

**Zeitschrift:** Wasser Energie Luft = Eau énergie air = Acqua energia aria  
**Herausgeber:** Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband  
**Band:** 90 (1998)  
**Heft:** 1-2: Centrales nucléaires suisses: presque 24 milliards de kWh sans émissions de CO2

**Artikel:** Grundbauliche Aspekte von Hochwasserschutzdämmen  
**Autor:** Lang, Hans-Jürgen  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-939378>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 17.05.2025

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

# Grundbauliche Aspekte von Hochwasserschutzdämmen

Hans-Jürgen Lang

## Einleitung

Hochwasserschutzdämme, in Deutschland auch Deiche genannt, sind eine aktuelle Frage des Bauwesens, man denke an die Schäden im Kanton Uri durch die von der Reuss verursachten Überschwemmungen im Jahre 1987 oder an die Vorkommnisse an der Oder im August 1997, um nur zwei Beispiele herauszugreifen. Wie der Name sagt, haben diese Bauwerke wasserbauliche Aspekte. Die Bauwerke selbst bestehen meist aus dem Baustoff Boden und sind, wie die meisten Bauwerke, auf dem Boden fundiert. Sie beinhalten also auch grundbauliche Aspekte. Auf diese bezieht sich dieses Referat. Klar ist, dass auch hier eine exakte Trennung von wasserbaulichen und grundbaulichen Aspekten weder sinnvoll noch erwünscht erscheint.

## Versagensmechanismen von Hochwasserschutzdämmen

Das wird schon bei einer wesentlichen Frage sichtbar: Beim Versagensmechanismus eines solchen Dammes infolge Überströmens (Bild 2). Ein Überströmen eines Hochwasserschutzdammes ist ohne eine entsprechende konstruktive Ausbildung des Dammes praktisch gleichbedeutend mit dem Versagen des Bauwerkes. Eine konstruktive Ausbildung, die das Überströmen des Dammes schadlos zulassen würde, ist viel zu aufwendig, als dass sie auf der ganzen Dammlänge angewendet werden könnte. In diesem Referat wird daher vorausgesetzt, dass das Überströmen des Dammes an einer beliebigen Stelle durch ein wasserbauliches Konzept ausgeschlossen wird.

Nachdem so (elegant) eine Möglichkeit des Versagens eines Hochwasserschutzdammes aus dem Problembereich dieses Referates eliminiert wurde, stellt sich die Frage nach den wichtigsten anderen Versagensmechanismen. Sie können wie folgt aufgelistet werden, wobei das Bild 1 gewisse Bezeichnungen verdeutlichen soll:

- Hydraulischer Grundbruch am luftseitigen Dammfuss (Bild 3),
- Instabilität (Ableiten) des Dammkörpers unter dem Einfluss des Strömungsdruckes  $S$  im durchströmten Teil des Dammes und des Untergrundes (Bild 4),
- Erosion an der luftseitigen Böschung des Dammes, die durch immer weiteres Rückschreiten schliesslich zum Versagen des ganzen Dammes führt (Bild 5),
- Erosion im Inneren des Dammkörpers, verursacht durch einem inhomogenen Aufbau des Dammes, so dass die Filterkriterien örtlich nicht eingehalten sind (Bild 6). Diese Versagensart kann auch durch andere Ursachen, wie z.B. Gänge von Tieren oder abgestorbene Wurzeln von Bäumen, bewirkt werden.

Die sehr schematischen Bilder haben das Ziel, diese wichtigsten Versagensursachen zu verdeutlichen. Bei den beiden letztgenannten Vorgängen ist die Erosion des Dammkörpers ausschlaggebend. Diese kann unbemerkt, quasi schleichend, von Hochwasser zu Hochwasser zunehmen und irgendwann (quasi «plötzlich») beim nächsten Hochwasserereignis zum Versagen führen. Das Beispiel verdeutlicht, dass Hochwasserschutzdämme durchaus einen mit zunehmendem Alter sich verschlechternden Zustand aufweisen können. Dies trifft auch z.B. zu auf ein unbemerktes Versagen von Drainagen (Bild 4), deren Ver-

stopfung zu einer Hangquelle (Bild 5) und damit zu Erosion und anschliessend «irgendwann» zum Versagen des Bauwerkes führen kann.

Der Versuch, die oben aufgelisteten Versagensursachen nach ihrer Auftretenswahrscheinlichkeit zu ordnen, führt zu folgenden Überlegungen: Im Bild 1 sind zwei Wasserstände im Fluss eingezeichnet. Der untere stellt den «Normalfall» dar, während der obere die Ausnahmesituation markiert, gegen die der Hochwasserschutzdamm Schutz bieten soll. Im «Normalfall» ist der Untergrund, d.h. das Fundament des Dammes, weitgehend gesättigt (die Poren sind voll Wasser), evtl. mit Ausnahme einer obersten Schicht des Untergrundes an der Luftseite (Bild 7). Der Dammkörper selbst ist dagegen nur teilweise gesättigt (die Sättigungszahl  $S$  liegt – je nach der Grösse der Durchlässigkeit des Dammkörpers – weit unter 1,0). Der Dammkörper enthält viele luftgefüllte Poren.

Wenn nun ein Hochwasserereignis auftritt, wird die Erhöhung des Porenwasserdruckes im gesättigten Untergrund schnell eintreten und sich schnell vom Fluss bis zum luftseitigen Dammfuss fortpflanzen. Das kann dann am luftseitigen Dammfuss zu hydraulischem Grundbruch führen, der dann die Gesamtstabilität des Dammes in Frage stellt. Diese Gefahr kann wesentlich durch eine Schichtung des Untergrundes verschärft werden. Im Bild 3 ist dies durch eine oberste Schicht des Untergrundes mit kleinerem  $k$ -Wert angedeutet. Unter dieser Schicht ist der Porenwasserdruck so hoch, dass die Sicherheit gegenüber hydraulischem Grundbruch unter 1,0 liegt, d.h. der gezeichnete Damm würde eigentlich schon gar nicht mehr existieren. Begünstigt wird der rasche Anstieg des Poren-

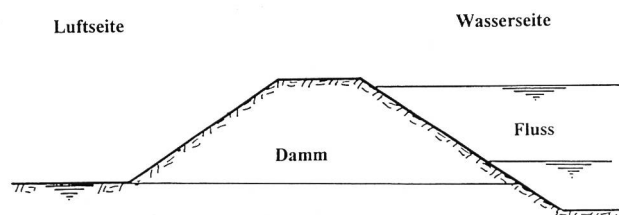


Bild 1. Bezeichnungen.

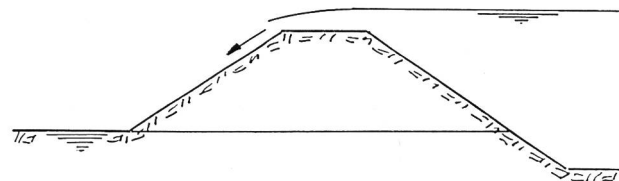


Bild 2. Damm wird überströmt.

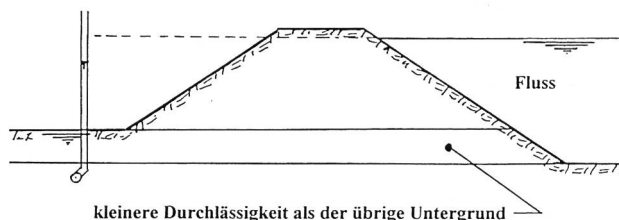


Bild 3. Hydraulischer Grundbruch beim luftseitigen Dammfuss.

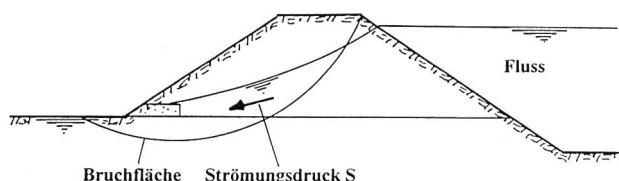


Bild 4. Abgleiten des Damms auf einer Bruchfläche, wesentlich mitverursacht durch Strömungsdruck.

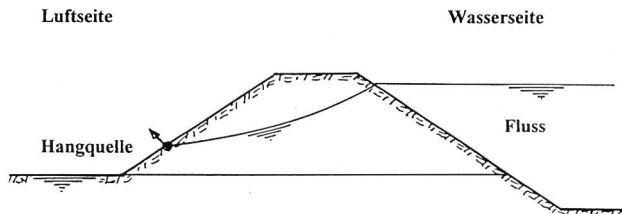


Bild 5. Erosion an der Böschung des Damms, ausgehend von der Hangquelle.



Bild 6. Erosion im Inneren des Damms, verursacht durch eine Dammszone mit zu grosser Durchlässigkeit (Filterkriterien zwischen dieser Zone und dem Damm nicht eingehalten).



Bild 7. Oberste Zone des Untergrundes nur teilweise gesättigt bei «normalem» Wasserspiegel im Fluss. Bei Anstieg auf Hochwasserniveau rascher Anstieg des Grundwasserspiegels bis Oberkante Boden.

wasserdruckes beim luftseitigen Dammfuss beim Fehlen einer so offensichtlich ungünstigen Schichtung des Untergrundes wie im Bild 3 durch die Tatsache, dass aus Sedimentation entstandene Böden immer in horizontaler Richtung wesentlich durchlässiger sind als in vertikaler Richtung. Im übrigen sind ungünstige Schichtungen des Untergrundes wie in Bild 3 in der Natur durchaus häufig, so auch in den Kantonen Uri (Reuss) und Wallis (Rhône).

Im Gegensatz zu der schnellen Fortpflanzung der Erhöhung des Porenwasserdruckes im Untergrund werden die Versagensmechanismen «Instabilität infolge Strömungsdruck» (Bild 4) und «Erosion des Dammkörpers» (Bilder 5 und 6) erst nach einiger Zeit effektiv bedrohlich, weil die Sättigung des Dammkörpers Zeit erfordert. Diese Zeit ist auch deshalb relevant, weil im Gegensatz zu dem als Sediment entstandenen Untergrund der Damm geschüttet wurde und deshalb hinsichtlich Durchlässigkeit weniger anisotrop sein wird. Die Strömungskräfte im Dammkörper und die Reduktion der Scherfestigkeit mit steigenden Porenwasserdrücken, welche diese Versagensarten auslösen, werden also zeitlich später wirksam (im Vergleich mit dem hydraulischen Grundbruch am luftseitigen Dammfuss).

Die Richtigkeit solcher Auffassungen wird durch die Ereignisse an der Oder im August 1997 bestätigt. Diese Ereignisse fanden in den Medien, vor allem auch im Fernsehen, breite Beachtung, so dass man auch vor dem Vorliegen exakter Dokumentationen Schlüsse ziehen kann. Die Beobachtung war, dass zeitlich zuerst immer Probleme am luftseitigen Dammfuss auftraten. An der Oder war es möglich, Abhilfe durch die Belastung des Bodens mit einer grossen Zahl von Sandsäcken zu schaffen. Das wird bei uns nicht der Fall sein: Die Hochwasserspitze ist bei uns (bedingt durch die geographische Lage) steil, aber kurz.

Die Vorwarnzeit ist so kurz, dass Notmassnahmen wie an der Oder sicher nicht realistisch sind.

Als Ausgleich für diesen Nachteil präsentiert unsere Situation auch einen Vorteil: Wir müssen nicht damit rechnen, dass das Flussbett lange Zeit (an der Oder waren es etwa drei Wochen) randvoll mit Wasser sein wird. Auch an der Oder wurde dies nicht als normal empfunden, wie aus einem Zitat des Umweltministers des Landes Brandenburg ersichtlich wird: «...ein Deich wird nicht dafür gebaut, dass das Wasser wochenlang an der Dammkrone steht». Dieser Vorteil bedeutet, dass die Versagensmechanismen des Damms, die erst mit der Sättigung des Dammkörpers voll wirksam werden und die an der Oder zuletzt so grosse Anstrengungen zur Abwehr erforderlich machten, bei uns weniger wahrscheinlich sein dürften. Man kann auch sagen, dass ein diesbezüglicher Sicherheitsnachweis (z.B. eine Stabilitätsberechnung unter der Wirkung des voll ausgebildeten Strömungsdruckes im Dammkörper – Bild 4) bei rein statischer Betrachtung verdeckte Sicherheiten enthält. Es macht also keinen grossen Sinn, für diese Versagensarten grosse rechnerische Sicherheiten zu fordern. Vielmehr muss das Problem des hydraulischen Grundbruches am luftseitigen Dammfuss konstruktiv (z.B. durch Entspannung des Wassers) und rechnerisch im Vordergrund der Überlegungen stehen. Bei den zum Teil schon ausgeführten und zum Teil geplanten Arbeiten in den Kantonen Uri und Wallis, bei denen der Referent und das Institut für Geotechnik der ETHZ involviert waren bzw. sind, wurden diese Überlegungen berücksichtigt.

## Sanierung von Hochwasserschutzdämmen

Beim Neubau von Hochwasserschutzdämmen («Neubaudämme») ist es aus der Sicht des Referenten immer möglich, eine angemessene Sicherheit des Bauwerkes gegen Versagen durch einen der oben erwähnten Mechanismen zu erreichen. Ausgenommen davon ist selbstverständlich

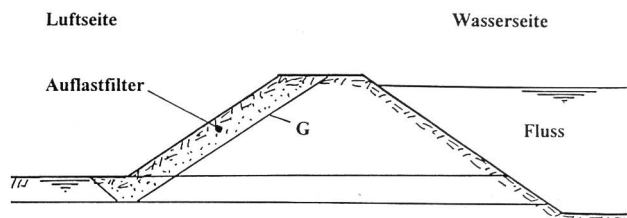


Bild 8. Schematische Darstellung des «Auflastfilters». Bedingung: Einhaltung der Filterkriterien an der Grenzfläche G.

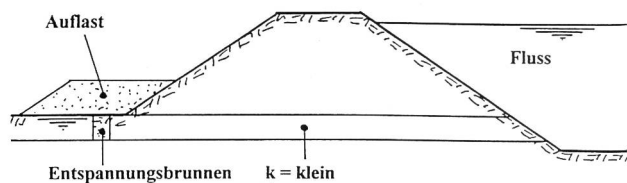


Bild 9. Schematische Darstellung der Auflast am luftseitigen Dammfuss mit Entspannungsbrunnen.

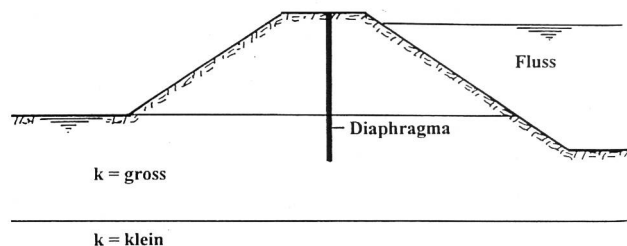


Bild 10. Sanierung mittels eines Diaphragmas.

das Überströmen des Dammes. Die Gründe dafür sind oben dargelegt. In diesem Referat wird daher die Frage der Neubaudämme nicht weiter behandelt. Anders präsentiert sich die Sachlage bei der Sanierung von bestehenden Dämmen. Diese sind in der Regel ziemlich alt und zeichnen sich dadurch aus, dass sie inhomogen aufgebaut und – nach unseren heutigen Vorstellungen – kaum verdichtet sind. Auf die Frage der Sanierung bzw. Verstärkung/Erhöhung von bestehenden Dämmen soll hier noch ganz kurz eingegangen werden.

Ein zentrales Problem bei der Sanierung ist die Frage, wie man diejenigen Abschnitte der Dämme erkennen bzw. lokalisieren kann, bei denen eine Sanierung notwendig ist, oder anders gesagt: Welche Abschnitte bedürfen keiner Sanierung? Meiner Meinung nach ist es teuer und zudem eine Illusion zu glauben, man könne diese Lokalisierung mit Hilfe eines Rasters von Aufschlussbohrungen oder ähnlichem mit Sicherheit bewerkstelligen. Dabei ist noch zu bedenken, dass nicht alleine der Zustand oder Aufbau des Dammes bekannt sein muss, sondern auch die Untergrundverhältnisse.

Im Vordergrund stehen deshalb andere Vorgehensweisen. Eine davon ist die Beobachtung des Dammes und seines luftseitigen Vorlandes während Hochwasserabflüssen. Das Problem dabei ist, dass nur grössere Hochwasser relevante Beobachtungen erlauben, was bedeutet, dass man darauf angewiesen ist, dass während der Planungszeit mindestens ein solches Ereignis auch wirklich eintritt. In einer kurzen Planungsphase dürfte dies prohibitiv sein.

Deshalb drängt es sich auf, Sanierungsmethoden zu wählen, die entweder einen flächenhaften Einblick in den bestehenden Damm erlauben oder/und auf die ganze Dammlänge angewendet werden. Die erstgenannte Vorgehensweise wurde im Kanton Uri gewählt, in Form eines so-

genannten «Auflastfilters» (Bild 8). Ein Teil des Dammes wird flächenhaft abgetragen und durch den Auflastfilter ersetzt. Die Bedingungen für das Material des Auflastfilters sind, dass er durchlässig genug ist, um Hangquellen zu vermeiden (Bild 5), und dass die Filterkriterien zwischen dem verbleibenden Dammkörper und dem Auflastfilter eingehalten sind. Wo dies lokal nicht gegeben ist, kann ein Geotextil eingesetzt werden. Eine ähnliche Idee ist im Bild 9 schematisch dargestellt: eine Auflast am luftseitigen Dammfuss, kombiniert mit Entspannungsbrunnen, die den hydraulischen Grundbruch am luftseitigen Dammfuss verhindern sollen. Solche Ideen werden zurzeit für Massnahmen an der Rhône im Raum Fully diskutiert. Eine weitere Möglichkeit sind Diaphragmen (Bild 10). Problematisch daran können die veränderten Wasserdrücke und ihre Auswirkung auf Instabilitäten sein. Auch ihre Ausdehnung in die Tiefe ist problematisch: Ist die Tiefe zu klein, wird das Problem des hydraulischen Grundbruches nicht wirksam gelöst, ist sie zu gross, sind (neben den Kosten) auch unerwünschte Auswirkungen auf den Grundwasserspiegel im «Normalfall» zu befürchten. Wichtig bei Diaphragmen ist auch ihre Kontinuität, denn «Löcher» im Diaphragma können lokal zu konzentrierten Strömungen und Erosion im Damm führen.

Adresse des Verfassers: Em. Prof. Hans-Jürgen Lang, Weidstrasse 20, CH-8103 Unterengstringen.

Vortrag, den der Verfasser an der Fachtagung «Erkennen von Hochwassergefahren, Beispiele von Schutzmassnahmen» gehalten hat. Die Fachtagung vom 31. Oktober 1997 in Bellinzona wurde von der Konferenz für Hochwasserschutz, vom Schweizerischen Wasserwirtschaftsverband und von der Associazione ticinese di economia delle acque durchgeführt.

## Automatisierung der Spülung von Wasserfassungen und Entsandern

Wilfried Wimmer

### Situation

Für den automatischen Betrieb von Wasserfassungen und Entsandern stellt sich immer wieder die Frage, wie der optimale Zeitpunkt für eine Spülung ermittelt werden kann.

Optimal bedeutet, nicht früher als unbedingt nötig, um Wasserverluste zu vermeiden, aber in jedem Fall so recht-

zeitig, dass keine Verstopfungen der Spülkanäle entstehen können.

Es müssen dabei viele, sehr verschiedene Bedingungen berücksichtigt werden.

Zum Beispiel:

- Oft fällt lange Zeit kein oder nur wenig Geschiebe an.
- Hochwasser bei Schneeschmelze oder nach starken Niederschlägen bringt in kurzer Zeit grosse Mengen von Geschiebe.
- Hochwasserereignisse können zu jeder Zeit und oft unvorhersehbar auftreten.
- Die Wasserfassungen sind in der Regel nicht besetzt, oft weit abgelegen und schwer zugänglich.

Gesucht ist deshalb eine Einrichtung, die die Ablagerungshöhen des Geschiebes an den kritischen Stellen dauernd überwacht und automatisch Spülungen einleitet, wenn die entsprechenden Grenzwerte erreicht sind.

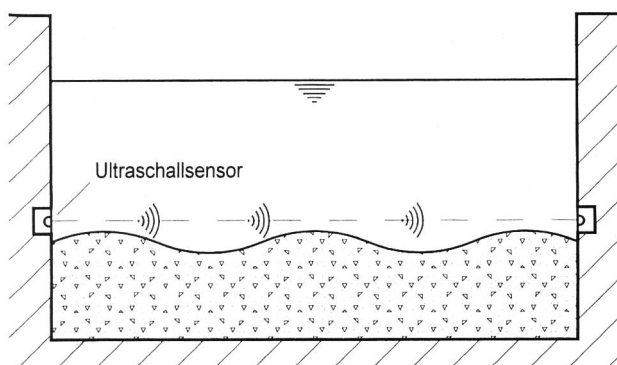


Bild 1. Prinzip Kiesstandüberwachung mittels Ultraschall.

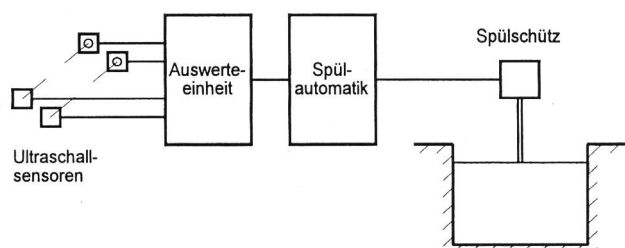


Bild 2. Blockschaltbild Spülautomatik mit Ultraschall-Sand- und -Kieshöherfassung.