

**Zeitschrift:** Wasser Energie Luft = Eau énergie air = Acqua energia aria  
**Herausgeber:** Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband  
**Band:** 92 (2000)  
**Heft:** 3-4

**Artikel:** Sicherheitsstudien und Risikoanalysen für Stauanlagen  
**Autor:** Schleiss, Anton / Darbre, Georges  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-940248>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. 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. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### **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. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### **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. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 04.04.2026

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

# Sicherheitsstudien und Risikoanalysen für Stauanlagen

■ Anton Schleiss und Georges Darbre

Am 10. Februar 2000 wurde in Biel eine Tagung zum Thema Sicherheitsstudien und Risikoanalysen durchgeführt, welche vom Bundesamt für Wasser und Geologie (BWG) unter dem Patronat des Schweizerischen Talsperrenkomitees (STK) organisiert wurde. Im Folgenden sollen die Referate und Diskussionsergebnisse der von 65 Fachleuten besuchten Tagung nach einigen Stichworten zusammengefasst werden.

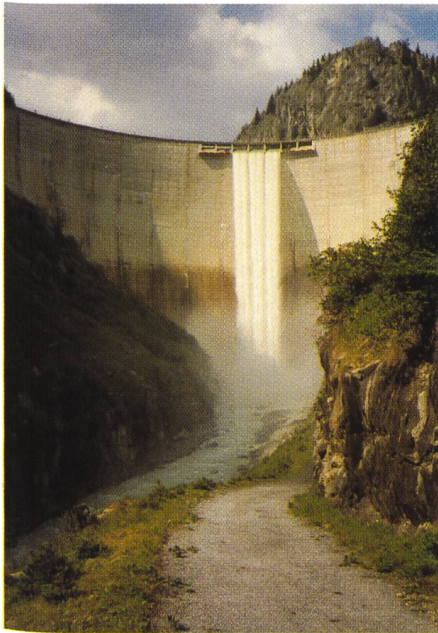


Bild 1. Staumauer Gebidem.

## Situation in der Schweiz

In seinem Einführungsreferat wies H. Pougatsch darauf hin, dass das Sicherheitskonzept für die schweizerischen Stauanlagen einen international beachteten, hohen Stand erreicht hat. Es beruht auf den Pfeilern der strukturellen Sicherheit, der Überwachung und des Unterhalts sowie auf dem Notfallkonzept. Alle der Oberaufsichtsbehörde unterstellten Stauanlagen werden nach den selben Grundsätzen behandelt. Bis heute fand keine Einteilung in Gefährdungsklassen statt, welche die erwarteten Schäden im Falle eines Versagens der Stauanlage widerspiegeln. Das Sicherheitskonzept hat bis anhin erlaubt, bei verschiedentlich aufgetretenen aussergewöhnlichen Ereignissen die richtigen Massnahmen zu treffen und so jegliche Gefährdung auszuschliessen. Beruhigend ist, dass bei keiner der kontrollierten Stauanlagen bis heute in der Schweiz ein Versagen zu verzeichnen war. Risikoanalysen könnten das bewährte Sicherheitskonzept ergänzen und allenfalls verbessern.

## Was sind Risikoanalysen?

Diese Frage behandelte unter anderem G. Darbre in seinem Referat, indem er einen guten Überblick über die verschiedenen Begriffe und Methoden gab. Insbesondere wurde die Sicherheit als Resultat des Vergleiches zwischen dem vorhandenen und dem akzeptierbaren Risiko definiert. Gemäss G. Darbre liegt die Schwierigkeit bei diesem Vergleich darin, die Auftretenswahrscheinlichkeit der Ereignisse zu ermitteln, die zugehörigen Konsequenzen abzuschätzen und die Grenze des akzeptierbaren Risikos zu definieren. Während die ersten zwei Punkte im Rahmen einer Risikoanalyse zu behandeln sind, ist der letzte Punkt das Resultat einer Auseinandersetzung der Gesellschaft mit dem Risiko. Eine Risikoanalyse für eine Stauanlage beinhaltet die Identifizierung der Gefahren, welchen diese ausgesetzt ist, und die Schätzung des zugehörigen Risikos. Der Kern einer Risikoanalyse ist die probabilistische Behandlung aller Einwirkungen auf eine Talsperre sowie deren Reaktionen und Konsequenzen. Das Risiko wird üblicherweise so definiert:

$$\text{Risiko} = \sum \text{Eintretenswahrscheinlichkeit der Einwirkungen} \times \text{Eintretenswahrscheinlichkeit der zugehörigen Konsequenzen} \times \text{Ausmass der Konsequenzen}$$

Anhand von einigen Beispielen diskutierte G. Darbre im Weiteren die Frage nach der Höhe des akzeptierbaren Risikos. Grössere Diskussionen verursachten die verwendeten Werte von British Columbia Hydro und vom US Bureau of Reclamation, welche ein kollektives Risiko in der Höhe von 0.001 Lebensverlust pro Jahr und Stauanlage tolerieren.

Schliesslich zeigte G. Darbre, dass das heutige schweizerische Sicherheitskonzept auf den Grundsätzen des modernen Risikomanagements beruht. Neben dem strukturellen Widerstand beeinflussen Überwa-

chung und Unterhalt sowie das Notfallkonzept das verbleibende Risiko äusserst günstig. Mit ergänzenden, diagnostischen Risikoanalysen könnten allfällige Schwachstellen der Gesamtanlage identifiziert und entsprechende Verbesserungen am Sicherheitskonzept vorgenommen werden.

## Risikoermittlung gemäss Störfallverordnung

Gemäss der Störfallverordnung (StFV), welche auf dem Umweltschutzgesetz basiert, müssen Betreiber von Anlagen, in denen chemische und biologische Gefahrenpotenziale vorhanden sind, die zum Schutze der Bevölkerung und der Umwelt notwendigen Massnahmen treffen. Die StFV gilt auch für Verkehrswege, auf denen gefährliche Güter transportiert werden. M. Schiess berichtete in seinem Referat über die Erfahrungen bei den Risikoermittlungen gemäss dieser Störfallverordnung. In der Risikoermittlung muss der Inhaber der Anlage nicht nur das Ausmass, sondern auch die Eintretenswahrscheinlichkeit von Störfällen ermitteln und darlegen, wie wirksam die getroffenen Massnahmen sind, einen Störfall zu verhindern oder seine Ausmasse vermindern zu können. Eine Quantifizierung des Risikos ist dabei nötig. Die möglichen Schädigungen werden mit Hilfe von Rechenmodellen abgeschätzt. Zur Bestimmung der Wahrscheinlichkeiten stützt man sich u.a. auf internationale Statistiken sowie auf Expertenschätzungen. Für stationäre Anlagen mit chemischen Gefährdungspotenzialen wurden Beurteilungskriterien als Grundlage für Behördenentscheide erarbeitet, welche die Antwort auf die Frage «Ist das Risiko tragbar?» ermöglichen sollen. Wird das Risiko von der Vollzugsbehörde als nicht tragbar beurteilt, so ordnet sie die erforderlichen zusätzlichen Massnahmen an. Die Beurteilungskriterien verlangen, dass das kollektive Risiko als Summenkurve quantifiziert in einem W-A-Diagramm (Wahrscheinlichkeit-Ausmass) darzustellen ist. Das kollektive Risiko

stellt ein Mass für die Schädigung der Bevölkerung und der Umwelt im Umkreis der Anlage dar. Das W-A-Diagramm zeigt das Störfallausmass in Funktion der Eintretenswahrscheinlichkeit und definiert die Bereiche für die Tragbarkeit des Risikos.

M. Schiess unterstrich, dass eine erprobte und eine allseitig akzeptierte Methodik eine wichtige Voraussetzung für die erfolgreiche Anwendung der quantifizierten Risikoeermittlung und der Beurteilungskriterien ist. Dabei muss bezüglich Systemdefinition, wesentlicher Störfallszenarien und deren Analyse, Normierung der Risiken, sowie Grenzen und Schwächen der Methode, Einigkeit herrschen.

### **Kernenergie als Vorreiter von probabilistischen Sicherheitsanalysen**

Mit dem für Kernkraftwerke entwickelten Sicherheitskonzept (Barrierenkonzept) ist eine weitreichende und umfassende Vorsorge gegen das Eintreten und die Konsequenzen von Störfällen getroffen worden. Gemäss diesem Konzept sind Störfälle ausserhalb der Auslegung nur bei Mehrfachfehlern und bei Versagen mehrerer Rückhaltebarrieren denkbar. In seinem Referat berichtete U. Schmocker über die Erfahrungen der Aufsichtsbehörden mit probabilistischen Sicherheitsanalysen (PSA) für Kernkraftwerke. Deren Aufgabe ist es, das Risiko von Unfallabläufen qualitativ und quantitativ zu bewerten, welche durch das umfassende Sicherheitskonzept einer Anlage nicht mehr beherrschbar sind. Die Ergebnisse der probabilistischen Sicherheitsanalysen sind für die Aufsichtspraxis vor allem deshalb wichtig, weil sie wichtige Hinweise auf mögliche Schwachstellen der Anlage sowie auf sinnvolle Anlageverbesserungen geben. Die PSA-Ergebnisse werden vermehrt zur Unterstützung behördlicher Entscheide, wenn auch nicht systematisch, beigezogen. U. Schmocker unterstrich, dass in der Kernindustrie trotzdem nicht von einer risikobasierten, sondern von einer risikoorientierten Aufsicht gesprochen wird. Demzufolge sind weiterhin deterministische Kriterien zu erfüllen, und die PSA wird in erster Linie zur Bewertung der deterministisch festgelegten Sicherheitsauslegung herangezogen.

### **Schwere Unfälle im Energiesektor**

S. Hirschberg stellte die Resultate einer vergleichenden Unfallrisikostudie für den Energiesektor vor. Dabei wurde eine umfangreiche Datenbank über weltweite Unfälle im Energiebereich erstellt, welche alle Stufen der Energiekette berücksichtigt. Als Beispiel eines der Ergebnisse der Studie zitierte S. Hirschberg die Todesfallraten pro GW Jah-

resleistung einer Energieerzeugungsart in Funktion der Auftretenswahrscheinlichkeit des entsprechenden Störereignisses. Mangels statistischer Daten für die Kernenergie wurden für diese die Resultate der probabilistischen Sicherheitsanalysen verwendet. Weltweit sind die höchsten Todesfallraten für Energie aus Flüssigpetroleumgas zu verzeichnen, erstaunlicherweise gefolgt von den Wasserkraftanlagen inklusive Stauanlagen. S. Hirschberg wies darauf hin, dass für eine Übertragung auf schweizerische Verhältnisse nur die Daten der OECD-Länder verwendet werden dürfen.

### **Risikobasiertes Recht in Zukunft?**

Im Zuge der Überarbeitung des Haftpflichtrechtes wurde ein Nationalfondsprojekt über die Möglichkeit eines risikoorientierten Rechtes durchgeführt, dessen Erkenntnisse von H. Seiler vorgestellt wurden. Ein Bewertungskriterium des neuen Rechtes wäre, dass das Individualrisiko für ein bestimmtes Störfallereignis einen festgelegten Grenzwert nicht übersteigen darf. Mit einem zusätzlichen Kostenwirksamkeitskriterium wäre zudem der Verantwortliche dazu angehalten, das Risiko weiter zu reduzieren, wenn diese Risikoverminderung grösser als die Kosten der entsprechenden Massnahmen ist. Der Individualrisikogrenzwert hängt von sogenannten Freiwilligkeitsklassen ab. Diese verschärfen die Grenzwerte, je unfreiwilliger ein Individuum einem Risiko ausgesetzt ist.

### **Geplantes Bundesgesetz über die Stauanlagen**

Der Entwurf zum neuen Bundesgesetz über die Stauanlagen, dessen Vernehmlassung Ende März 2000 abgeschlossen wurde, dehnt die geltende Haftpflicht der Stauanlagenbesitzer aus und verlangt einen Nachweis der Haftungsdeckung. Die Stauanlagen werden dabei für die Prämienberechnung in verschiedene Klassen gemäss ihrem Stauvolumen eingeteilt. Zur Vorbereitung dieses Gesetzes wurden zwei Studien zur Sicherheitsanalyse von Stauanlagen durchgeführt, deren Resultate von R. Lafitte vorgestellt wurden. Die Studien kamen zum Schluss, dass man bei den kontrollierten Stauanlagen nicht von Risikoklassen sprechen kann, da ihre Sicherheit gewährleistet ist. Hingegen können sie nach Schadensklassen eingeteilt werden, wobei als Kriterium das Stauvolumen verwendet wird. R. Lafitte unterstrich, dass besondere Anstrengungen bei den vielen kleinen, heute noch nicht kontrollierten Stauanlagen gemacht werden müssen, um sie in Risikoklassen einteilen zu können. Sicherheitsanalysen bei diesen kleinen Stauanlagen sind also unabdingbar.

### **Bestrebungen im Ausland**

H. Kreuzer berichtete über die weltweiten Aktivitäten auf dem Gebiete der Risikostudien für Talsperren. Probabilistische Risikoanalysen werden eher noch selten durchgeführt, mit Ausnahme einiger Länder wie Australien, Kanada und Südafrika. Immerhin gibt es in einigen Ländern Bestrebungen, probabilistische Risikoanalysen in Richtlinien und Gesetzen zu verankern. Nach Kreuzer stellt sich jedoch die Frage, wo die Grenzen der sinnvollen Anwendbarkeit von solchen Risikoanalysen liegen. Eines der vier Themen, welche am 29. ICOLD-Talsperrenkongress 2000 in Peking behandelt werden, betrifft die Risikoanalysen bei Stauanlagen.

### **Diskussionsergebnisse und Schlussfolgerungen**

In der Diskussion zeigte sich, dass Risikoanalysen – sinnvoll eingesetzt – von den Talsperrenfachleuten als hilfreiche Ergänzung zum heutigen Sicherheitskonzept in der Schweiz betrachtet werden. Insbesondere diagnostische Risikoanalysen könnten helfen, das Verhalten der komplexen Stauanlagen (inkl. Wasserkraftanlage) unter «Störfällen» besser zu verstehen und allfällige Schwachstellen im System zu erkennen. Hingegen war eine gewisse Zurückhaltung für quantitative Risikoanalysen zu verspüren, insbesondere wenn die Ergebnisse als Entscheidungsgrundlagen dienen sollen. Durchwegs als sinnvoll erachtete man Risikoanalysen für die zahlreichen kleinen Talsperren, welche nicht der Oberaufsicht des Bundes unterstellt sind und wo noch keine Sicherheitsanalysen durchgeführt wurden. Risikoanalysen führen aber nur zu vergleichbaren und anerkannten Resultaten, falls sie nach einer klar definierten und von allen Beteiligten akzeptierten Methodik erstellt werden. Dabei ist es besonders wichtig, dass das zu untersuchende System klar definiert sowie der Umfang der Analyse abgesteckt wird (Szenarien usw.). Ein gewisser Nachholbedarf wurde eindeutig hinsichtlich einer verlässlicheren Abschätzung des Schadenspotenziales im Falle eines Talsperrenbruches gesehen. Die erwarteten Schadensausmasses spielen eine wesentliche Rolle bei der Anwendung des neuen, vorgesehenen Stauanlagengesetzes und einer verfeinerten Festlegung der Schadenssummen, die abzudecken seien. Schlussendlich wurde empfohlen, die nötigen Mittel für die folgenden Aufgaben freizustellen und die entsprechenden Studien zu initialisieren:

- verfeinerte Ermittlung der Schadenspotenziale bei Talsperrenbrüchen;
- Entwicklung von Vorgehensweisen und Beurteilungskriterien für Risikoanalysen von kleinen Stauanlagen;

- Erarbeitung von wissenschaftlichen Grundlagen für Risikoanalysen bei grossen Talsperren;
- Erstellung und Wartung von Versagensstatistiken für die «Systemkomponenten» einer Stauanlage
- sowie das Verfolgen der internationalen Aktivitäten auf dem Gebiete der Risikoanalysen.

Die Koordination dieser Aufgaben sollte durch das Bundesamt für Wasser

und Geologie (BWG), unterstützt vom Schweizerischen Talsperrenkomitee (STK) und von weiteren Fachverbänden (SWV, VSE usw.), wahrgenommen werden.

Nach Erstellung der Pflichtenhefte der verschiedenen Studien sollte deren Bearbeitung in Zusammenarbeit mit den Hochschulen und Forschungsinstituten sowie mit spezialisierten Ingenieurbüros erfolgen.

Eine Kurzfassung der Vorträge sowie eine ausführliche Zusammenfassung der Diskussion kann beim BWG bezogen werden.

Adressen der Verfasser

Prof. Dr. Anton Schleiss, Laboratoire de constructions hydrauliques (LCH), EPFL, CH-1015 Lausanne; Dr. Georges Darbre, Bundesamt für Wasser und Geologie (BWG), Ländtstrasse 20, CH-2501 Biel.

## Einsatzmöglichkeiten steuerbarer Bohrverfahren bei Staumauern

■ Zusammenfassung eines Artikels von Stefan von der Drisch in «Felsbau» 17 (1999) Heft 4, Seiten 241–246

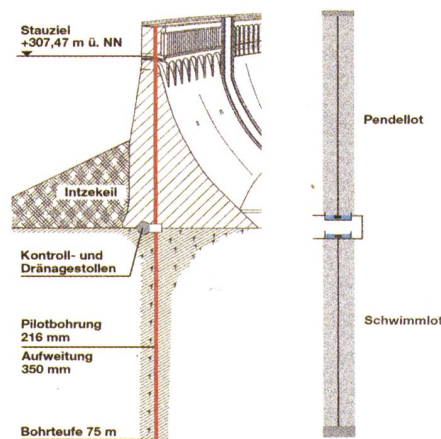
Steuerbare Bohrverfahren haben in den letzten Jahren viele neue Anwendungsfelder erschlossen. Ausser in den klassischen Bereichen Tiefbohrtechnik, Bergbau und Kavernenbau werden derartige Verfahren heute auch im Felsbau und in grossem Umfang oberflächennah zur Verlegung von Leitungen eingesetzt.

Die Beschaffenheit des zu durchbohrenden Untergrunds bestimmt das anzuwendende Verfahren. In Sand-, Lehm- und Tonböden mit begrenztem Gesteinsanteil haben sich das Spülbohrverfahren und das schlagunterstützte Spülbohrverfahren bewährt (ATV DIN 18300 Bodenklassen 1–4/5 bzw. 1–5/6). Festgesteine und Fels werden mit mechanisch arbeitenden Werkzeugen durchbohrt (Bodenklassen 5/6–7). Die Steuerbarkeit wird durch Richtbohrsysteme, wie die Bohrmotor-Knickstück-Kombination oder den Well-Director realisiert. Das Uni-Drill-Verfahren kann in allen Boden- und Gesteinsformationen (Bodenklassen 1–7) eingesetzt werden.

Schwerpunkte des Beitrags sind Einsatzbeispiele, wie

- Pegelbohrungen in einer Staumauer,
- vertikale Vereisungsbohrungen,
- horizontale Erkundungsbohrungen in geplanter Tunnelachse,
- Einbau von Horizontalfilterbrunnen und
- horizontale Vereisungsbohrungen.

Anschliessend werden Bohrsysteme des Spezialtiefbaus vorgestellt, bei denen für das gesteuerte Bohren entwickelte Messsysteme zur Kontrolle und zur Dokumentation



**Bild 1. Vertikale Lotbohrungen in der Staumauer der Ennepetalsperre.**

des Bohrverlaufs eingesetzt werden, wie z.B. Hochdruckinjektionsbohrgeräte mit Vermessungssonde.

### Vertikale Lotbohrungen in einer Staumauer

Die Staumauer der vom Ruhrverband betriebenen Ennepetalsperre wird in den Jahren 1997 bis 2000 umfassend saniert. Dazu baute man 1997/98 einen etwa 400 m langen Dränagegestollen von 3 m Durchmesser im Kontaktbereich zwischen Staumauer und Felsgründung mit Hilfe einer Tunnelbohrmaschine (als anwendungstechnische Neuheit für diese Maschinen) zur künftigen Vermeidung der Instabilität des Bauwerks ein. Zur eigentlichen Sanierung wird die Staumauer mit verschiedenen Messeinrichtungen versehen,

sodass bei entsprechender Überwachung und Wartung die Ennepetalsperre langfristig einen wichtigen Beitrag zur Wasserversorgung der Region leisten kann.

Eine Möglichkeit zum Ermitteln von Staumauerbewegungen ist der Einbau von Loten in vertikale Bohrlöcher (Bild 1). Von der Oberkante der Staumauer wurden mit dem Well-Director zwei je 75 m lange Bohrlöcher mit 116 mm Durchmesser in jeweils 1,5 Arbeitstagen bis in den Felsuntergrund ausgeführt, die danach auf etwa 350 mm Durchmesser erweitert und abschliessend verrohrt wurden. Diese Bohrlöcher querten den annähernd horizontalen Dränagegestollen an der Staumauerluftseite in etwa 2 m Abstand. Anschliessend stellte man vom Dränagegestollen, der etwa 40 m unter Staumaueroberkante liegt, Querstollen zu den Bohrlöchern her, so dass dann in jedes Bohrloch zwei Lote eingebaut werden konnten.

Zum Erfassen der Relativbewegungen innerhalb der Staumauer wurden im oberen Bohrlochabschnitt ein Pendellot und zum Erfassen von Relativbewegungen zwischen Staumauerfuss und Felsuntergrund im unteren Bohrlochabschnitt ein Schwimmloz eingebaut.

Die von den Loten kontinuierlich erfassten Bewegungen werden von elektronischen Geräten aufgezeichnet und dokumentiert. Die geforderte Maximalabweichung im Bohrlochverlauf, die sich am Messbereich der Lote orientierte, konnte durch den Einsatz des Well-Directors sicher eingehalten werden.

BG