

Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 95 (1977)
Heft: 29

Artikel: Wie lassen sich Hochwasserschutzmassnahmen rechtfertigen?:
Darstellung der Methodik
Autor: Vischer, Daniel
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-73422>

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: 21.12.2024

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

Wie lassen sich Hochwasserschutzmassnahmen rechtfertigen?

Darstellung der Methodik

Von Daniel Vischer, Zürich

Es vergeht kein Jahr, ohne dass von verschiedenen Regionen der Schweiz grössere oder kleinere Hochwasserschäden gemeldet werden. Die im Text eingestreuten Bilder 1, 3, 4, 6 und 7 (Foto Comet) vermitteln einen Eindruck eines solchen Ereignisses an der *Birs* (Hochwasser vom 23. Juni 1973 mit einer Spitze in Münchenstein von 310 bis 350 m³/s. Der langjährige mittlere Abfluss beträgt vergleichsweise 15 m³/s). Dennoch darf festgestellt werden, dass der *Hochwasserschutz in der Schweiz weit fortgeschritten* ist: Die Korrekturen der grösseren Mittellandflüsse haben die Hochwassergefahr aus vielen ausgedehnten Gebieten verbannt. Es sei hier nur an die *Linthkorrektion*, die *Rheinkorrektion* und die *Juragewässerkorrektion* erinnert. Auch an kleineren Flüssen und Bächen des Mittellandes, der Voralpen und der Alpen sind für zahlreiche Gebiete wirksame Hochwasserschutzmassnahmen verwirklicht worden. Eine ausgezeichnete *Übersicht* über das in den vergangenen 100 Jahren Geleistete vermittelt das *Eidg. Amt für Strassen- und Flussbau* in [1].

Weshalb gibt es weiterhin Hochwasserschäden?

Es gibt immer noch kleinere Flüsse und Bäche, die nicht verbaut, begradigt und eingedämmt sind und die einige angrenzende, tiefliegende Ufergebiete bedrohen. Ferner vermögen viele Gewässer, die früher einmal mit Erfolg korrigiert worden sind, den heutigen Gegebenheiten nicht mehr zu genügen. Einerseits hängt das damit zusammen, dass die *Besiedlung* und *intensivere Kultivierung* der Einzugsgebiete eine Erhöhung der Hochwasserabflüsse verursacht hat; die Entwässerung grosser Flächen durch Kanalisationen und Drainagen sowie die Erhöhung der Abflusskapazität der zugehörigen Vorfluter führen zu einem rascheren Abfluss der Niederschläge und damit zu einer Verschärfung der Hochwassergefahr. Andererseits wurden Gebiete, die früher eine Überschwemmung ohne grossen Schaden überstanden, inzwischen mehr oder weniger sorglos mit Wohnsiedlungen, Industrie- und Verkehrsanlagen überbaut und sind damit heute einem höheren Hochwasserrisiko ausgesetzt. Schliesslich bleibt

Bild 1. Birshochwasser vom 23. Juni 1973 in Zwingen



zu erwähnen, dass die Flüsse und Bachläufe längerfristig nicht in einer Gleichgewichtslage verharren, sondern sich verändern. Dafür sorgen die Erosionsprozesse im Oberlauf und die entsprechenden Auflandungsprozesse im Unterlauf, beides Phänomene, die der Mensch nur über eine beschränkte Zeit aufzuhalten vermag. Folglich können auch die besten Korrekturen nicht ewig wirksam bleiben.

Die von Überschwemmungen und Hochwasserschäden Heimgesuchten oder Bedrohten rufen selbstverständlich nach geeigneten Gegenmassnahmen, d.h. nach Hochwasserschutzmassnahmen. Es stellt sich dabei aber ebenso selbstverständlich die Frage nach der *Verhältnismässigkeit*: Welche Mittel können für das Ziel des Hochwasserschutzes eingesetzt werden? In welchem Verhältnis stehen diese Mittel zum tatsächlichen Risiko?

Im vorliegenden Artikel wird auf diese Frage eingegangen, indem gezeigt wird, wie die *Überschwemmungswahrscheinlichkeit* und der *Schadenerwartungswert* quantifiziert werden können, welches die grundsätzlich möglichen Hochwasserschutzmassnahmen sind und womit sich diese allenfalls rechtfertigen lassen. Die dargestellten Gedankengänge sind aber beileibe nicht neu, sondern gehen von denen aus, die *Kirsten* [2] im Jahre 1964 entwickelt hat, und die seitdem in vielen Ländern Verbreitung fanden.

Die gleichen Gedankengänge können übrigens auch in bezug auf andere Bedrohungen nachvollzogen werden, beispielsweise für die heute sehr aktuelle Erdbebengefahr. Auch für diese lassen sich die Erdbebenwahrscheinlichkeit und der zugehörige Schadenerwartungswert ähnlich definieren, um davon ausgehend den Sinn des Erdbebenschutzes zu erörtern.

Grundlagen des Problems

Die Hochwasserwahrscheinlichkeit

Um die eingangs gestellte Frage zu beantworten, müssen Grundlagen bereitgestellt werden, die insbesondere Angaben über die Hochwasserwahrscheinlichkeit, das Grenzhochwasser und die Schadensfunktion umfassen.

In der wasserbaulichen Praxis wird die Hochwasserwahrscheinlichkeit gewöhnlich wie folgt ermittelt: Aus einer mehrjährigen Messreihe von Abflüssen werden die *jährlichen Spitzenabflüsse*, d.h. die *Scheitelwerte der jährlich höchsten Hochwasser-*

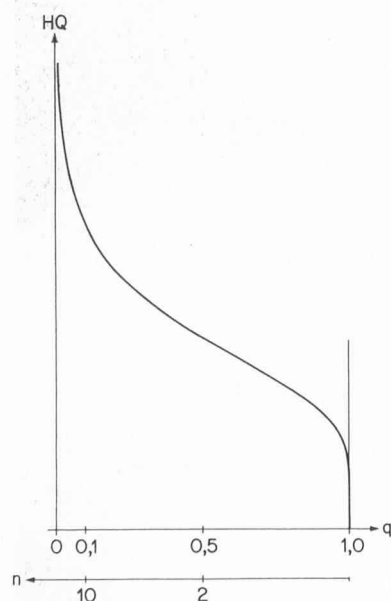


Bild 2. Überschreitungswahrscheinlichkeit q bzw. Wiederholungszeitspanne n der jährlichen Abflussspitze HQ

wellen, herausgegriffen und als *Zufallsgrössen* betrachtet. Umfasst die Messreihe m Jahre, so wird dem grössten Spitzenabfluss die Überschreitungswahrscheinlichkeit $1/m$ zugeordnet, dem zweitgrössten die Überschreitungswahrscheinlichkeit $2/m$, dem drittgrössten die Überschreitungswahrscheinlichkeit $3/m$ usw., also dem mit dem Rang i die *Überschreitungswahrscheinlichkeit* i/m . Es werden auch andere Formeln anstelle von i/m angewandt, z.B. $i/(m+1)$ oder $(i+1)/m$ (vgl. *Gumbel* [3]). Auf diese Weise ergibt sich die sogenannte *empirische Überschreitungswahrscheinlichkeit* q der jährlichen Spitzenabflüsse HQ . Diese Beziehung

$$q = q(HQ)$$

wird dann durch eine Verteilungsfunktion approximiert, damit sie in den Bereich $q < 1/m$ extrapoliert werden kann. Welche Verteilungsfunktion sich dafür am besten eignet – ob die von *Galton*, *Gumbel*, *Frechet*, *Goodrich*, *Pearson* oder eine andere –, lässt sich nicht allgemein beantworten. Entsprechende Hinweise für schweizerische Flüsse und Bäche können der Arbeit von *Bruschin und Estève* [4] sowie der Zusammenstellung des *Eidg. Amtes für Strassen- und Flussbau* [5] entnommen werden.

Es ist üblich, die Überschreitungswahrscheinlichkeit der jährlichen Spitzenabflüsse graphisch so darzustellen, dass die erwähnte Verteilungsfunktion als Gerade oder zumindest als stark gestreckte Kurve erscheint. Dies erleichtert zwar die Extrapolation, bedingt aber eine Verzerrung der Ordinaten- und Abszissenskala und erschwert damit das unmittelbare Verständnis. In Bild 2 ist deshalb die Verteilungsfunktion unverzerrt skizziert. Der reziproke Wert der Überschreitungswahrscheinlichkeit wird in der Praxis Jährlichkeit oder Wiederholungszeitspanne

$$(1) \quad n = 1/q$$

genannt. Dementsprechend wird beispielsweise ein Spitzenabfluss mit der Überschreitungswahrscheinlichkeit $q = 0,5$, d.h. der Wiederholungszeitspanne $n = 2$, als zweijährlicher Spitzenabfluss oder einfach als zweijährliches Hochwasser bezeichnet.

Das Grenzhochwasser

Jeder Bach- oder Flusslauf weist eine bestimmte *Abflusskapazität* auf. Bei geringeren Abflüssen bleibt das Gewässer in seinem Bett, bei höheren ufer es aus und überschwemmt die benachbarten Niederungen. Die Abflusskapazität wird deshalb als *Grenzabfluss* bezeichnet oder – weil es sich meist um einen Hochwasserabfluss handelt – als *Grenzhochwasser* HQ_{gr} .

Dieses Grenzhochwasser kann auf verschiedene Weise bestimmt werden. Am zuverlässigsten sind Beobachtungen in situ: Bei ansteigenden Hochwasserwellen muss der Zeitpunkt des Ausufers festgehalten werden, um anhand der Aufzeichnungen des nächstgelegenen Linnigraphen den zugehörigen Abfluss ermitteln zu können.

Das Grenzhochwasser kann aber auch rechnerisch oder durch hydraulische Modellversuche bestimmt werden.

Die Schadensfunktion

Der Schaden, der bei der Überschwemmung auftritt, kann sehr vielfältig sein und Menschen, Gebäude, Verkehrswege, Vieh, Kulturland, Wald usw. betreffen. Sein Ausmass hängt grundsätzlich von folgenden Parametern der ausufernden Wassermassen ab: Flächenausdehnung, Tiefe, Fließgeschwindigkeit und Überschwemmungsdauer. Die Höchstwerte der ersten drei Parameter sind meist unmittelbar vom Scheitelwert der ablaufenden Hochwasserwelle abhängig, der vierte aber nur mittelbar. Denn die Überschwemmungsdauer ist eher mit der Form als mit dem Scheitelwert der Hochwasserwelle verknüpft. Trotzdem kann der Schaden S im allgemeinen mit



Bild 3. Birshochwasser. Autofriedhof bei Duggingen



Bild 4. Birshochwasser. Amtshausgasse in Laufen

genügender Genauigkeit in Funktion des Scheitelwertes HQ allein ausgedrückt werden. Die Beziehung

$$S = S(HQ)$$

wird als *Schadensfunktion* bezeichnet. Sie ist für Scheitelwerte, die kleiner als das Grenzhochwasser sind, definitionsgemäss Null (Bild 5).

Der Schaden kann mit *verschiedenen Massstäben* gemessen werden. Ein allgemein verständlicher und deshalb verbreiteter Massstab ist die *Währungseinheit*. Durch sie lässt sich der Schaden als Geldwert, d. h. als *Kostensumme* angeben. Es handelt sich gleichsam um die Kostensumme, die bei einer alles umfassenden Versicherung zur Deckung des Schadens erbracht werden muss. Unter dem Begriff Schaden wird im folgenden eine solche Kostensumme verstanden.

Es ist keine leichte Aufgabe, für einen bestimmten Bach- oder Flusslauf eine Schadensfunktion aufzustellen. Am nahelegendsten ist es, vergangene Schadensfälle auszuwerten: Der Scheitelwert einer ausufernden Hochwasserwelle lässt sich anhand der Aufzeichnungen von Limnigraphen bestimmen. Der entstandene Schaden muss aus den Angaben der Instanzen abgeschätzt werden, die für den Schaden materiell aufkommen mussten; entsprechende Zusammenstellungen finden sich bei den damit befassten Behörden und Versicherungsinstituten.

Die Form der Schadensfunktion hängt selbstverständlich stark von der Gliederung, Besiedlung und Kultivierung des Überschwemmungsgebietes ab. Dieses Gebiet muss deshalb bei der Auswertung der Schadensfälle genau studiert werden.

Die Überschwemmungswahrscheinlichkeit

Die Wahrscheinlichkeit einer Überschwemmung kann bestimmt werden, wenn die Hochwasserwahrscheinlichkeit und das Grenzhochwasser bekannt sind. Denn die zum Grenzhochwasser HQ_{Gr} gehörige Überschreitungswahrscheinlichkeit

$$(2) \quad q_{Gr} = 1/n_{Gr}$$

gibt an, mit welcher Wahrscheinlichkeit das Grenzhochwasser innerhalb eines Jahres mindestens einmal überschritten wird. Dementsprechend ist die Wahrscheinlichkeit einer Überschwemmung innerhalb eines Jahres q_{Gr} . Führt man mit p_{Gr} die Gegenwahrscheinlichkeit ein, nämlich die Wahrscheinlichkeit, dass in diesem Jahr keine Überschwemmung auftritt, so gilt

$$(3) \quad p_{Gr} = 1 - q_{Gr} = 1 - 1/n_{Gr}$$

Von diesen auf das Jahr bezogenen Werten lassen sich auch solche für eine Periode von m Jahren ableiten. Voraussetzung

ist dabei allerdings, dass während dieser Periode sowohl die Hochwasserwahrscheinlichkeit als auch das Grenzhochwasser gleich bleiben und dass die Ereignisse verschiedener Jahre voneinander unabhängig sind. Die Wahrscheinlichkeit, dass dann keine einzige Überschwemmung auftritt, ist nach den Regeln der Wahrscheinlichkeitsrechnung

$$(4) \quad p_{Grm} = p_{Gr}^m,$$

und die Gegenwahrscheinlichkeit, nämlich dass während der Periode von m Jahren mindestens *eine* Überschwemmung vorkommt,

$$(5) \quad q_{Grm} = 1 - p_{Gr}^m = 1 - (1 - q_{Gr})^m \\ = 1 - (1 - 1/n_{Gr})^m.$$

Beispiel: Das Grenzhochwasser eines Flusslaufs entspricht dem 10jährigen Hochwasser. Wie gross ist die Überschwemmungswahrscheinlichkeit für eine Periode von 5 Jahren?

Mit $n_{Gr} = 10$ und $m = 5$ folgt aus Formel (5) sofort

$$q_{Grm} = 1 - \left(1 - \frac{1}{10}\right)^5 = 1 - 0,9^5 = 0,41$$

Die Überschwemmungswahrscheinlichkeit ist folglich 41 %

Der Schadenerwartungswert

Die Hochwasserwahrscheinlichkeit ist von der Form $q = q(HQ)$, und die Schadensfunktion von der Form $S =$

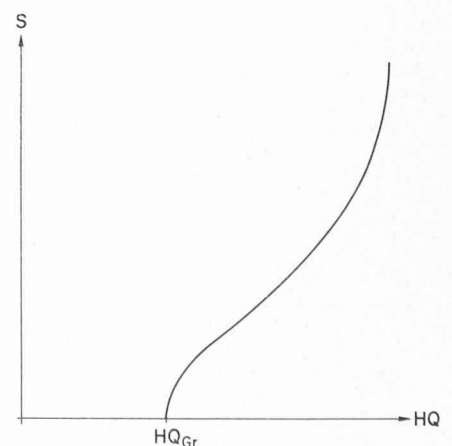


Bild 5. Schadensfunktion: Schaden S in Abhängigkeit des Scheitelwertes HQ der ablaufenden Hochwasserwelle



Bild 6. Birshochwasser. Überfluteter Obstgarten

$S(HQ)$. Es ist deshalb naheliegend, diese beiden Funktionen zu einer neuen Funktion

$$q = q(S)$$

zu verknüpfen, welche die Überschreitungswahrscheinlichkeit der Schäden festhält. Dies kann unmittelbar jedoch nur geschehen, wenn zwei wichtige Voraussetzungen zutreffen: Erstens darf innerhalb eines Jahres nur *eine* Überschwemmung schadenswirksam sein. Das bedeutet, dass eine im gleichen Jahr allenfalls auftretende kleinere Überschwemmung den Schaden nicht vermehrt. Zweitens muss der Schaden unabhängig vom Zeitpunkt sein, in welchem sich die Überschwemmung innerhalb des Jahres ereignet. Es darf demnach keine Rolle spielen, ob das ausufernde Hochwasser im Winter oder im Sommer anfällt.

Unter diesen Voraussetzungen kann die Überschreitungswahrscheinlichkeit der Schäden nach Bild 8 einfach als Kombination der Hochwasserwahrscheinlichkeit und der Schadensfunktion nach den Bildern 2 und 5 bestimmt werden. Daraus lässt sich der jährliche Schadenerwartungswert zu

$$(6) \quad E(S) = \int_0^{\infty} q dS = \int_0^1 S dq = \bar{S}$$

errechnen; es handelt sich dabei um den in Bild 8 ebenfalls eingezeichneten Mittelwert \bar{S} . Er kann aufgrund der Begriffe, die

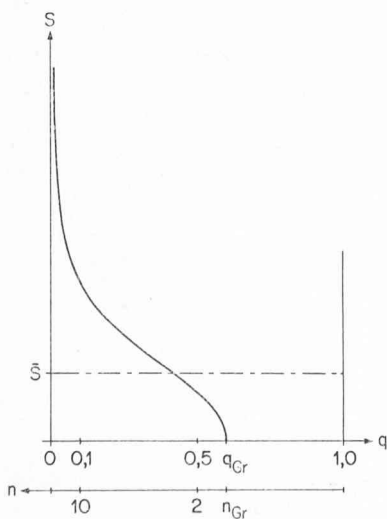


Bild 8. Überschreitungswahrscheinlichkeit q der von den jährlichen Abflussspitzen verursachten Schäden S

unter anderem *Mauch* und *Schneider* [6] klargestellt haben, als das *jährliche Hochwasserrisiko* bezeichnet werden.

Wenn die Schadensfunktion während einer Periode von m Jahren gleichbleibt, ergibt sich der Schadenerwartungswert bzw. das Hochwasserrisiko für diese Periode zu

$$(7) \quad E_m(S) = m E(S) = m \bar{S}$$

Hochwasserschutzmassnahmen

Zu den Hochwasserschutzmassnahmen können alle Massnahmen gezählt werden, die das jährliche Hochwasserrisiko vermindern. Aus Gleichung 6 und Bild 8 geht hervor, dass eine solche Verminderung grundsätzlich auf *drei Arten* möglich ist: Durch eine Verringerung der Hochwasserwahrscheinlichkeit, durch eine Erhöhung der Abflusskapazität bzw. des Grenzhochwassers und durch Verbesserungen im Überschwemmungsgebiet.

Verringerung der Hochwasserwahrscheinlichkeit

Die Verringerung der Hochwasserwahrscheinlichkeit bedingt einen *Eingriff in das Abflussregime*. Durch einen künstlich erzeugten Hochwasserrückhalt flussaufwärts des Überschwemmungsgebietes kann erreicht werden, dass die ablaufenden Hochwasserwellen gedämpft werden. Ihre Scheitelwerte werden somit kleiner und überschreiten das Grenzhochwasser seltener oder gar nicht mehr. Dementsprechend werden auch die Überschwemmungen seltener oder unterbleiben ganz.

Für die Verwirklichung des Hochwasserrückhaltes kommen mehrere Lösungen in Frage, die einzeln oder kombiniert zur Anwendung gelangen können. Sie seien hier kurz aufgezählt:

a) *Regulierung eines vom Gewässer durchflossenen Sees*: Bau eines Stauwehres mit Regulierschützen für die Regulierung des Ausflusses aus dem See zwecks besserer Ausnutzung des vorhandenen Hochwasserrückhalteriums.

b) *Einbezug eines benachbarten Sees*: Umleitung des Flusses oder Baches in einen benachbarten See, um dessen Rückhaltevermögen nutzbar zu machen.

c) *Erschliessung weniger wertvoller Überschwemmungsgebiete*: Förderung von Überschwemmungen an einigen ausgewählten Stellen durch Tieferlegung von Uferstrecken und allenfalls Drosselung des Abflusses anhand von Verengungen (enge Durchflussprofile unter Brücken usw.).

d) *Schaffung von Hochwasserrückhaltebecken*: Bau von Talsperren an Talengen, um Staubecken für den Hochwasserrückhalt bereitzustellen.

Die Lösungen a und b sind in der Schweiz schon mehrfach verwirklicht worden. So stellt die *Juragewässerkorrektion* beispielsweise eine Kombination beider Lösungen dar: Die *Aare* wurde in die *Jurarandseen* umgeleitet, wodurch deren Rückhaltevermögen ausgenützt werden konnte; ferner wurde der Ausfluss aus diesen Seen durch ein *Wehr in Port* unter Kontrolle genommen. Die Lösung c wurde dagegen nie und die Lösung d nur ein einziges Mal gewählt, nämlich im *Bergell*, wo die *Staumauer Orden* die Hochwasserwellen der *Orlegna* und damit der *Mera* dämpft.

Erhöhung der Abflusskapazität bzw. des Grenzhochwassers

Die Erhöhung der Abflusskapazität bzw. des Grenzhochwassers bedingt flussbauliche Arbeiten längs und allenfalls flussabwärts des Überschwemmungsgebietes. In Frage kommen folgende Lösungen, einzeln oder kombiniert angewandt:

e) *Erhöhung der Ufer*: Erstellung von Längsdämmen oder allenfalls Längsmauern zwecks Vergrösserung des Abflussquerschnitts.

f) *Ausweitung des Abflussquerschnitts*: Baggerungen zwecks Verbreiterung und/oder Vertiefung des bestehenden Gerinnes.

g) *Begradigung der Fluss- und Bachläufe*: Abschneiden von Schleifen, Beseitigung von Hindernissen und Abschliessen von Nebenarmen, um das Gefälle zu erhöhen.

h) *Schaffung von Entlastungsrinnen*: Erstellung eines Kanals parallel zum Fluss- oder Bachlauf, um einen Teil des Hochwassers dort abzuleiten.

In der Schweiz gehören die Lösungen e bis g gleichsam zu den Standardmassnahmen des Hochwasserschutzes. Sie wurden praktisch bei allen Gewässerkorrekturen angewandt. Am wenigsten verbreitet ist die Lösung h; als Beispiel kann die *Ergänzung der Eulach durch einen Parallelkanal in Hegi bei Winterthur* erwähnt werden.

Verbesserungen im Überschwemmungsgebiet

Bei den Verbesserungen im Überschwemmungsgebiet handelt es sich um Massnahmen, welche nicht die Überschwemmungswahrscheinlichkeit mindern, sondern die Überschwemmungsschäden. Und zwar handelt es sich um gezielte Massnahmen an einigen besonders gefährdeten Stellen. Hierzu gehören:

i) *Regionalplanerische Massnahmen*: Bauverbot an besonders gefährdeten Stellen, Anbauverbot für hochwasserempfindliche Kulturen.

k) *Bauliche Massnahmen*: Hochwasserfeste Ausbildung gewisser Anlagen, Höherlegung wichtiger Bauten und Verkehrswege, Schaffung von Schutzpoldern durch Dämme, die nicht dem Fluss entlang gebaut sind, sondern um ein Schutzobjekt herum.

l) *Warndienst bei Hochwassergefahr*: Rechtzeitige Warnung, um möglichst viele Sicherheitsmassnahmen zu treffen, wie die Evakuierung von Menschen, Vieh, Mobiliar usw. oder die Errichtung temporärer Schutzdämme (Sandsäcke usw.).

m) *Rettungsdienst*: Rettung bedrohter Menschen und Tiere während der Überschwemmung, Bergungs- und Räumungsarbeiten nachher.

Die Lösungen i und k wurden in der Schweiz bis heute wenig in Betracht gezogen. Hingegen gibt es verschiedene gut funktionierende Hochwasserdienste gemäss Lösung l. Auch der Rettungsdienst durch Feuerwehr und Zivilschutzorganisationen ist gut ausgebaut.

Der Vollständigkeit halber sei erwähnt, dass *Versicherungen gegen Hochwasserschäden nicht zu den Hochwasserschutzmassnahmen gezählt werden können*. Sie vermindern das Hochwasserrisiko ja nicht, sondern lösen ein Entschädigungsproblem.

Rechtfertigung der Hochwasserschutzmassnahmen

Das Ziel der Hochwasserschutzmassnahmen besteht konkret darin, das Hochwasserrisiko eines Überschwemmungsgebietes herabzusetzen. Für dieses Ziel müssen meist erhebliche Mittel eingesetzt werden, so dass sich die Frage nach der Verhältnismässigkeit stellt: *Rechtfertigt das Ziel den Einsatz solcher Mittel?*

Zur Beantwortung dieser Frage muss ein *Ziel-Mittel-Vergleich* durchgeführt werden. Das heisst, das Ziel und die Mittel müssen irgendwie erfasst und einander gegenübergestellt werden. Dabei empfiehlt sich folgendes Vorgehen: Zuerst wird untersucht, wie sich das Überschwemmungsgebiet ohne Hochwasserschutzmassnahmen weiter entwickelt. Die entsprechende Perspektive kann als *Nullvariante* bezeichnet werden; es gilt, die Auswirkungen der Massnahmen voraussehen und gemäss einem bestimmten Standpunkt in positive und negative aufzuteilen. Die positiven lassen sich als Nutzen, die negativen als Kosten bezeichnen. Gelingt es auf befriedigende Weise, beide mit einer Währungseinheit zu messen, so

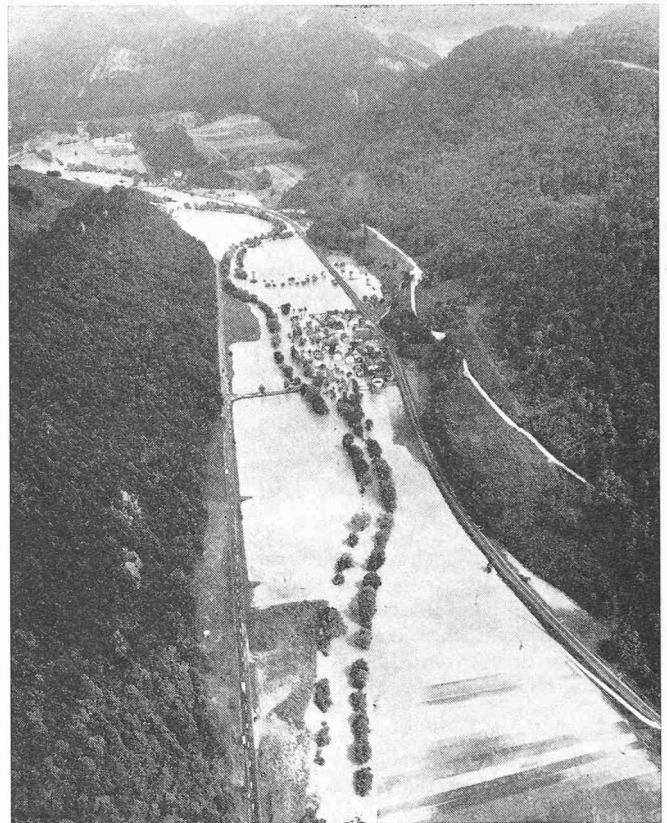


Bild 7. Birshochwasser. Rieds Dessus (flussabwärts von Soyhières)

können sie nach den Regeln der Nutzen-Kosten-Analyse (vgl. beispielsweise *Vischer* und *Bohun* in [7]) zusammengefasst und verglichen werden. Die Differenz der Annuitäten der Nutzen und der Kosten sagt dann als durchschnittlicher jährlicher Nettoertrag g_N aus, wie der Vergleich steht. Es ist

$$(8) \quad g_N = e_N - a_N$$

mit

e_N = durchschnittlicher jährlicher Ertrag der Nullvariante

a_N = durchschnittlicher jährlicher Aufwand für die Nullvariante.

Dabei wird der durchschnittliche jährliche Ertrag auf ein durchschnittliches überschwemmungsfreies Jahr bezogen, so dass das Hochwasserrisiko als jährlicher Schadenerwartungswert den durchschnittlichen jährlichen Aufwand erhöht.

Anschliessend wird dieselbe Untersuchung für den Fall durchgeführt, dass geeignete Hochwasserschutzmassnahmen verwirklicht werden. Die entsprechende Perspektive, d.h. die *Hochwasserschutzvariante*, wird aufgrund des gleichen Standpunktes und für die gleiche Planungsperiode – beispielsweise von heute bis zu einem Planungshorizont in 50 Jahren – hinsichtlich ihrer Auswirkungen beschrieben. Als Ergebnis der *Nutzen-Kosten-Analyse* erhält man den *zugehörigen jährlichen Nettoertrag*

$$(9) \quad g = e - a$$

mit

e = durchschnittlicher jährlicher Ertrag der Hochwasserschutzvariante

a = durchschnittlicher jährlicher Aufwand für die Hochwasserschutzvariante.

Selbstverständlich besteht auch in diesem Fall ein Hochwasserrisiko, das berücksichtigt werden muss. Es ist aber im

allgemeinen wesentlich kleiner als bei der Nullvariante und kann vom finanziellen Standpunkt aus allenfalls vernachlässigt werden.

Die Frage, ob die Hochwasserschutzmassnahmen gerechtfertigt sind, lässt sich nun anhand der Gegenüberstellung der Null- und der Hochwasserschutzvariante beantworten. Wenn der durchschnittliche jährliche Nettoertrag der letzten überwiegt, das heisst bei

$$(10) \quad g > g_N$$

kann die Frage offensichtlich bejaht werden.

Beispiel: Ein spärlich besiedeltes Überschwemmungsgebiet wird landwirtschaftlich genutzt und wirft in überschwemmungsfreien Jahren durchschnittlich 3 Mio Fr. ab; der für die Nutzung erforderliche Aufwand erreicht 2 Mio Fr., der jährliche Schadenerwartungswert 1 Mio Fr. Der durchschnittliche jährliche Nettoertrag ist mit

$$g_N = 3 - (1+2) = 0 \text{ Mio Fr.}$$

marginal.

Mit geeigneten Hochwasserschutzmassnahmen kann das Hochwasserrisiko praktisch ausgeschaltet werden. Dementsprechend ist eine intensivere landwirtschaftliche Nutzung zu erwarten, die bei einem durchschnittlichen jährlichen Aufwand von 5 Mio Fr. einen zugehörigen Ertrag von 6 Mio Fr. abwirft. Folglich lässt sich ein durchschnittlicher jährlicher Nettoertrag von

$$g = 6 - 5 = 1 \text{ Mio Fr.}$$

veranschlagen, der eindeutig höher liegt als bei der Nullvariante und darum die Hochwasserschutzmassnahmen rechtfertigt.

Wenn es nicht möglich ist, die positiven und negativen Auswirkungen der Null- und der Hochwasserschutzvariante in einer Währungseinheit auszudrücken, wird diese Gegenüberstellung wesentlich schwieriger und unübersichtlicher. Man muss dann zu Bewertungsmethoden greifen, die sich bereits für andere, ähnliche Planungsprobleme bewährt haben, beispielsweise zur *Nutzwertanalyse*. Bei dieser wird für die Bewertung der Auswirkungen gleichsam ein ausgeklügeltes Punktesystem eingeführt. Ansätze dazu hat unter anderem *Spreafico* [8] zusammengestellt. Der Gedankengang ist aber derselbe: Die verantwortlichen Instanzen vergegenwärtigen sich die Null- und die Hochwasserschutzvariante und bewerten die entsprechenden positiven und negativen Auswirkungen. In der Bilanz belasten die Hochwasserschäden grundsätzlich die Nullvariante und die Hochwasserschutzmassnahmen die Hochwasserschutz-

variante. Aus der Gegenüberstellung ergibt sich dann, ob sich die Hochwasserschutzmassnahmen rechtfertigen lassen.

Selbstverständlich lohnt es sich nicht für jedes kleine Hochwasserschutzprojekt einen umfassenden Ziel-Mittel-Vergleich durchzuführen. Ein solcher ist nur angebracht, wenn die Hochwasserschutzmassnahmen beträchtlich sind. Denn dann erhalten die ökonomischen und ökologischen Folgen ein Ausmass, das einer Rechtfertigung bedarf. Diese Tatsache widerspiegelt sich unter anderem in der *Gesetzgebung der Vereinigten Staaten* für Bundesbeiträge an jene Gewässer, die neben der Schifffahrt auch dem Hochwasserschutz dienen sollen:

«Flood Control Act of June 22, 1963: ... the federal Government should improve or participate in the improvement of navigable waters or their tributaries, including watersheds thereof, for flood control purposes if the benefits to whomsoever they may accrue are in excess of the estimated costs, and if the lives and social security of people are otherwise adversely affected.»

Literaturverzeichnis

- [1] «Eidgenössisches Amt für Strassen- und Flussbau: 1877-1977 Hochwasserschutz in der Schweiz; 100 Jahre Bundesgesetz über die Wasserbaupolizei.» Eidg. Drucksachen- und Materialzentrale, Bern 1977.
- [2] *Kirsten M.*: «Ein neues Verfahren für die Bestimmung der wirtschaftlichsten Ausbaugrösse und der Wirtschaftlichkeit von Hochwasserschutzmassnahmen». Mitt. Nr. 17 des Institutes für Wasserwirtschaft, Berlin 1964.
- [3] *Gumbel E.J.*: «Statistics of Extremes». Columbia University Press, New York 1958.
- [4] *Bruschin J., Estève R.*: «Utilisation de l'analyse fréquentielle des crues pour la détermination de la crue de projet». Schweiz. Bauzeitung, H. 32, 1973, S. 777-781 und 785-790.
- [5] *Eidgenössisches Amt für Strassen- und Flussbau*: «Die grössten bis zum Jahre 1969 beobachteten Abflussmengen von schweizerischen Gewässern». Eidg. Drucksachen- und Materialzentrale, Bern 1974.
- [6] *Mauch S.P., Schneider Th.*: «Die unmittelbare Gefährdung unseres Lebensraumes; Versuch eines quantitativen Begriffsystems». Schweizer Archiv, Heft 6/1971.
- [7] *Vischer D., Bohun V.*: «Die Beurteilung von Projekten anhand der Nutzen-Kosten-Analyse». Schweiz. Bauzeitung, H. 52, 1971.
- [8] *Spreafico M.*: «Verfahren zur optimalen Regulierung natürlicher Seen». Mitteilung der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie an der ETH, Zürich 1977.

Adresse des Verfassers: Prof. Dr.-Ing. D. Vischer, Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie an der ETHZ, 8092 Zürich.

Sprengung der Ruchmülibrücke im Sensegraben

Von P. Meili, H. P. Hügli, J. Perrochon, Bern

Das Sprengen hat sich bei Abtragungsarbeiten und im Untertagbau eingebürgert und bewährt, wird jedoch zu selten als Mittel zum Abbruch von Hoch- und Brückenbauten verwendet. Vermutlich resultiert diese *Zurückhaltung gegenüber der Sprengtechnik* aus der Angst vor einer ungewollten Beschädigung von Nachbarbauten oder vor der Gefährdung von Drittpersonen.

Heute ist die Sprengtechnik ein hochentwickeltes Spezialgebiet des Bauingenieurwesens. Grosse Erfahrung, verschiedenartige Sprengstoffe und entsprechende Zündmittel ermöglichen auch in heiklen Situationen eine präzise Sprengung mit ge-

wünschtem Zerstörungsgrad, Trümmerwurf und kontrollierbarer Gefährdung der Umgebung.

Die *Hauptmerkmale einer Abbruchsprengung* sind:

- Rascher Abbruchvorgang und dadurch Kosteneinsparungen
- Keine Gefährdung von Arbeitern und Maschinen, da im Moment der Zündung niemand auf der Baustelle ist
- Eine tage- oder wochenlange Belästigung der Nachbarschaft durch Lärm und Staub wird durch ein einmaliges Ereignis ersetzt
- Es werden keine schweren Abbruchmaschinen benötigt