

**Zeitschrift:** Wasser Energie Luft = Eau énergie air = Acqua energia aria  
**Herausgeber:** Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband  
**Band:** 87 (1995)  
**Heft:** 5-6

**Artikel:** Physikalische und numerische Modelle  
**Autor:** Vischer, Daniel  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-940410>

### **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:** 10.02.2026

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

## Physikalische und numerische Modelle

als Entscheidungshilfe

Daniel Vischer

### Zusammenfassung

Nach einer kurzen Einführung in das Wesen des Hochwasserschutzes wird gezeigt, wie heute die Sohlenlage, die Wasserspiegellage und die Wellenaufbauhöhe bestimmt werden. Für stark turbulente und dreidimensionale örtliche Probleme sind hydraulische Modellversuche weiterhin unerlässlich. Für die Erfassung von Zusammenhangsproblemen längs der Flussläufe stehen leistungsfähige numerische Modelle zur Verfügung. Aus der «Werkstatt» der VAW werden Beispiele zur Berechnung langfristiger Sohlenänderungen, ablaufender Hochwasserwellen und durch allfällige Breschen ausbrechende Fluten vorgestellt. Abschliessend wird betont, dass die Überschwemmungswahrscheinlichkeit nicht bloss vom Auftreten der Hochwasser abhängt, sondern eine Kombination der Wahrscheinlichkeit des Auftretens dieser Hochwasser, des Vorhandenseins einer bestimmten Sohlenlage und der Wellenaufbauhöhen darstellt.

**Résumé: Moyens actuels de protection contre les crues des cours d'eau – Utilisation des modèles physiques et numériques comme instrument de décision**

Après une brève introduction sur la protection des crues, les procédés utilisés actuellement pour déterminer la position du lit et celle de la surface libre du cours d'eau, de même que la surélévation des eaux sur les talus consécutive à l'impact des vagues, sont présentés. Lorsque les problèmes à étudier sont très localisés et que la turbulence et le caractère tridimensionnel de l'écoulement jouent un rôle important, la réalisation d'essais sur modèles physiques reste indispensable. Des modèles numériques efficaces sont par contre disponibles pour estimer la dépendance de

différents paramètres intervenant dans l'évolution le long des cours d'eau. Le calcul des variations d'un lit à long terme, des caractéristiques d'une crue et celui d'écoulements surgissant à travers des brèches s'étant formées, sont montrés sur la base d'exemples traités par la VAW. Finalement, il est rappelé que la probabilité d'inondation ne dépend pas que de l'apparition des crues mais qu'elle représente une combinaison faisant intervenir la probabilité d'apparition de ces crues, la présence d'une certaine situation du lit et la hauteur de surélévation des eaux due aux vagues.

### 1. Das Wesen des Hochwasserschutzes

Jeder Fluss, jeder Bach hat sich mit der Zeit sein eigenes Gerinne geschaffen: das sogenannte Fluss- oder Bachbett. Diesem folgt er bei Nieder- und Mittelwasser sowie bei kleineren Hochwassern. Bei grösseren Hochwassern verlässt er es aber teilweise, das heisst, er uferst aus und fliesst über angrenzendes Land. Dort bedroht er den Menschen, der dieses Land beansprucht. Dessen Reaktion ist eine Abwehr, die in ihrer operativen Phase als Wasserwehr bezeichnet wird, in ihrer Gesamtheit aber als Hochwasserschutz.

#### 1.1 Die Überschwemmungswahrscheinlichkeit

Es ist zeitgemäss, eine Interferenz zwischen dem Menschen und seiner Umwelt risikoanalytisch zu betrachten. Wählt man im Fall des Hochwasserschutzes als Vergleichsgrösse Höhenkoten, so kann man wie folgt vorgehen: Die Kote der kritischen Uferstelle liegt gemäss Bild 1 auf der Höhe  $k$ . Die Kote des höchsten Wasserspiegels ergibt sich aus der Summe der mittleren Sohlenkote  $s$ , der mittleren Wassertiefe  $h$  und der Wellenhöhe  $w$ . Dabei wird diese Wellenhöhe als Abstand des am Ufer sich bemerkbar machenden Wellenkamms vom mittleren Wasserspiegel definiert. Der Fluss uferst aus – wird aus der Sicht des Menschen also unsicher –, wenn

$$s + h + w > k$$

oder  $s + h + w - k > 0$ .

Falls es also gelingt, die Wahrscheinlichkeit der Summe  $s + h + w - k$  ausfindig zu machen, lässt sich die Ausuferungs- oder Überschwemmungswahrscheinlichkeit bestimmen. Bild 1 deutet eine Wahrscheinlichkeitsverteilung sowie die zugehörige Überschwemmungswahrscheinlichkeit  $p$  an, sofern  $k$  als feste Grösse vorausgesetzt wird.

Die Praxis beschäftigt sich allerdings meist nur mit der Wahrscheinlichkeit der Wassertiefe  $h$  und errechnet diese aus der Wahrscheinlichkeit der Abflüsse. Die mittlere Sohlenkote  $s$  wird als Festgrösse eingeführt und die Wellenhöhe  $w$ , sofern sie überhaupt berücksichtigt wird, als Schätzwert. Auf diese Weise ist es aber nicht möglich, die Überschwemmungswahrscheinlichkeit auszurechnen. Denn man kann eine Kombination von drei stochastischen Variablen nicht einfach so in eine Kombination von zwei fest angenommenen Grössen und einer stochastischen Variablen umwandeln. Eine Ausnahme ergibt sich nur dort, wo die Sohlenkote  $s$  tatsächlich unverändert bleibt und die Wellenhöhe  $w$  praktisch vernachlässigbar ist. Im allgemeinen sind jedoch sowohl  $s$  wie  $h$  und  $w$  stochastische Variablen und als solche erst noch voneinander abhängig.

#### 1.2 Die Verminderung der Überschwemmungsschäden

Hochwasserschutzmassnahmen zielen grundsätzlich auf eine Verminderung der Überschwemmungsschäden. Als

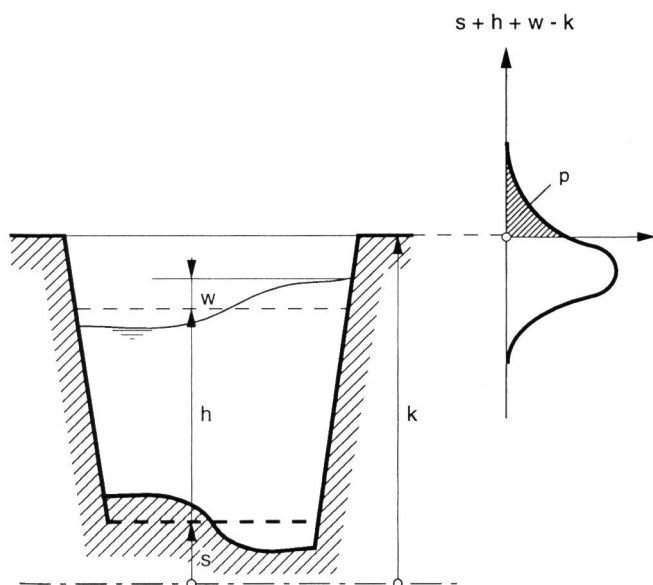


Bild 1. Schematischer und überhöhter Flussquerschnitt mit der Sohlenkote  $s$ , der Wassertiefe  $h$  und der Wellenhöhe  $w$  sowie der Uferkote  $k$ . Wahrscheinlichkeitsverteilung von  $s + h + w - k$  und Überschwemmungswahrscheinlichkeit  $p$ .

aktive Massnahmen werden solche bezeichnet, die eine Herabsetzung der Überschwemmungswahrscheinlichkeit bezwecken. Sie tun es einerseits durch die Schaffung von Rückhalteräumen im Einzugsgebiet und andererseits durch die Erhöhung der Abflusskapazität des Fluss- oder Bachbettes. Den entsprechenden Einfluss auf die Wahrscheinlichkeitsverteilung der Summe  $s + h + w - k$  deutet Bild 2 an.

Massnahmen, die die Überschwemmungswahrscheinlichkeit nicht berühren, sondern nur den Schaden vermindern, gelten als *passiv*. Dazu gehören der Objektschutz und die erwähnte Wasserwehr. Unter Objektschutz versteht man die hochwassersichere Anordnung und die hochwasserfeste Konstruktion empfindlicher Anlagen im Überschwemmungsgebiet. Unter dem Begriff Wasserwehr wird das zusammengefasst, was man bei drohenden oder ausufernden Hochwassern vorkehren kann wie die Alarmierung, die Sperrung, die Evakuierung und die Rettung sowie situative Schutzmassnahmen (Beispiel Sandsäcke).

Sowohl bei den aktiven wie bei den passiven Hochwasserschutzmassnahmen ist die Summe  $s + h + w - k$  die bestimmende, weil die Gefahr kennzeichnende Grösse. Deshalb werden im folgenden einige *physikalische* und *mathematische* Modelle besprochen, die eingesetzt werden können, um den Betrag und den Variationsbereich der mittleren Sohlenkote  $s$ , der mittleren Wassertiefe  $h$  und der Wellenhöhe  $w$  zu ermitteln. Dieses Instrumentarium wurde für konkrete Hochwasserschutz-Probleme entwickelt und erlaubt praxisnahe Anwendungen. Der Verfasser stützt sich

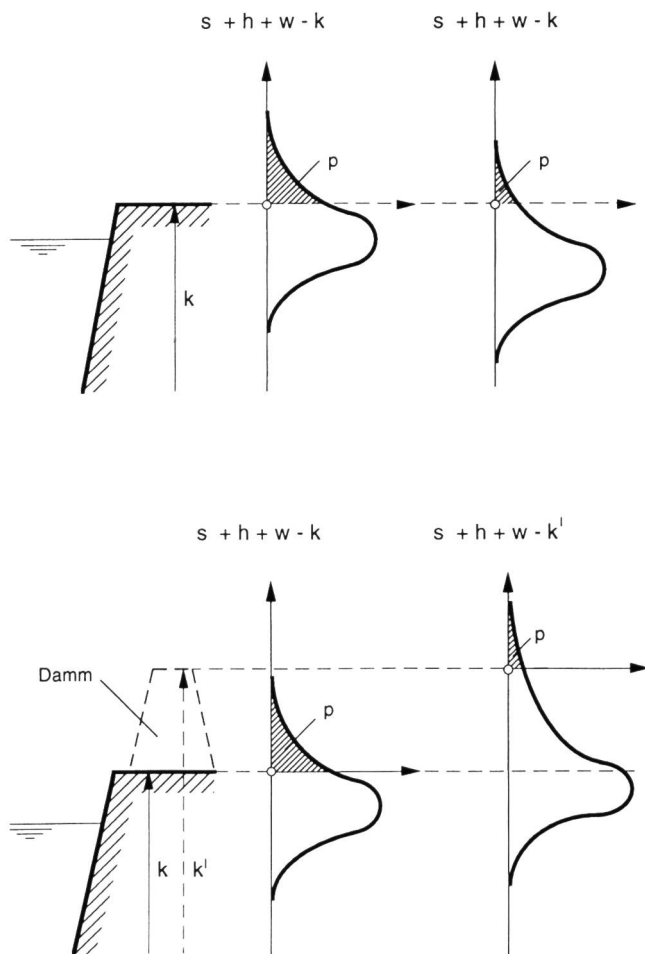


Bild 2. Verminderung der Überschwemmungswahrscheinlichkeit, oben durch Rückhalteräumen im Einzugsgebiet, unten durch Vergrößerung der Abflusskapazität (beispielsweise mit Längsdämmen).

entsprechend seiner Herkunft auf einschlägige Arbeiten der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie (VAW) der ETH Zürich.

## 2. Die Entwicklung des Bach- oder Flussbetts

Ein Bach- oder Flussbett kann gerade während eines Hochwassers markante Änderungen erfahren. Ein eindrückliches Beispiel dafür lieferte ja das Hochwasserereignis von Brig 1993, wo die Überschwemmung durch eine Sohlenhebung in der Saltina verursacht wurde. Es ist deshalb unerlässlich, sich bei Hochwasserschutzfragen der möglichen Bettentwicklung zu widmen.

Bei Flüssen, die auf ihrem eigenen Geschiebe abfliessen, sind meist grossräumige Untersuchungen und Berechnungen nötig. Aufgrund der vermessenen Gerinnegeometrie und von Geschiebeanalysen werden Berechnungen durchgeführt, die zeigen, ob sich ein Flussbett hebt oder eintieft. Dies ist letztlich eine Frage der örtlichen Geschiebebilanz. Die VAW entwickelte deshalb ein entsprechendes numerisches Modell mit der Bezeichnung MORMO (Morphologisches Fluss-Modell). Dieses erlaubt die Simulation von einzelnen oder sich folgenden Hochwasserabflüssen mit den damit verbundenen Sohlenveränderungen und Deckschichtbildungen (Bild 3). Wo längere Flussstrecken betrachtet werden müssen, spielt die Geschiebesortierung und -zerkleinerung oft eine massgebende Rolle. Letztere wurde im Rahmen einer Dissertation durch Experimente in einer Geschiebetrommel (Bild 4) neu bestimmt; sie ist wesentlich kleiner als früher angenommen. Dafür erscheinen die Sortierprozesse als bedeutsamer. In einer weiteren Dissertation wurden diese Ergebnisse in das MORMO-Modell eingebaut, so dass der Geschiebetransport nun kornfraktionsweise erfassbar ist. Damit ist jetzt die Möglichkeit gegeben, für Sohleneintiefungen und insbesondere für Sohlenhebungen zuverlässigere Prognosen zu erstellen.

Die bisher bekannten Geschiebetransportformeln, einschliesslich der neusten von Smart und Jaeggi, basieren im wesentlichen auf Laboratoriumsversuchen. In den verwendeten Messkanälen waren jedoch die Seitenwände fest und das Verhältnis zwischen Tiefe und Breite gross. Folglich ist die Anwendung der Formeln besonders bei engen, einarmigen Flüssen mit festen Ufern angezeigt. Um den Anwendungsbereich für breite und allenfalls mehrarmige Flüsse auszuweiten, laufen zurzeit Grundlagenversuche (Bild 5). Davon sollen vor allem auch die laufenden Renaturierungsprojekte profitieren, die Bettverbreiterungen, allenfalls mit Verzweigungen in Teilgerinne, vorsehen. Schon die Idee der 1992 verwirklichten Emme-Birne fusste seinerzeit auf einschlägigen Überlegungen, wurde aber in einem spezifischen hydraulischen Modell und nicht rechnerisch überprüft.

Solche hydraulischen Modelle empfehlen sich immer dann, wenn örtlich eng begrenzte Gegebenheiten eine Rolle spielen. Numerische Modelle helfen da nicht, weil sich damit die Turbulenz der Strömung und deren Interaktion mit dem Flussbett nicht zutreffend genug erfassen lassen. Klassische Beispiele dafür sind lokale Verlandungen in Stauhaltungen sowie Kolke im Unterwasser von Wehren oder Abstürzen. Weitere Beispiele sind Pfeilerkolke bei Brücken in Situationen wie etwa bei der Wattinger Brücke am Gotthard.

In jedem Fall ist aber immer zwischen der allgemeinen Eintiefung oder Auflandung des ganzen Flusses und den bloss örtlichen Erscheinungen zu unterscheiden (Bild 6). Beide Effekte können sich nämlich verstärkend oder aus-

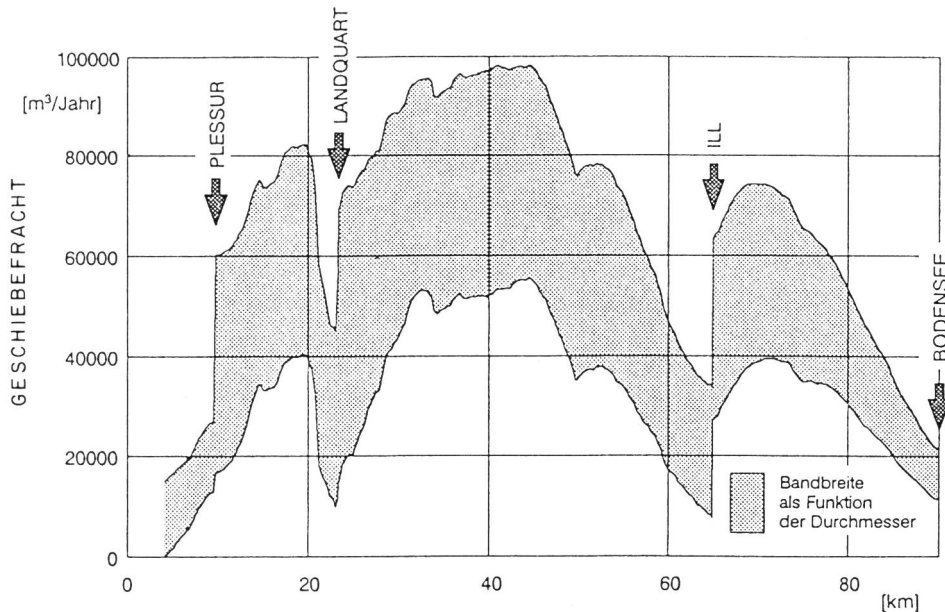


Bild 3. Ergebnis einer Berechnung mit MORMO: jährliche Geschiebefracht des Alpenrheins zwischen Domat/Ems (km 4,2) und Bodensee (km 90) in der Periode von 1974 bis 1988. Ein Anstieg der Kurve bedeutet eine Erosion der Sohle oder einen Geschiebeeintrag durch einen seitlichen Zufluss. Ein Fallen bedeutet, abgesehen von den Folgen des Abriebs, eine Auflandung der Sohle oder eine Geschiebeentnahme.

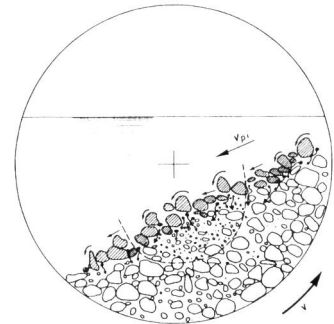


Bild 4. In einer Trommel von 1,05 m Innendurchmesser wurde der Abrieb der Geschiebekörner experimentell bestimmt. Diese Laborversuche stützen den bereits in den numerischen Simulationen ermittelten Sternberg-Koeffizienten  $c$  von 0,01 bis 0,015 pro km.

gleichend überlagern. Damit ist man bei der Frage der Wahrscheinlichkeit einer bestimmten Bettform und der zugehörigen mittleren Sohlenlage angelangt. Um sie zu beantworten, genügen leider die heutigen Kenntnisse nicht. Naheliegender ist eine Verknüpfung des morphologischen Geschehens mit der Wahrscheinlichkeit der Abflüsse, also mit der Hochwasserwahrscheinlichkeit. Doch trägt eine derart feste Verknüpfung zu wenig der Stochastik der morphologischen Prozesse Rechnung: Zwei gleiche Hochwas-

ser führen ja bei gleicher Ausgangslage nicht zu genau gleichen Bettveränderungen!

Was tun? Wie immer bei solchen Kenntnislücken bleibt der Ausweg zur Sensitivitätsanalyse. Das heisst, man kann sowohl das numerische wie das physikalische Modell unter leicht veränderten Bedingungen – beispielsweise bezüglich Geschiebekorn – mehrmals laufen lassen, um so den Grad möglicher Abweichungen festzustellen und hinsichtlich Wahrscheinlichkeit dann *intuitiv* zu beurteilen.



Bild 5. Versuchsstand zur Ermittlung der Geschiebeführung bei verschiedenen Flussbreiten; Blick gegen die Fliessrichtung (Foto VAW 27647).





Bild 6. Flussaufweitung an der Thur bei Pfyn zur Erhöhung der Strukturvielfalt am Gewässer (Foto: Amt für Umweltschutz TG).

### 3. Die Wasserspiegellage

Das flussmorphologische Modell MORMO enthält neben dem oben skizzierten Geschiebetransportmodell selbstverständlich auch ein Abflussmodell. Dieses ist aus Kopplungsgründen verhältnismässig einfach gestaltet. Im wesentlichen erfasst es einen stationären Gerinneabfluss und folgt den Abflussveränderungen sprungweise. Man darf ja nicht ausser acht lassen, dass die Geschiebetransportformeln im wesentlichen aufgrund stationärer Versuchsbedingungen aufgestellt worden sind. Darum ist die entsprechende quasistationäre Nachbildung instationärer Vorgänge bei einarmigen Gerinnen und langperiodigen Hochwasserwellen durchaus statthaft und auch allgemein üblich.

In komplizierten Fällen müssen aber doch sophisticatedere Abflussmodelle eingesetzt werden. Ein entsprechend vielseitiges Modell stellt das Computerprogramm FLORIS (Flood Routing in River Systems) dar. Es wurde von der VAW Anfang der 80er Jahre aus einem Schwall- und Sunkmodell im Zusammenhang mit der Regulierung von Fluss- und Kanalkraftwerken entwickelt und seitdem laufend verfeinert und erweitert. Mit ihm lassen sich bei gegebener

Geometrie, das heisst ohne Berücksichtigung des Geschiebetransports und den damit verbundenen Sohlenveränderungen, selbst stark instationäre Strömungen in verzweigten Flüssen mit fast beliebig gegliederten Querprofilen berechnen. Es enthält auch einen Modus für den beim Übergang von Schiessen zu Strömen und umgekehrt eintretenden Fließwechsel, der für Gebirgsflüsse ja wichtig ist.

Das Computerprogramm FLORIS wurde und wird deshalb für zahlreiche Hochwasserschutzprobleme eingesetzt, und zwar sowohl für reine Flusssysteme wie für Kombinationen von Flüssen und Seen, beispielsweise gemäss dem System der Juragewässerkorrektion (Bild 7). Nun fusst FLORIS aber auf eindimensionalen Abflussgleichungen und erreicht darum seine Grenzen, wenn es flächenhafte Strömungen zu erfassen gilt. Als Ergänzung dazu wurde an der VAW deshalb ein auf den zweidimensionalen Flachwassergleichungen basierendes Computerprogramm, diesmal mit eingebautem Sedimenttransportmodell, entwickelt. Es erlaubt das Ausmass und den Einfluss weitausgreifender Ausuferungen zu berechnen. So konnte die vom Bund veranlasste Analyse der Hochwasser von 1987 in Uri durch eine Simulation der bei Attinghausen durch eine Bresche ausbrechende Reuss ergänzt werden (Bild 8). Vergleiche ergaben, dass der Einfluss der Sedimentation im Überschwemmungsgebiet nicht vernachlässigbar klein ist, sondern berücksichtigt werden muss.

Von diesem zweidimensionalen Modell ausgehend, arbeitet gegenwärtig ein Doktorand ein neues Programm zur Berechnung von Flutwellen bei Talsperrenbrüchen aus. Solche Wellen sind im wesentlichen künstliche Hochwasser, die auf einer anfänglich trockenen Unterlage talwärts fließen. Sie zeichnen sich dadurch aus, dass sie rasch anschwellen und grosse Erosions- und Sedimentationsprozesse auslösen. Einer der ersten Testfälle des neuen Modells betraf aber keine Talsperre, sondern die den Höllbach 1994 aufstauende Rutschung von Chlöwena, Kanton Freiburg. Es gelang dort, die vorgängig im hydraulischen Modell untersuchte Breschenbildung rechnerisch nachzuvollziehen. Diese Breschenbildung hat sich vor Ort bis jetzt glücklicherweise nicht ereignet (Bild 9).

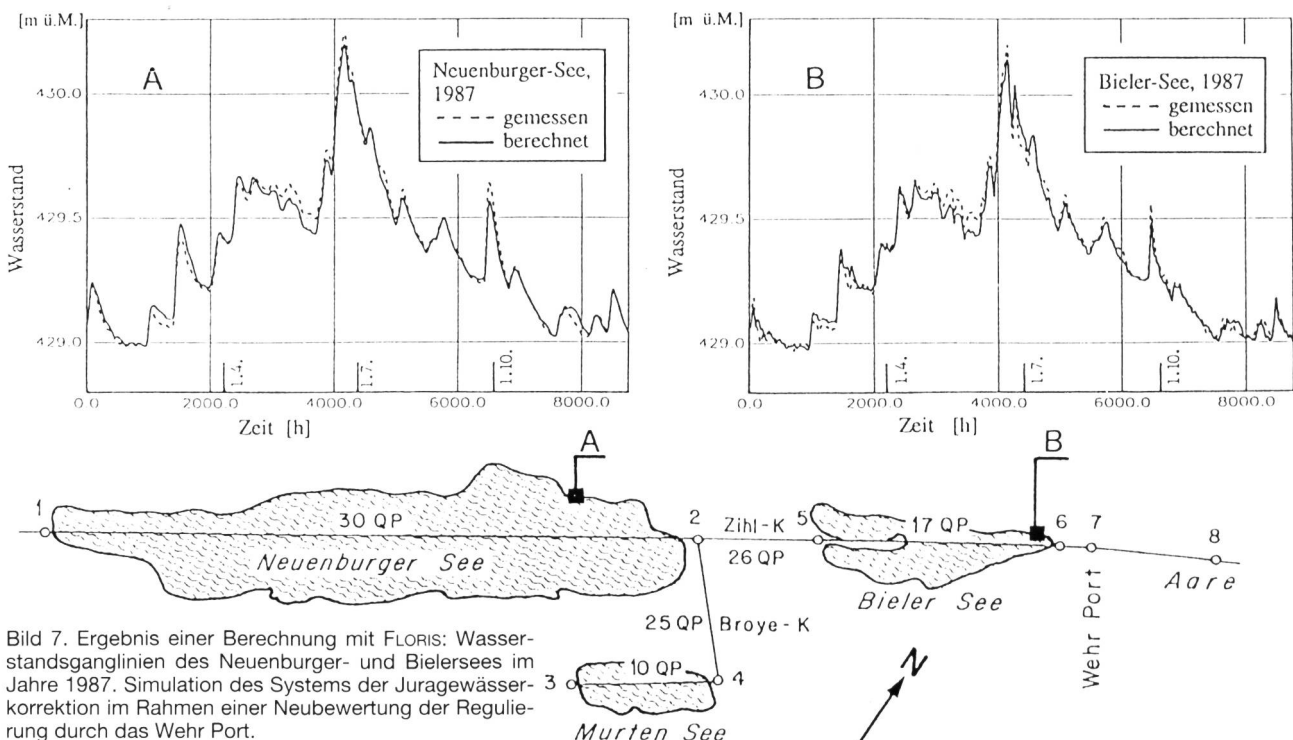


Bild 7. Ergebnis einer Berechnung mit FLORIS: Wasserstandsganglinien des Neuenburger- und Bielersees im Jahre 1987. Simulation des Systems der Juragewässerkorrektion im Rahmen einer Neubewertung der Regulierung durch das Wehr Port.



*Willkommen in Sarnen*

*Schweizerischer  
Wasserwirtschaftsverband*

*84. Hauptversammlung*

*Fachtagung über  
«Wasserrecht»*

#### *Einladung*

Im Rahmen der 84. Hauptversammlung des Verbandes findet am Donnerstag, 12. Oktober 1995, eine Fachtagung zum Thema «Wasserrecht in der Schweiz» statt. Die Exkursion des folgenden Freitags führt die Teilnehmer zu den Baustellen des Wasserkraftwerks Amsteg der Schweizerischen Bundesbahnen.

Wir laden unsere Mitglieder, Gäste, Freunde und weitere Interessenten ein, an der Hauptversammlung, der Fachtagung sowie an der Exkursion teilzunehmen.

Die Tagung gibt einen Überblick über aktuelle Fragen des schweizerischen Wasserrechts und bringt Vertretern aus Politik, Wirtschaft und Verwaltung, aber auch interessierten Bürgern einen Einblick in Auswirkungen der jüngsten Gesetzgebung sowie in die Gesetzes- und Verordnungsprojekte auf Stufe Bund.

Wir würden uns freuen, anschliessend viele Teilnehmer an der Hauptversammlung, am Aperitif und beim gemeinsamen Nachtessen begrüßen zu dürfen. Für die begleitenden Damen steht ein Besuch der Glashütte Hergiswil auf dem Programm; auch die Baustellenexkursion verspricht sehr interessant zu werden.

Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband

*Theo Fischer*, Nationalrat, Hägglingen, Präsident

*Georg Weber*, Direktor



Erneuerung Kraftwerk Amsteg – Schalungswagen für den Verkleidungsbeton im Unterwasserstollen.

(Foto: A. Meinardi, IUB)



## Fachtagung «Wasserrecht»

Donnerstag, 12. Oktober 1995, in Sarnen,  
Aula Cher

Sessionsleiter: Gerold Schädler

- 11.00 Uhr *Theo Fischer*: Eröffnung der Tagung  
*Adalbert Durrer*: Begrüssung
- 11.20 Uhr *Dr. Olivier Robert*: Die Revision des eidgenössischen Wasserrechtsgesetzes
- 11.40 Uhr *Dr. Allen Fuchs*: Erste Erfahrungen mit der Bestimmung angemessener Restwassermengen gemäss dem revidierten eidgenössischen Gewässerschutzgesetz
- 12.00 Uhr *Dr. Meret Heierle*: Marktöffnung und Liberalisierung auf dem Elektrizitätssektor
- 12.30 Uhr Gemeinsames Mittagessen

Sessionsleiter: Dr. Alex Rothenfluh

- 14.20 Uhr *Jürg Marti*: Die Talsperrenhaftung und ihre gesetzliche Regelung
- 14.40 Uhr *Dr. Rudolf Biedermann*: Von der Talsperren- zur Stauanlagen-Verordnung
- 15.00 Uhr *Gerold Schädler*: Schutz- und Nutzungsplanung für die Wasserfassung an der grossen Melchaa
- 15.20 Uhr *Jörg Stöcklin*: Der Neubau des SBB-Kraftwerks Amsteg
- 15.40 Uhr Diskussion
- 16.00 Uhr Kaffeepause

## Rahmenprogramm

### Besichtigung der Glasi Hergiswil

Donnerstag, 12. Oktober 1995

Beim Besuch der Glashütte erfahren Sie Interessantes über die Geschichte des Glases und über die Glashütte. Ein Kullissenlabyrinth zwischen Landtheater, Illusionskabinett und Zeitmaschinen führt Sie durch die Höhen und Tiefen der 175jährigen Geschichte der Glasi. Mit bester Sicht auf die Glasmacher-Arbeitsplätze können Sie den Handwerkern bei ihrer rhythmischen Arbeit zuschauen und selber entdecken, wie mit handwerklichem Geschick aus der glühenden Masse Gläser geformt werden.

- 15.00 Uhr Besammlung im Foyer Hotel Krone, Sarnen
- 15.10 Uhr Abfahrt mit der Brünigbahn nach Hergiswil
- 15.22 Uhr Ankunft in Hergiswil
- 15.30 bis
- 16.30 Uhr Besichtigung der Glasi mit Einkaufsmöglichkeit im Glasi-Laden
- 16.36 Uhr Abfahrt der Brünigbahn nach Sarnen
- 16.46 Uhr Ankunft in Sarnen

Tagung HV SWV Sarnen 1995

## 84. Hauptversammlung

Donnerstag, 12. Oktober 1995, in Sarnen,  
Aula Cher

16.50 Uhr 84. Hauptversammlung des Schweizerischen Wasserwirtschaftsverbandes

Präsidialansprache von *Theo Fischer*, Nationalrat, Hägglingen

Traktanden:

1. Protokoll der 83. Hauptversammlung vom 27. Oktober 1994 in Cointrin/Genf
2. Jahresbericht 1994
3. Rechnung 1994 des Schweizerischen Wasserwirtschaftsverbandes, Bilanz per 13.12.1994
4. Voranschläge 1995 und 1996; Festlegen der Mitgliederbeiträge
5. Wahlen
6. Festlegen der Hauptversammlungen 1996 und 1997
7. Verschiedene Mitteilungen
8. Umfrage

18.30 Uhr Aperitif im Hotel Krone

19.00 Uhr Gemeinsames Nachtessen im Hotel Krone

### Exkursion Erneuerung Kraftwerk Amsteg der SBB

Freitag, 13. Oktober 1995

- 08.30 Uhr Fahrt mit Car von Sarnen, Hotel Krone, nach Amsteg
- 09.15 Uhr Ankunft in Amsteg; Einteilung in Gruppen

Für Reisende mit Personenwagen sind in Amsteg Parkplätze signalisiert.

*Baustellenbesichtigungen:*

Wasserschloss, Kavernenzentrale, Rückgebäudebauwerk, Unterwasserstollen, Verladeanlage, bestehende Zentrale aus den Jahren 1920–1922.

- 13.00 Uhr Mittagessen im Hotel Stern und Post, Amsteg
- 15.00 Uhr Rückfahrt der Cars nach Erstfeld (ca. 15.20 Uhr), Luzern (ca. 15.40 Uhr).

Für die Baustellenbesichtigung sind wärschafte Kleidung und feste Schuhe empfohlen.

Die Teilnehmerzahl an der Exkursion muss aus organisatorischen Gründen beschränkt werden; Berücksichtigung nach Eingang der Anmeldungen.



## An der Tagung Beteiligte

Jörg Aeberhard, Fürsprecher und Notar, Leiter Rechtsdienst Aare-Tessin AG für Elektrizität, Atel, Bahnhofquai 12, CH-4600 Olten

Rudolf Biedermann, Dr., Sektionschef, Bundesamt für Wasserwirtschaft, Effingerstrasse 77, Postfach, CH-3001 Bern

Ulrich Blatter, Baustellenleiter Amsteg, Ingenieurunternehmung AG Bern, Thunstrasse 2, Postfach, CH-3000 Bern 6

Adalbert Durrer, lic. iur., Regierungsrat, Rathaus, CH-6060 Sarnen

Theo Fischer, Nationalrat, Notar, Alte Landstrasse 7, CH-5610 Wohlen; Präsident des Schweizerischen Wasserwirtschaftsverbandes, CH-5401 Baden

Allen Fuchs, Dr. iur., Direktor, Elektrowatt AG, Bellerivestrasse 36, Postfach, CH-8022 Zürich

Meret Heierle, Dr. iur., Rechtskonsultantin Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke, Gerbergasse 5, Postfach, CH-8023 Zürich

Alexander Lässker, Dr., Direktor Bundesamt für Wasserwirtschaft, Effingerstrasse 77, Postfach, CH-3001 Bern

Jürg Marti, Dr. iur., Vizedirektor, Elektrizitätsgesellschaft Laufenburg, EGL, CH-4335 Laufenburg

Olivier Robert, Dr. iur., Vizedirektor, Nordostschweizerische Kraftwerke AG, NOK, Parkstrasse 27, Postfach, CH-5401 Baden

Alex Rothenfluh, Dr. iur., Vizedirektor, Centralschweizerische Kraftwerke AG, CKW, Hirschengraben 33, CH-6003 Luzern

Gerold Schädler, Direktor, Elektrizitätswerk Obwalden, Stanserstrasse 8, CH-6084 Kerns

Jörg Stöcklin, dipl. Ing. ETHZ, Direktor, Kraftwerke SBB, Postfach, CH-3052 Zollikofen

Georg Weber, dipl. Ing. ETHZ, Direktor, Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband, Rütistrasse 3a, CH-5401 Baden

Kurt Zihlmann, Dr. iur., Elektrowatt AG, Bellerivestrasse 36, Postfach, CH-8023 Zürich

## Organisationskomitee

Ulrich Blatter

Dr. Meret Heierle

Dr. Alexander Lässker

Dr. Olivier Robert

Dr. Alex Rothenfluh

Georg Weber

Dr. Kurt Zihlmann

## Tagungsbeiträge

Die Tagungsbeiträge erscheinen – soweit verfügbar – in loser Folge in der Fachzeitschrift «wasser, energie, luft – eau, énergie, air».

## Tagungssprache

Die Tagung wird in deutscher Sprache durchgeführt; es ist keine Simultanübersetzung vorgesehen.

## Tagungsort

Sarnen im Kanton Obwalden liegt an der Nordrampe zum Brünigpass und ist mit der Brünigbahn oder mit dem Auto bequem zu erreichen. Mit der Aula Cher (fünf Minuten zu Fuss vom Hotel Krone, fünf Minuten zu Fuss vom Bahnhof) und dem Hotel Krone verfügt Sarnen über eine gute Kongress-Infrastruktur.

## Übernachtungen

Anmeldungen für Übernachtungen werden an das Hotel Krone, allenfalls an andere Hotels in Sarnen, weitergeleitet. Die Teilnehmer erhalten eine Reservationsbestätigung vom Hotel. Die Unterkunft wird in den Hotels von den Teilnehmern direkt beglichen.

## Kosten

84. Hauptversammlung	Fr. —.—
Tagung «Wasserrecht»	Fr. 180.—
Gemeinsames Nachtessen im Hotel Krone, Sarnen, vom Donnerstag, 12. Oktober 1995	Fr. 90.—
Rahmenprogramm Besuch der Glashütte Hergiswil	Fr. 20.—
Exkursion Baustelle Amsteg der SBB (einschliesslich Mittagessen)	Fr. 90.—

Den Teilnehmern wird Rechnung gestellt. Die Übernachtungen gehen zu Lasten der Teilnehmer.



Erneuerung Kraftwerk Amsteg der SBB – Kavernenzentrale mit Turbinengruben und Ausläufen in den Unterwasserkanal.  
(Foto: A. Meinardi, IUB)



# Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband

## 84. Hauptversammlung, Fachtagung über Wasserrecht

### Exkursion zur Kraftwerkbaustelle Amsteg der SBB

Anmeldung für	Vortragstagung Wasserrecht Donnerstag, 12. Oktober 1995	Rahmenprogramm Glasi Hergiswil Donnerstag, 12. Oktober 1995	Nachtesen Donnerstag, 12. Oktober 1995	Exkursion Amsteg mit Mittagessen Freitag, 13. Oktober 1995
	Fr. 180.–	Fr. 20.–	Fr. 90.–	Fr. 90.–
Bitte ankreuzen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>

Name und Vorname, Titel und Funktion (für Teilnehmerverzeichnis)  
Bei Teilnahme von Begleitpersonen bitte den Vornamen auch angeben.

Total Fr. \_\_\_\_\_  
inkl. 6,5 % MWSt.

Adresse	Tel. G
	Fax G
	Tel. P
PLZ/Ort	

☐ Ich benötige kein Zimmer

☐ Einzelzimmer mit Frühstück  
inkl. Service und Taxen, MWSt.

☐ Fr. 110.–

☐ Doppelzimmer mit Frühstück (2 Personen)  
inkl. Service und Taxen, MWSt.

☐ Fr. 180.–

☐ Anreise mit Bahn

☐ Anreise mit Auto

Anreisetag

Abreisetag

Die Hotelreservierungen werden direkt an das Hotel Krone, Sarnen, weitergeleitet. Die Teilnehmer erhalten eine Reservationsbestätigung des Hotels.

Für die Tagung und das Nachtesen wird Rechnung gestellt (ab etwa Ende September 1995). Diese gilt als Bestätigung und Ausweis für die Veranstaltung sowie für das Nachtesen. Die Unterkunft wird in den Hotels von den Teilnehmern direkt beglichen.

Bitte bis 11. September 1995 einsenden an:

Ort und Datum/Unterschrift/Versandadresse:

Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband  
Rütistrasse 3A, CH-5401 Baden  
Tel. 056/22 50 69, Fax 056/21 10 83

---



---



---



---



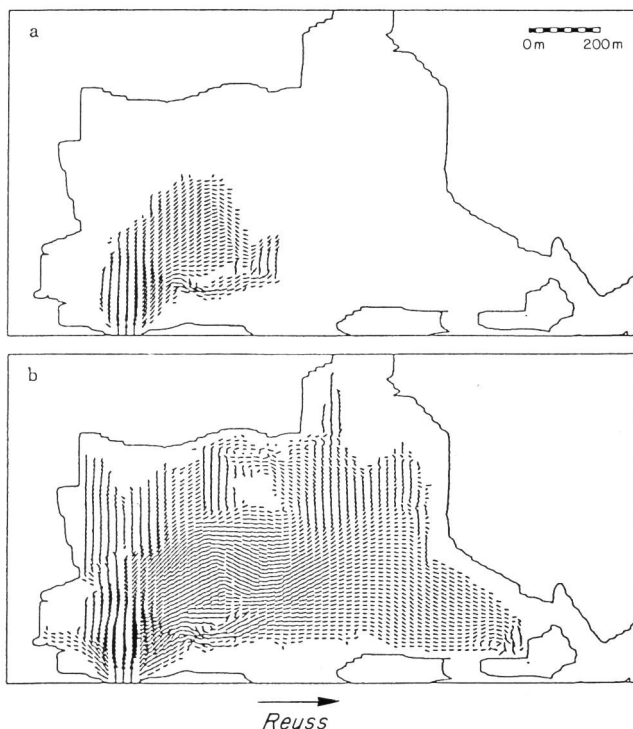


Bild 8. Ergebnis einer Berechnung mit einem 2D-Abflussmodell: Ausuferung der Reuss bei Attinghausen durch eine Dammbresche 1987. Zustände a) nach 0,5 h, b) nach 0,7 h. Nach 1,8 h ist das gesamte umrandete Gebiet betroffen; es erfolgen dann verschiedene Rückströmungen in die Reuss.

Komplizierte dreidimensionale Strömungsfelder lassen sich im hydraulischen Modell nachbilden. Die Fälle aber, wo man solche Modelle einzig zur Ermittlung von Wasserspiegellagen baut, sind im Hochwasserschutz selten. Für spezielle Ausuferungsprobleme sind Modellergebnisse allerdings aussagekräftiger als Computerausdrucke.

Die Frage der Wahrscheinlichkeit der erhaltenen Ergebnisse stellt sich auch hier. Der Zusammenhang mit der Wahrscheinlichkeit einer bestimmten Bettform oder Feststoffführung ist evident. In diesem Sinne lassen sich die mittlere Sohlenkote  $s$  und die mittlere Wassertiefe  $h$  kaum

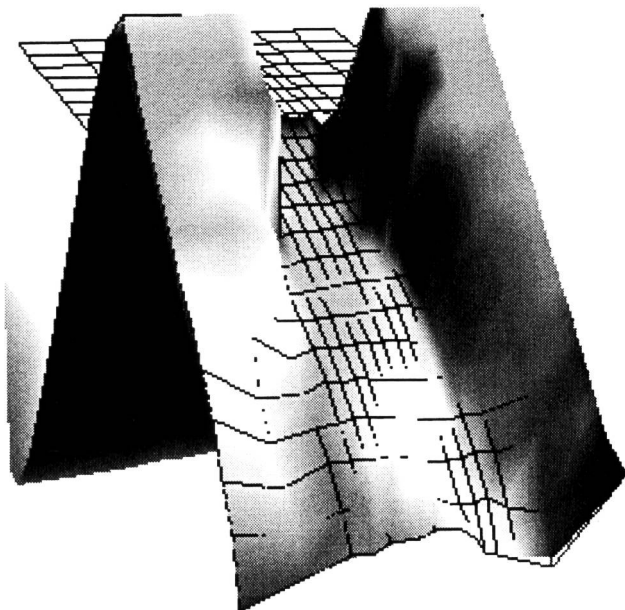


Bild 9. Ergebnis einer Flutwellenberechnung unter Berücksichtigung von Sohlenveränderungen: Befürchtete Breschenbildung im Rutsch Chlöwena (FR), der wie ein Damm den Höllbach aufstaut. Momentanaufnahme.

unabhängig voneinander betrachten und bestimmen. Beides wird zwar in erster Linie von der Wahrscheinlichkeit der Abflüsse und damit der Hochwasserfrequenz beeinflusst. Doch gibt es, wie schon angedeutet, bei den morphologischen Prozessen stochastisch davon unabhängige Erscheinungen. Zudem spielt bei der Umrechnung von Abflüssen in Wassertiefen oder der Eichung von hydraulischen Modellen die Wahrscheinlichkeit der massgebenden Rauigkeit eine Rolle. Daher sind auch hier Sensitivitätsanalysen zu empfehlen, um die mögliche Variationsbreite der Wasserspiegellagen abzutasten.

#### 4. Wellenprobleme

Die Gebirgsflüsse unserer Region sind zu schmal, als dass auf ihnen wesentliche Windwellen aufkommen könnten. Hingegen findet auf einigen Flussstrecken ein reger Verkehr von Fahrgastschiffen und kleineren Motorbooten statt, der durchaus Wellen wirft. Da die Schifffahrt bei Hochwasser gewöhnlich eingestellt wird, braucht man Schiffswellen im Zusammenhang mit Ausuferungen kaum zu berücksichtigen. Auch die Schwallwellen, die bei Betriebsänderungen von Wasserkraftwerken auftreten, darf man wohl in den meisten Fällen ausser acht lassen. Die Wahrscheinlichkeit, dass sie gerade bei einem starken Hochwasser auftreten und wesentliche Werte annehmen, ist eher klein.

Ein Sonderproblem bilden die Wellen sowie die Rückstauereffekte, die durch grössere Uferabbrüche entstehen können. Ihre Auswirkungen lassen sich rechnerisch bloss grob abschätzen, genauere Prognosen bedingen hydraulische Modellversuche. Weil solche Abbrüche naturgemäss gerade bei Höchsthochwassern auftreten, können sie gefährliche Ausuferungen provozieren.

Viele Gebirgsflüsse weisen bei Hochwasser einen schiessenden Abfluss auf. Die typischen Begleiterscheinungen desselben sind stehende Wellen in Form von sogenannten Stosswellen, die weit über den mittleren Wasserspiegel hinaufragen können. Die eindimensionalen numerischen Modelle vom Typ MORMO oder FLORIS vermögen diese nicht zu erfassen und die erwähnten zweidimensionalen nur näherungsweise, weil sie auf den Flachwasserglei-

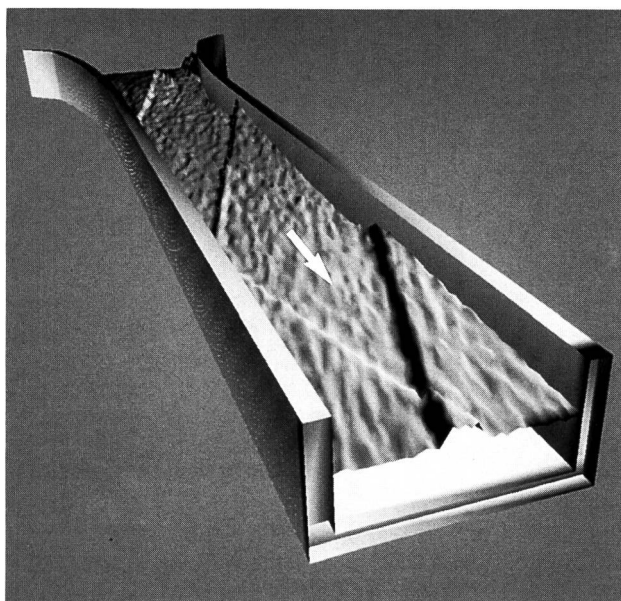


Bild 10. Stosswellenberechnung in der Schussrinne einer Hochwasserentlastung; Visualisierung des Ergebnisses auf dem Bildschirm.

(Foto: VAW 42/40-28)

chungen basieren und somit hydrostatische Druckverhältnisse voraussetzen. Zurzeit entwickelt ein Doktorand ein Programm, das auf diese Voraussetzung verzichtet. Er will damit aber eigentlich die Stosswellen in regelmässigen Schussrinnen und nicht in Wildbächen berechnen (Bild 10). Bis nämlich die weit komplexeren Strömungen in Wildbächen erfasst werden können, braucht es noch viel Forschungsarbeit. Inzwischen wird man sich weiterhin auf hydraulische Modelle verlassen müssen, die sich ja gerade hinsichtlich der Wiedergabe von Stosswellen sehr naturgetreu verhalten.

## 5. Schlussfolgerungen

Zur Lösung zeitgemässer Hochwasserschutzprobleme stehen zahlreiche Entscheidungshilfen zur Verfügung. Hier wurden einige neuere numerische Modelle vorgestellt sowie die heutigen Möglichkeiten hydraulischer Modelle aufgezeigt. Die damit befassten Institute arbeiten laufend an deren Verbesserung: Leistungsstärkere Computer und bessere Algorithmen erlauben die Erstellung umfassender Programme; genauere Messgeräte mit entsprechender elektronischer Datenverarbeitung erweitern den experimentellen Untersuchungsbereich im Laboratorium!

Es ist wichtig, dass sowohl die numerischen wie die hydraulischen Modelle in der Praxis als Entscheidungshilfen herangezogen werden. Bei kritischen Problemstellungen wäre es sogar fahrlässig, davon abzusehen. Doch darf die

Komplexität dieser Modelle nicht von den drei Hauptfragen einer jeden Schutzstrategie ablenken: *Was kann passieren? Was darf passieren? Wie kann die Gefahr eingedämmt werden?* – Oder flussbaulich ausgedrückt: Wie gross ist die Überschwemmungswahrscheinlichkeit? Welche Hochwasserschäden können in Kauf genommen werden? Mit welchen Mitteln lassen sie sich auf den akzeptablen Umfang reduzieren? – Bei der Beantwortung der ersten Frage ist es das Anliegen des Verfassers, dass die Überschwemmungswahrscheinlichkeit nicht bloss aufgrund der Überschreitungswahrscheinlichkeit der Hochwasser ermittelt wird. Es gilt auch die möglichen Veränderungen des Flussbetts und der Breschenbildung längs der Ufer in die Risikobetrachtungen einzubeziehen, ebenso wie das Auftreten stehender Wellen. Die Überschwemmungswahrscheinlichkeit ist kein Synonym für Hochwasserwahrscheinlichkeit, sondern *eine Kombination mehrerer Wahrscheinlichkeiten!*

Überarbeitete Fassung eines Vortrags, den der Verfasser an der Fachtagung «Zeitgemässer Hochwasserschutz – Neuere Entwicklungen und Fallbeispiel Engelberger Aa» am 27. April 1995 in Hergiswil, Nidwalden, gehalten hat. Die Tagung wurde von der Fachgruppe Hochwasserschutz im Schweizerischen Wasserwirtschaftsverband durchgeführt.

Adresse des Verfassers: Prof. Dr. Daniel Vischer, Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie (VAW), ETH Zentrum, CH-8092 Zürich.

## Mehr Wasser – weniger Strom

*So paradox es klingt: Die starken Niederschläge von Ende Mai und Anfang Juni haben in den Kraftwerken an den hochgehenden Flüssen nicht zu einer grösseren, sondern einer kleineren Stromproduktion geführt.*

Nach tagelangem Regen kamen die Flüsse am 1. Juni 1995 so randvoll daher wie schon lange nicht mehr. Beim Kraftwerk Eglisau beispielsweise lieferte der Rhein statt der durchschnittlichen 400 Kubikmeter pro Sekunde die mehr als dreifache Menge, nämlich fast 1400 Kubikmeter (1 Kubikmeter = 1000 Liter). Weiter unten, beim schweizerisch-deutschen Doppelkraftwerk Augst-Wyhlen (und wo der Rhein bereits die Aare mitsamt Reuss und Limmat aufgenommen hat), waren es an diesem Tag weit über 3000 Kubikmeter statt der mittleren 1500 Kubikmeter. Und selbst die Aare beim Kraftwerk Gösgen im Landesinneren, ausgelegt für die Schluckwassermenge von 380 Kubikmeter, lieferte an diesem Tag 880 Kubikmeter.

Erstaunliche Folge der überdurchschnittlichen Wasserführung: Die Stromproduktion des Werkes Eglisau mit seiner maximalen Leistung von 26 MW (Megawatt) ging dabei «nur» um etwas mehr als ein Viertel, diejenige von Augst-Wyhlen (maximale Leistung beider Werke zusammen: 63 MW) dagegen um fast die Hälfte zurück. Am wenigsten Verluste mit lediglich gut 20 Prozent verzeichnete Gösgen mit 33,5 statt 42 MW.

### Weniger Gefälle...

Der Hauptgrund: Wenn die Flüsse randvoll daherkommen, sinkt das Gefälle bei den Kraftwerken und damit auch ihre Leistung. Denn: Kein Flusskraftwerk ist für die wenigen Tage mit Hochwasser im Jahr ausgelegt, sondern vernünftigerweise nur für eine mittlere Wasserführung, weil sonst nur sehr selten alle Turbinen in Betrieb wären. Bei Hoch-

wasser fliesst daher ein erheblicher Teil des Flusses nicht durch die Turbinen, sondern über das Stauwehr und lässt dadurch – zusammen mit dem genutzten Wasser – den Fluss unterhalb des Werkes ansteigen. Oben, d.h. am Stauwehr, darf jedoch auch bei Hochwasser nicht höher gestaut werden, weil sonst der Fluss über die Ufer treten würde. Die Differenz zwischen Ober- und Unterwasser – also das energiespendende Gefälle – wird kleiner und damit trotz grösserer Wassermenge auch die Leistung.

Besonders betroffen von Hochwassern sind Flusskraftwerke mit bereits von Haus aus niedrigem Gefälle wie Augst-Wyhlen mit nur 4,2 bis 6,7 m. Am 1. Juni ging es sogar auf 3,7 m zurück. Das erklärt auch, warum hier während der Hochwasserperiode die Leistung fast auf die Hälfte sank, das Kraftwerk Eglisau mit seinem Gefälle von 8,4 bis 11,4 m dagegen «nur» etwas mehr als ein Viertel einbüsste. Noch weniger verlor mit rund 20 Prozent aufgrund des vergleichsweise hohen Gefälles (13,1 bis 17,4 m) das Ausleitungs- bzw. Kanalkraftwerk Gösgen.

### ...dafür mehr Geschwemmsel

Das kleinere Gefälle bei Hochwasser ist aber nur ein Grund für die Minderproduktion. Bei grosser Wasserführung tragen die Flüsse stets auch Geschwemmsel in Form von Erde, Blättern, Ästen, ja ganzen Baumstämmen mit sich. Dieses Material sammelt sich an den Rechen vor den Turbinen jeweils so schnell an, dass es auch von den modernsten Rechenreinigungsmaschinen nicht rasch genug entfernt werden kann und so immer wieder den Abfluss zu den Turbinen behindert. Die vor allem von den Nebenflüssen stammenden (und vom jeweiligen Kraftwerk auf eigene Kosten zu entsorgenden) Mengen sind erheblich. So blieben Ende Mai/Anfang Juni allein an den Rechen in Augst-Wyhlen während des Hochwassers nicht weniger als 100 Tonnen hängen!

Helmut Waldschmidt