fließgewässern und Stauanlagen. Dresdner Wasserbauliche Mitteilungen 27. Dresden: Technische Universität Dresden, Institut für Wasserbau und technische Hydromechanik. S. 97-102.

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.



Anmerkungen zur Risikoanalyse und der Versagenswahrscheinlichkeit von Stauanlagen

H.-P. Hack

1 EINLEITUNG

Will man die Versagenswahrscheinlichkeit von Stauanlagen wie Flusstaustrufen, Hochwasserrückhaltebecken und Talsperren ermitteln, so muss man nicht nur das eigentliche Absperrbauwerk, den festen Baukörper, sondern auch noch die beweglichen maschinellen Teile berücksichtigen. Bei Staustufen, auf welche sich die nachstehenden Ausführungen hauptsächlich beziehen sollen, kommt meistens noch ein Wasserkraftwerk dazu und in vielen Fällen ein zu steuernder Oberwasserkanal. Bei Verkehrswasserbauten ist in die Stauanlage noch eine Schleuse eingegliedert. Alle diese Bauwerksbestandteile sind mit maschinellen und elektrischen Einrichtungen versehen, denen bestimmte Aufgaben zugedacht sind, um einen reibungslosen Betriebsablauf zu gewährleisten. Wenn einiges an diesen Einrichtungen ausfällt, kann es zu einer Betriebsunterbrechung kommen oder sogar zu einem weiterführenden Sachschaden und schlimmstenfalls zu einem Schadensereignis mit erheblichen Gefährdungen für Leib und Leben. Dies führt zu der Frage, wie die Betriebssicherheit derartiger technischer Systeme einzuordnen und zu beurteilen ist. Welche Risiken sind vorhanden? Wie können diese analysiert werden und kann daraus vielleicht eine Versagenswahrscheinlichkeit berechnet werden?

Anlass zu diesen Überlegungen waren einmal Betrachtungen zur Standsicherheit und Versagenswahrscheinlichkeit der Stauanlage des alten Wasserkraftwerkes in Rheinfelden, zum anderen sind auch Betriebserfahrungen aus anderen Anlagen in die Untersuchungen eingegangen. Die etwa 100 Jahre alte Stauanlage in Rheinfelden wird zur Zeit erneuert, weil einige Parameter für die Betriebssicherheit sowie die Berechnungen zur Standsicherheit und die Betrachtungen zur Versagenswahrscheinlichkeit der Wehranlage, des Triebwasserkanales und des Kraftwerkes nach sorgfältiger Abwägung aller Risiken den Neubau der Anlage erforderlich machten. Dieser wurde vor etwa einem halben Jahr begonnen (*NEUBAU RHEINFELDEN*).

2 ALLGEMEINES ZU BEMESSUNG UND STANDSICHERHEIT VON STAUANLAGEN

Die Standsicherheit von Stauanlagen wird auf Grund der Einwirkungen aus dem Wasserdruck auf das Absperrbauwerk und den Untergrund ermittelt. Dazu wird ein bestimmter Bemessungsabfluss verwendet. Für den normalen Betrieb wird dabei vorausgesetzt, dass alle Betriebsteile der Anlage sich in gebrauchsfähigen Zustand befinden und normal funktionieren. Außergewöhnliche Betriebszustände, bei denen auch ein Teil der Anlage versagen kann, sind üblicherweise durch den Ansatz der $(n-1)$ - Regel oder durch erhöhte Belastungen aus Wasserdruck und dementsprechend verminderte Sicherheitsbeiwerte berücksichtigt (*DIN 19700*).

3 AUSSERGEWÖHNLICHE BETRIEBSFÄLLE

Außergewöhnliche Betriebsfälle sind so selten und so unvorstellbar, dass sie im Allgemeinen außerhalb unseres gewöhnlichen Vorstellungsbereiches liegen. Deshalb sollen zur Einstimmung einige denkbare Fälle dieser Art konstruiert werden. Sie können sich entweder durch ein Versagen von Anlagenteilen oder durch außergewöhnliche meist naturbeeinflusste Ereignisse einstellen. Zunächst zu Ersterem.

Auch in einem durchaus normalen Kraftwerksbetrieb ist folgendes Szenario denkbar: Ein Brand im Bereich der Schaltanlagen führt zum Ausfall des Steuerungsrechners. Die redundant geschaltete Zweitreecheneranlage fällt durch Überspannung ebenfalls aus, die Turbinen schließen sich wie beim Notschluss vorgesehen. Da die Anlage unbesetzt ist, geschieht unmittelbar zunächst nichts. Automatisch wird der Bereitschaftsdienst benachrichtigt. In der inzwischen verstrichenen Zeit waren die Schützen der Wehranlage in der jeweiligen Stellung blockiert, so dass es jetzt durch den Wasserzulauf zu einem außergewöhnlichen Überstau kommt, was zu einem Überströmen der Dämme und nach einiger Zeit zum Dammbbruch führen würde. Dieser Fall ist nicht wahrscheinlich, denn der inzwischen benachrichtigte Bereitschaftsdienst nimmt die Anlage gewöhnlich rechtzeitig wieder in Betrieb.

Die neue DIN 19700 empfiehlt zur Entlastung außergewöhnlicher Überstaufälle den Einbau eines zusätzlichen Überlaufwehres, das bei Überstau selbsttätig anspringt. So ein Überlaufwehr kann zum Beispiel preisgünstig durch einen Reißdamm und ein anderes festes Entlastungswehr zusätzlich zur üblichen Wehranlage eingebaut werden. Eine vergleichbare Entlastungseinrichtung befindet sich in den Dämmen der Innstufe Perach (*HACK, 1991*).

Ein anderer denkbarer Fall kann so skizziert werden: Infolge eines bisher unmerkten Softwarefehlers wird eine Wehrschütze bis zur Endstellung nach oben gefahren und dort durch den Endschalter in dieser angehobenen Stellung mechanisch blockiert. Dadurch entsteht in der betreffenden Wehröffnung der größtmögliche Wasserdurchfluss, der wegen des bei Niederwasser fehlenden Unterwasserpolsters ohne Energieumwandlung das Tosbecken durchschießt. In kurzer Zeit bildet sich dann ein großer Kolk, der die Standsicherheit der Wehranlage gefährden kann. Im Normalfall wird diese unglückliche Belastung durch den Bereitschaftsdienst innerhalb kurzer Zeit beendet und die Schütze wieder abgesenkt.

Durch Risikostudien können für derartige und vergleichbare Fälle Versagenswahrscheinlichkeiten und zugehörige Sicherheiten berechnet werden.

Außergewöhnliche Betriebszustände können sich aber auch infolge von Einwirkungen relativ seltener naturbeeinflusster Ereignisse, wie Hochwasserabläufe, Eisversetzungen, Vereisungen oder Treibzeugverklausungen, einstellen. Dies ist in unserem üblichen Vorstellungsbereich der bei Risikobewertungen üblicherweise zu betrachtende außergewöhnliche Fall.

Das Treibzeug besteht bei den großen reißenden Alpenflüssen meistens aus entwurzelten Bäumen, die sich pulkartig vor den Wehranlagen sammeln, sich verklausen und nur schwer entfernt werden können. Besonders bei einem Hochwasser mit gleichzeitig sehr starken Treibzeuganfall bereitet seine rechtzeitige Beseitigung große Schwierigkeiten. Wenn sich das Treibzeug vor der Wehranlage so verklaut, dass die Schützen nicht mehr bewegt werden können, kommt es zu einem Überstau. Dieser kann im Oberwasser der Anlage zu Überschwemmungen führen und in der Anlage selbst zu einer Belastung, die zur Gefährdung der Standsicherheit und bis zum Versagen führen kann.

Viele Stauanlagen verfügen deshalb über einen planmäßigen Notüberlauf, der den Überstau soweit begrenzt, dass unter einem außergewöhnlichen Stauziel und unter Ansatz von abgeminderten Sicherheitsbeiwerten bei der Standsicherheit der Gesamtanlage ein gewisser gerade noch zulässiger Grenzzustand nicht überschritten wird.

Was passiert aber, wenn sich dieser Notüberlauf auch noch verlegt?

Ein derartiger Fall ließ sich beim Kraftwerk Rheinfelden beobachten. Bei einem Versagen der Wehranlage oder einem Notschluss des Kraftwerkes dient normalerweise die mit Notüberläufen versehene Kanalmauer als unabhängig arbeitende Entlastung. Durch großen Treibzeuganfall bei Hochwasser wurde aber der Einlauf des Kanals so verlegt und beschädigt, dass sich diese Verklausung nicht mehr beseitigen ließ. Hätte gleichzeitig noch die Wehranlage versagt, so wäre es zu einem unzulässigen Überstau gekommen. Vielleicht mag es übertrieben er-

scheinen, von so vielen gleichzeitig auftretenden unwahrscheinlichen Ereignissen auszugehen. Andererseits wäre es aber sicherlich beruhigend, für derartige Fälle eine Versagenswahrscheinlichkeit berechnen zu können und eine praktikable Notlösung bereit zu halten.

Eine einfache Risikobewertung der Gesamtanlage genügt hier nicht mehr zur Berechnung von Versagenswahrscheinlichkeiten, auch die Betriebssicherheit muss mit in die Betrachtung einbezogen werden. In dem skizzierten Beispiel wären dann die Rechenreinigungsanlage am Kanaleinlauf, die Möglichkeit der Befahrbarkeit der Bücke über den Kanaleinlauf mit schweren Hebezeugen und im Weiteren die Betriebssicherheit der Wehranlage zu betrachten. Diese besteht wiederum aus vielen getrennten Wehrfeldern unterschiedlicher Konstruktion und somit vielen Versagensmöglichkeiten. Man könnte dann für derartige Fälle, nämlich das gleichzeitige Auftreten von außergewöhnlichen Hochwasserereignissen und dem betrieblichen Versagen mehrerer Anlagenteile, die Vorkommnisse und Anlagen getrennt analysieren und der Stauanlage daraus eine gewisse Versagenswahrscheinlichkeit zuordnen.

Treibzeug und Hochwasser sind hier nur ein Beispiel für das Vorkommen einer außergewöhnlichen Belastung. Andere denkbare Faktoren wären die Einwirkungen aus Eisstau oder Auskolkungen durch außergewöhnliche Erosion bei Katastrophenhochwasser.

Es ist auch vorstellbar, dass außergewöhnliche Ereignisse mit Revisionsfällen zusammentreffen, bei denen die verfügbare Standsicherheit sowieso für den Revisionsfall schon voll aufgezehrt ist.

In letzter Zeit ist auch besonders die Bedrohung durch Sabotage oder Terroranschläge in den Blickpunkt der Öffentlichkeit gerückt. Auch hier ließen sich durch die Risikoanalyse unter Einbeziehung der Betriebsvorgänge dann Versagenswahrscheinlichkeiten berechnen. Dies führt zu der Frage, ob man bei der Berechnung von Versagenswahrscheinlichkeiten an Stauanlagen nicht eine allgemeine Vorgehensweise empfehlen könnte.

4 ANSATZ FÜR VERSAGENSWAHRSCHEINLICHKEITEN AN STAUANLAGEN UNTER EINBEZIEHUNG DES BETRIEBSVERHALTENS

Eine Stauanlage, die aus einem Wehr, einem Kraftwerk und einem Kanal besteht, stellt ein technisches System dar, das aus verschiedenen baulichen Elementen und den dazugehörigen maschinentechnischen und elektrischen Betriebseinrichtungen besteht. Dazu gehören Verschlüsse, Antriebe, Steuerungseinrichtungen und

vieles andere mehr. Für die Betrachtung des Versagens genügt es jedoch nicht, die Komponenten einzeln zu betrachten, wie dies schon an den voran gegangenen Beispielen erläutert wurde. Die einzelnen Komponenten müssen vielmehr in ihren Versagensmechanismen kombiniert werden. Daraus folgen gewisse Abhängigkeiten: Ein Fehler kann den nächsten verstärken oder auch nicht. Es ergibt sich dann folgende Einteilung.

Wenn bereits ein Fehler in einer Komponente der Anlage das Versagen der gesamten Anlage bewirken würde, kann die Versagenswahrscheinlichkeit auf die jeweilige Komponente bezogen werden. Die Komponenten sind in dieser Anordnung nacheinander geschaltet. Man sagt auch, sie sind in Serie geschaltet und spricht von Seriensystemen. Diese sind intakt, wenn alle Komponenten intakt sind. Ein Versagen einer Komponente führt zum Versagen des ganzen Systems.

Fehlerhafte Komponenten kann man auch durch eine Ersatzkomponente umgehen. Die Systeme sind intakt, wenn mindestens eine Komponente intakt ist. Die Komponenten sind dabei parallel geschaltet. Man spricht auch von Parallelsystemen. Parallelsysteme sind häufig reparierbar. Fällt also eine Komponente aus, so kann sie ausgetauscht oder repariert werden. Die mögliche Reparaturdauer ist dann für die Möglichkeit des Versagens in der Gesamtanlage entscheidend.

Aus der Analyse der einzelnen Komponenten und der Einordnung der Anlagen entweder als Seriensystem oder Parallelsystem können gegenüber einer einfachen Betrachtung als Gesamtsystem wesentlich erweiterte Aussagen Versagenswahrscheinlichkeit und zur Betriebssicherheit getroffen werden. Dazu benötigt man die entsprechenden Methoden zur Berechnung von Versagenswahrscheinlichkeit mehrerer hintereinandergeschalteter technische Systeme. Diese sind boolesche Modelle und können als Fehlerbaum analysiert werden (*DIN 25424*).

Eine allgemeine Untersuchung von Wehranlagen mit einer Fehlerbaumanalyse wurde bereits von *KALENDA, 1991*, vorgenommen. Darüber hinaus müssen aber auch außergewöhnliche Ereignisse und deren Kombinationen und die Reaktionen des Systems auf diese Einwirkungen und deren Widerstände zusammengestellt und analysiert werden.

Es werden zunächst die einzelnen Komponenten untersucht beschrieben und eingeordnet. Die einzelnen Bauteile werden wie üblich durch Rechnung und zahlenmäßig belegbare Grenzzustände nachgewiesen. Für das Bemessungshochwasser gibt uns die Hydrologie die entsprechende Auftretenswahrscheinlichkeit, das Versagen von elektrischen und maschinellen Einrichtungen wird durch statistische Auswertung von Erfahrungswerten beurteilt. Für das Auftreten nicht einzuordnender Ereignisse, wie Sabotage oder außergewöhnliche Verklausungen durch Treibzeug bei Hochwasser, können freie Schätzungen als hinreichend wahrscheinliche Größen angesetzt werden. Falls alle Werte zur Verfügung stehen,

kann daraus, wie oben beschrieben, eine Eintrittswahrscheinlichkeit für den Schadensfall berechnet werden, der zu einem Versagen der Stauanlage führen könnte.

5 SCHLUSSBEMERKUNG

Bleibt auch die Vorausberechnung der Wahrscheinlichkeit der Eintritts eines Schadens schwierig oder vergleichbar unpräzise, so erscheint die Erkenntnis viel wertvoller, dass aus einer sorgfältigen Analyse von Stauanlagen unter Einbeziehung außergewöhnlicher Ereignisse, wie zum Beispiel der skizzierte Treibzeuganfall und das mögliche Versagen der betrieblichen Einrichtungen, zu einer vorbeugenden Betriebsführung bzw. vorbeugenden Instandhaltung führen kann. Dadurch werden mögliche Schadensfälle frühzeitig erkannt und können auf diese Weise verhindert werden.

Literatur:

DIN 19700

DIN 25424 Fehlerbaumanalyse

Hack, H.-P. (1991) - Schadensfälle im Zusammenhang mit dem Betrieb von Wasserkraftanlagen, DVWK-Seminar „Schadensfälle im Wasserbau“, Dresden, 25.04.1991

Kalenda, R. (1991) - Zur Quantifizierung der Versagenswahrscheinlichkeit beweglicher Wehre, Bericht Nr. 62, Lehrstuhl für Wasserbau, TU München, 1991

Neubau Rheinfelden: Das Dornröschenkraftwerk , [www/naturenergie.de](http://www.naturenergie.de)

Autor:

Univ.-Prof. Dr.-Ing. H.-P. Hack

Bauhaus-Universität Weimar

Lehrstuhl für Wasserbau

99423 Weimar

Marienstr. 13

Tel.: ++49 – 3643 – 518747

Email: hans-peter.hack@bauing.uni-weimar.de