

# HENRY

Hydraulic Engineering Repository

Ein Service der Bundesanstalt für Wasserbau

---

Conference Paper, Published Version

**Bornschein, Antje**

## **Konsequenzen beim Versagen von Stauanlagen Risikobetrachtung bei inhomogenen Dämmen**

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/20.500.11970/103267>

Vorgeschlagene Zitierweise/Suggested citation:

Bornschein, Antje (2017): Konsequenzen beim Versagen von Stauanlagen  
Risikobetrachtung bei inhomogenen Dämmen. In: Technische Universität Dresden, Institut  
für Wasserbau und technische Hydromechanik (Hg.): Bemessung im Wasserbau -  
Klimaanpassung, Untersuchungen, Regeln, Planung, Ausführung. Dresdner Wasserbauliche  
Mitteilungen 58. Dresden: Technische Universität Dresden, Institut für Wasserbau und  
technische Hydromechanik. S. 125-134.

### **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.



# Konsequenzen beim Versagen von Stauanlagen Risikobetrachtung bei inhomogenen Dämmen

Antje Bornschein

Die Erstellung von Katastrophenschutzplänen für den hypothetischen Bruch eines Staubauwerkes basiert auf verschiedenen Bruchszenarien. Derzeit existieren viele empirische Formeln und einige Sedimenttransportmodelle für die Breschenbildung, die jedoch nur für homogene Dämme entwickelt wurden. Der Artikel stellt zunächst einige historische Talsperrenbrüche vor, bei denen Dämme mit Dichtungen versagten. Danach werden Modellversuche zum Versagen von Dämmen mit und ohne Dichtungen erläutert. Es zeigt sich, dass der Einfluss der Dichtungselemente auf den Bruchverlauf auch abhängig von der Böschungsneigung des Dammes ist.

Stichworte: Talsperrenbruch, Modellversuche, Breschenausfluss

## 1 Motivation

Talsperren sind sichere Bauwerke. Jedoch stellt der Versagensfall ein Restrisiko dar. In vielen Ländern sind dem Betreiber oder Eigentümer des Absperrbauwerkes Studien zur Abschätzung des Restrisikos vorgeschrieben. Ergebnisse solcher Studien sind Katastrophenschutzpläne mit Informationen zum möglichen Überschwemmungsgebiet und zum Fortschreiten der Flutwelle mit Ankunftszeiten und maximalen Wasserständen. Zusätzlich werden Angaben zu zuständigen Behörden und Ansprechpartner, zum Ablauf notwendiger Evakuierungen usw. benötigt. Die Daten zum Ablauf einer hypothetischen Talsperrenbruchwelle beruhen im Allgemeinen auf hydro-numerische Berechnungen.

Eingangsgrößen für hydro-numerische Berechnungen sind neben geografischen Daten zum Gelände und zur Landnutzung mögliche Ganglinien für den Breschenausfluss. Letztere sind abhängig von der Art und Größe der Talsperre, der Bruchentwicklungszeit und Kenngrößen des Reservoirs wie der Wasserstands-Volumen-Beziehung und möglicherweise zu berücksichtigende Hochwasserszenarien.

Für die Erstellung von Ausflussganglinien für Staudämme stehen viele empirische Formeln zur Verfügung (*Wahl 1998*). Jedoch sind diese streng genommen

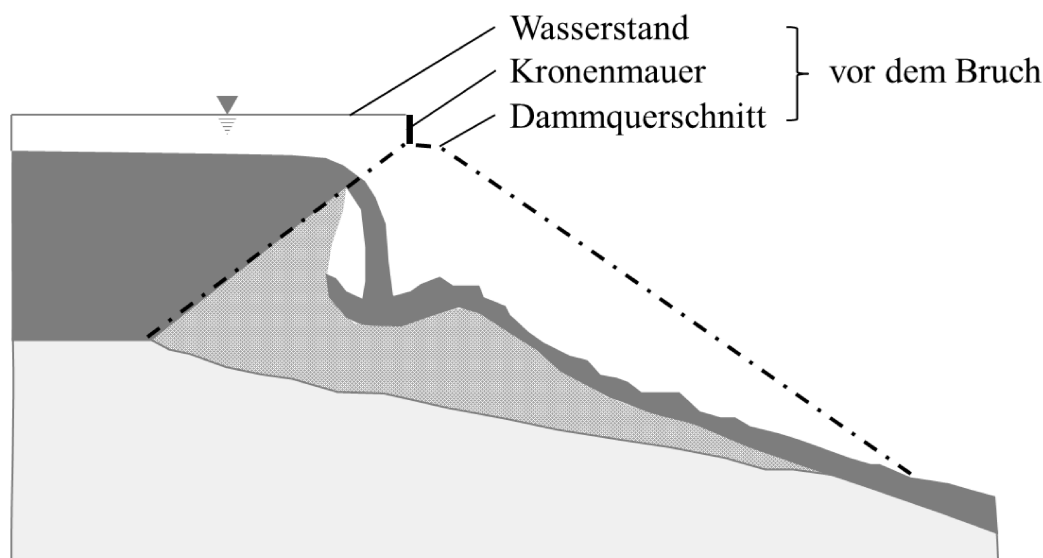
nur für homogene Dämme anwendbar. Der Einfluss von Dichtungselementen auf das Bruchverhalten ist noch nicht ausreichend untersucht und quantifiziert.

## 2 Beispiele historische Talsperrenbrüche

Nachfolgend sollen kurz einige Beispiele für historische Talsperrenbrüche von inhomogenen Dämmen dargestellt werden. Schwerpunkt liegt hierbei auf die Bruchentwicklung und wie diese möglicherweise durch die Dichtungselemente beeinflusst wurde. In Tabelle 1 sind wichtige Kenngrößen zu den vorgestellten Talsperren zusammengefasst.

### Taum Sauk

Das Oberbecken des Pumpspeicherkraftwerkes Taum Sauk in Missouri, USA hatte einen Steinschüttdamm mit einer Außendichtung als Staubauwerk. Am 14.12.2005 am Ende des Pumpzyklus kam es zu einer Überströmung der Kronenmauer an mehreren Stellen. Erst 20 Minuten später stoppten die Pumpen. Da hatte die Breschenbildung bereits begonnen. Nach 8 Minuten trat der maximale Breschenausfluss ein. Innerhalb von 35 Minuten war das Becken mit einem Inhalt von 5,38 Mio. m<sup>3</sup> ausgelaufen. (FERC 2006)



**Abbildung 1:** Bruch des Oberbeckens des Pumpspeicherkraftwerkes Taum Sauk, USA, Zustand ca. 5 Minuten nach dem Versagen der Kronenmauer, ca. 50 % des Dammkörpers sind abgetragen (nach Rogers et al. 2010)

Nachfolgende Berechnungen (Rogers et al. 2010) zeigten, dass die Außendichtung aus bewehrtem Beton maßgeblich dafür verantwortlich war, dass der Erosionsprozess so schnell verlief. Der Beton bildete ein scharfkantiges Wehr und begünstigte die schnelle Ausbildung eines tiefen Kolkes unterhalb (vgl. Abbil-

dung 1). Der verbliebene Rest des Dammes brach dann, zusammen mit dem Außendichtung, sehr schnell und erzeugte einen sehr großen Ausflussscheitel.

**Tabelle 1** Kenngrößen von historischen Talsperrenbrüchen.

Talsperre	Dammhöhe [m]	Bruchentwicklungszeit [h]	Maximaler Ausfluss [m <sup>3</sup> /s]	Quelle
Taum Sauk	25,6	0,33	7730	<i>FERC 2006</i>
Ibrastausee	10	k. A.	600	<i>Glatthaar &amp; Kuttler 1979</i>
Dehli	13,1	1,5	1960	<i>IPE 2010</i>
Gouhou	71	„rasch“	15000	<i>Vischer 1994</i>

### Ibrastausee

Der Ibrastausee ist ein Freizeitsee in Hessen. Der Damm mit Außendichtung aus Asphalt wurde 1974-1975 erbaut. In der Zeit von Dezember 1975 bis Mai 1977 wurden mehrere Probestaue durchgeführt, wobei immer wieder Undichtigkeiten und Leckagen festgestellt wurden. Eine endgültige Abnahme des Staubauwerkes erfolgte nicht (*MLU 1977*).

Am 22.8.1977 wurde zunächst ein Wasseraustritt am Damm in Form einer Fontäne festgestellt. Kurz nach 15:00 brach der Damm. Linke untere Begrenzung der Bresche war der Grundablass, was auf eine Sickerröhrenbildung als mögliche Bruchursache hinweisen würde. Als mögliche Ursachen wurden Baumängel oder Planungsfehler vermutet, die genaue Ursache wurde jedoch nie ermittelt. (*HR-online 2012*) Leider kann der genaue zeitliche Ablauf des Bruches nicht mehr rekonstruiert werden.

### Dehli

Die Talsperre Dehli in Iowa, USA war 1922-1929 als ein Kombinationsbauwerk mit Erdschüttdämmen links und rechts eines Massivbauwerkes erbaut worden. Das Massivbauwerk enthielt ein Krafthaus und die Hochwasserentlastungsanlage. Der rechte Erdschüttdamm, der während eines Hochwasserereignisses 2010 gebrochen ist, hatte als Dichtungselement eine Kernmauer, die aber nur bis in eine Höhe von ca. 1,8 m unterhalb der Dammkrone reichte (*IPE 2010*).

Beim Hochwasser am 24.7.2010 konnte die Hochwasserentlastungsanlage das Wasser nicht vollständig abführen, auch weil eins der drei Tore nicht vollständig geöffnet werden konnte. Durch den hohen Wasserstand kam es zunächst zu einer Durchströmung des Bauwerkes mit Sickerröhrenbildung. Gegen 10:00 begann die Überströmung des rechten Dammes. Nachdem der Belag der Straße, die auf der Dammkrone verlief, abgetragen wurde, erfolgte eine von unten nach oben fortschreitende Erosion des luftseitigen Dammkörpers. Die Dichtungsmau-

er hielt der Überströmung noch eine Zeitlang stand, bis sie schließlich gegen 13:00 zerbrach. (*IPE 2010*)

### **Gouhou**

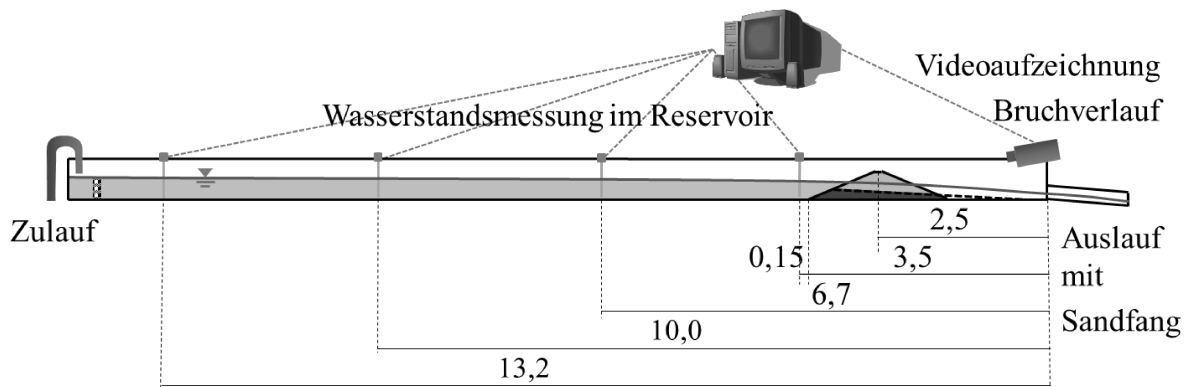
Die Talsperre Gouhou liegt in China und wurde 1988 in Betrieb genommen. Kurz nach dem Ersteinbau gab es starke Sickerwasserverluste. Nach einer Reparatur an der Außendichtung aus bewehrtem Beton wurde die Talsperre im Teilstau betrieben und keine Sickerwasseraustritte mehr beobachtet. Doch ab Juli 1993 wurde der Wasserspiegel wieder angehoben, am 26.8.1993 der Vollstau erreicht. Einen Tag später brach der Damm. Die Breschenbildung wird als rasch beschrieben, was auf den Einfluss der Außendichtung zurückgeführt werden könnte. (*Vischer 1994*)

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass sowohl Innen- als auch Außendichtungen die Breschenentwicklung eines Dammes beeinflussen können. Für Außendichtungen ist dokumentiert, dass sie wie ein Wehr wirken und so eine schnelle Erosion des Dammmaterials durch Auskolkung befördern. Für Innendichtungen ist dies nicht so eindeutig nachzuweisen. Wenn die Innendichtung aus einem ausreichend stabilen Material besteht, kann sie den Bruchprozess verlangsamen, indem sie z. B. einer Überströmung noch einige Zeit standhält. Jedoch ist auch in diesem Fall darauf hinzuweisen, dass die Wasserspiegeldifferenz aufrecht gehalten und im Fall des Bruch eine großer Fließquerschnitt plötzlich freigegeben wird.

## **3 Modellversuche**

Zwischen 2013 und 2016 wurden im Hubert-Engels-Labor des Institutes für Wasserbau und Technische Hydromechanik der TU Dresden hydraulische Modellversuche zum Bruchverhalten von inhomogenen Dämmen durchgeführt. Der prinzipielle Versuchsaufbau, die Versuchsdurchführung und die verwendete Messtechnik wurden schon in *Bornschein (2014)* vorgestellt. In Abbildung 2 ist eine Skizze des Versuchstandes gezeigt. In Tabelle 2 sind die Parameter für die 4 Versuchsreihen zusammengestellt.

Insgesamt wurden 34 Versuche durchgeführt. Der Modelldamm war dabei bei 32 Versuchen 0,4 m hoch. Bei den anderen 2 Versuchen wurde das Bruchverhalten eines 0,3 m hohen und eines 0,2 m hohen Dammes untersucht. Wesentliches Unterscheidungskriterium für die einzelnen Versuchsreihen war die Böschungneigung, wobei sowohl die Wasserseite als auch die Luftseite des Dammes die gleiche Neigung aufwiesen.



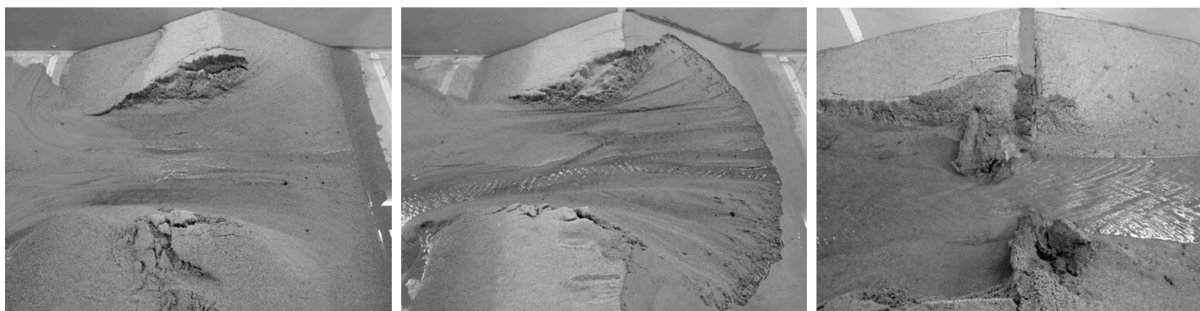
**Abbildung 2:** Skizze Versuchsstand und Messgeräte für die Versuchsreihe 1 (Längsschnitt, Maßangaben in [m], Bildquelle: *Bornschein 2014*)

Nach dem Aufbau des Modelldammes und der Herstellung einer Initialbresche wurde das Reservoir gefüllt bis der Kronenstau erreicht wurde bzw. ein signifikanter Ausfluss aus der Initialbresche den Bruchvorgang eingeleitet hatte. Der Ausflussvorgang mit Breschenbildung wurde in einem Film dokumentiert und der zeitabhängige Wasserstand im Reservoir vermessen.

**Tabelle 2** Parameter und Anzahl der Modellversuche.

Versuchsreihe	Böschungsneigung	Anzahl Versuche ohne Dichtung	Anzahl Versuche mit Dichtung
1	1:2,5	5	3
2	1:4	6	3
3	1:3,25	11	4
4	1:1,7	-	2

Nach dem Leerlaufen des Reservoirs wurde die Größe der Endbresche (vgl. Abbildung 3) aufgemessen. Dafür kamen verschiedenen Messverfahren zum Einsatz.



**Abbildung 3:** Bresche eines homogenen Damms (links), eines Damms mit Außendichtung (Mitte) und eines Damms mit Innendichtung (rechts).

Bei der Versuchsreihe 2 wurde z. B. ein 3D-optisches Messsystem von AICON verwendet. In der Versuchsreihe 3 wurden Querschnitte der Bresche mit einer

Laserabstandsmessung aufgenommen. Weitere Details zu den Modellversuchen finden sich in *Bornschein (2014)*.

## 4 Auswertung

In Tabelle 3 ist der maximale Breschenausfluss für 3 Versuchsreihen zusammengefasst. Bei mehreren Versuchen zum gleichen Modelldamm (gleiche Böschungsneigung, gleiches Dichtungselement) ist der Mittelwert aus den Versuchen aufgeführt. In Abbildung 4, 5 und 6 sind die zugehörigen Ganglinien zu sehen.

**Tabelle 3** Ergebnisse der Modellversuche – Maximaler Breschenausfluss.

Böschungsneigung	Dammart/ Dichtungselement	Maximaler Ausfluss [m <sup>3</sup> /s]	Max. Ausfluss [%]
1:2,5	homogen	0,047	100
1:2,5	Außendichtung	0,063	135
1:2,5	Innendichtung	0,062	132
1:3,25	homogen	0,035	100
1:3,25	Außendichtung	0,044	125
1:3,25	Innendichtung	0,056	157
1:4	homogen	0,027	100
1:4	Außendichtung	0,029	108
1:4	Innendichtung	0,023	86

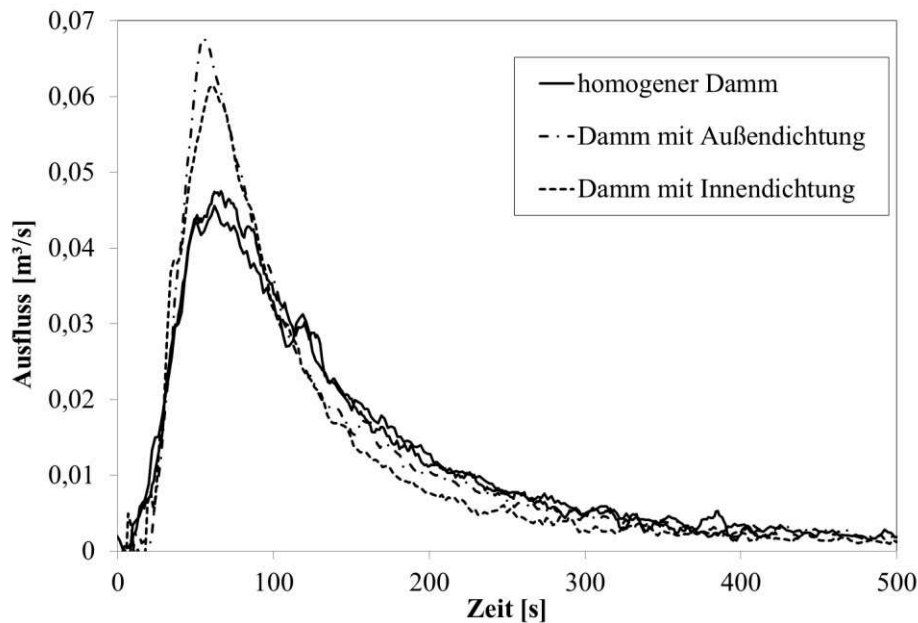
Aus den Ergebnissen in Tabelle 3 kann geschlossen werden, dass ein Damm mit einer steileren Böschungsneigung und damit einem schmaleren Dammquerschnitt schneller erodiert und einen größeren maximalen Breschenausfluss erzeugt. Dies gilt auch für Dämme mit Dichtungselementen.

Da die vorhandenen empirischen Modelle mehrheitlich für homogene Dämme gelten, ist es wichtig zu untersuchen, inwieweit sich der maximale Breschenausfluss bei einem Damm mit Dichtungselement gegenüber einem homogenen Damm verändert. Dafür wurde in Tabelle 3 der maximale Breschenausfluss als Referenzwert genommen und die prozentuale Veränderung für die Dämme mit Dichtungen bestimmt.

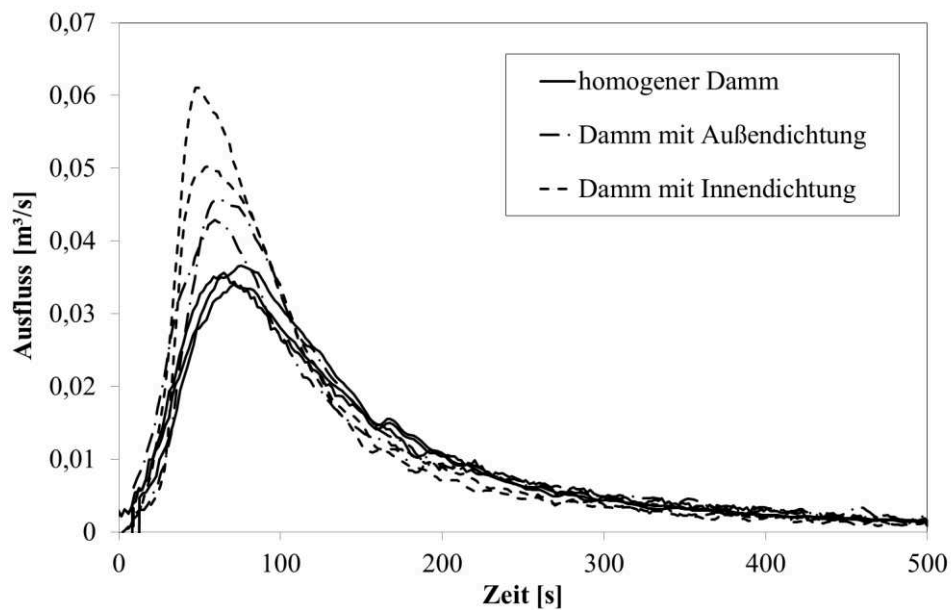
Für die Dämme mit einer Außendichtung ergibt sich immer ein höherer maximaler Breschenausfluss gegenüber den homogenen Dämmen. Darüber hinaus ist die prozentuale Zunahme umso größer, je steiler die Böschungsneigung ist.

Für die Modelldämme mit Innendichtung ist das Ergebnis nicht eindeutig. Für die beiden Böschungsneigung 1:2,5 und 1:3,25 ergibt sich ein deutlich höherer

maximaler Breschenausfluss, für die Böschungsneigung von 1:4 jedoch nicht. Auch ergibt sich die höchste prozentuale Zunahme nicht für die steilste Böschungsneigung. Hier ist der tatsächliche Bruchmechanismus der Mauer entscheidend. Bleibt sie aufgrund der eigenen Stabilität stehen und bricht „im Ganzen“ oder versagt sie schrittweise.



**Abbildung 4:** Ausflussganglinien (Böschungsneigung 1:2,5).

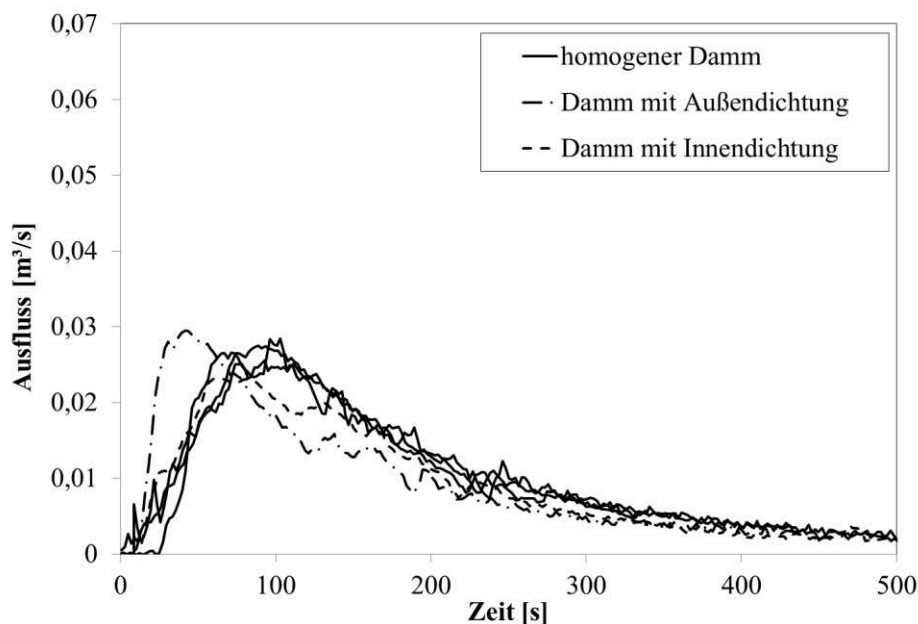


**Abbildung 5:** Ausflussganglinien (Böschungsneigung 1:3,25).

Die inkonsistenten Ergebnisse bei den Modelldämmen mit Innendichtungen können auch auf Modelleffekte zurückzuführen sein. Es ist nicht sicher, ob die



errichteten Innendichtungen immer die gleichen Eigenschaften, wie z. B. die Breite, aufwiesen. Auf jeden Fall bedarf es hier weitere Untersuchungen.



**Abbildung 6:** Ausflussganglinien (Böschungsneigung 1:4).

Die Analyse der Modellversuche umfasste des Weiteren die Endbreschengröße, das erodierte Volumen sowie die zeitliche Entwicklung der Breschenbreite und -tiefe. Die Daten werden demnächst veröffentlicht und stehen zur Verifizierung empirischer und numerischer Modelle zur Verfügung.

## 5 Zusammenfassung und Ausblick

Eine Analyse von historischen Talsperrenbrüchen zeigt einen dokumentierten Einfluss einer Außendichtung auf die Breschenentwicklung. Durch die Ausbildung eines Wehrüberfalles an der Kante der Außendichtung wird der Erosionsprozess durch Kolkbildung unterhalb stark beschleunigt. Bei Dämmen mit Innendichtungen wird dagegen vermutet, dass sie den Bruchprozess verlangsamen, weil sie bei ausreichender Standsicherheit dem Wasserdruck noch etwas länger standhalten können. Dies spielt im Katastrophenmanagement eine wichtige Rolle.

Es wurden Modellversuche zum Bruchverhalten von Dämmen mit und ohne Dichtung vorgestellt. Ausführlich wurde der maximale Breschenausfluss betrachtet.

Für die Dämme mit einer Außendichtung ergibt sich für alle 3 Versuchsreihen ein höherer maximaler Breschenausfluss als bei den homogenen Dämmen mit

gleicher Böschungsneigung. Darüber hinaus ist die prozentuale Zunahme des maximalen Ausflusses umso größer, je steiler die Böschungsneigung ist.

Für die Modelldämme mit Innendichtung ist das Ergebnis nicht eindeutig. Für die beiden Böschungsneigung 1:2,5 und 1:3,25 ergibt sich ein deutlich höherer maximaler Breschenausfluss, für die Böschungsneigung von 1:4 jedoch nicht. Auch ergibt sich die höchste prozentuale Zunahme nicht für die steilste Böschungsneigung. Weitere Untersuchungen sind hier notwendig.

## 6 Danksagung

Die Autorin möchte sich an dieser Stelle bei der Gesellschaft der Förderer des Hubert-Engels-Institutes für Wasserbau und Technische Hydromechanik e.V. für die finanzielle Unterstützung beim Bau des Versuchstandes bedanken. Den Aufbau des Versuchstandes übernahmen Herr Just und Herr Gräfe. Die Messtechnik lag in den Händen von Herrn Martin. Bei allen möchte ich mich für ihre Unterstützung bedanken.

An dem Versuchstand haben viele Studenten einen Teil ihrer universitären Ausbildung abschließen können. Ich möchte mich bei Christina Ruggeri, Gözde Aklan, Sabin Pahari, Anne Häschel, Lydia Hermann und Tommy Breuer für ihre Arbeit bedanken.

## 7 Literatur

- Bornschein, A. (2014): Breschenentwicklung bei Dämmen mit Dichtungen. In: Wasserbauliche Mitteilungen, Institut für Wasserbau und Technische Hydromechanik, TU Dresden, Heft 50, S. 303-312
- Wahl, T. L. (1998): Prediction of Embankment Dam Breach Parameters – A Literature Review and Needs Assessment. U.S. Department of the Interior, Bureau of Reclamation, Dam Safety Office, DSO-98-004, Juli 1998
- FERC (2006): Report of Findings on the Overtopping and Embankment Breach of the Upper Dam – Taum Sauk Pumped Storage Project, FERC No. 2277, 28.4.2006
- Glatthaar, D., Kuttler, W. (1979): Dambruchbedingte Hochwasserschäden auf Talauen. Natur und Museum, Bd. 109, Heft 5, Frankfurt a.M., S. 156-164
- HR-Online (2012): Als der Seepark-Staudamm brach. Hessenschau vom 8.2.2012, <http://www.hr-online.de/website/archiv/hessenschau/hessenschau.jsp?t=20120208&type=v>, Zugriff am 4.4.2012
- IPE (2010): Report on Breach of Dehli Dam. Independent Panel of Engineers, 1.12.2010

- MLU (1977): Antwort des Ministers für Landwirtschaft und Umwelt auf die kleine Anfrage des Abg. Stanitzek (CDU) betreffend Staudammbruch in Kirchheim, Landtag Hessen, Drucksache 8/5380 vom 12.12.1977, <http://starweb.hessen.de/cache/DRS/08/0/05380.pdf>, Zugriff am 5.1.2016
- Rogers, J. D., Watkins, C. M., Chung, J.-W. (2010): The 2005 Upper Taum Sauk Dam Failure – A Case History. Environmental & Engineering Geoscience, Vol. XVI, Nr. 3, August 2010, S. 257-289
- Vischer, D. (1994): Bruch einer chinesischen Talsperre. Wasser, Energie, Luft, 86. Jg. Heft 3/4, S. 114

**Autor:**

Dr.-Ing. Antje Bornschein

Institut für Wasserbau und Technische Hydromechanik  
Technische Universität Dresden  
01062 Dresden

Tel.: +49 351 46334696  
Fax: +49 351 46337141  
E-Mail: [antje.bornschein@tu-dresden.de](mailto:antje.bornschein@tu-dresden.de)