Zeitschrift: Wasser Energie Luft = Eau énergie air = Acqua energia aria
Herausgeber: Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband
Band: 72 (1980)
Heft: 4

Artikel: Die Hochwasserschutzanalyse : Methode zur umfassenden Beurteilung von Hochwasserschutzmassnahmen

Autor: Weiss, Heinz W.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-941391

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: 25.07.2025

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

Die Hochwasserschutzanalyse: Methode zur umfassenden Beurteilung von Hochwasserschutzmassnahmen

Heinz W. Weiss

Zusammenfassung

In Anbetracht der Fülle von möglichen Massnahmen zur Verminderung von Hochwasserschäden sowie der bedeutenden Summen, die alljährlich für Hochwasserschutzprojekte ausgegeben werden, sind umfassende Hochwasserschutzanalysen unumgänglich und gerechtfertigt.
Die optimale Verwertung der anfallenden Daten und die Anforderungen der für das Erfassen der Hochwassergefahren notwendigen mathematischen und physikalischen Modelle bedingen den Einsatz von leistungsfähigen EDV-Anlagen. Eingehende Risikobeurteilungen sind nötig, um die Schadenanfälligkeit bedrohter Gebiete trotz verschiedener Ungenauigkeiten und Unsicherheiten zu beurteilen und allfällige Hochwasserschutzmassnahmen auf ihre Wirksamkeit und Wirtschaftlichkeit zu prüfen.
Hochwasserstudien, die entsprechend den erläuterten Überlegungen in Zusammenarbeit verschiedenster Fachgruppen durchgeführt werden, ermöglichen es den beschlussfassenden Gremien, Hochwasserschutzmassnahmen auszuwählen, die mit einem Minimum an Kosten optimale Wirkung zeigen.

Résumé: L'analyse de la protection contre les crues: Méthode pour un étendu compte rendu sur les mesures de la protection contre les crues

En considérant les abondantes mesures possibles qui servent à la diminution des dommages dus aux inondations, ainsi que les sommes considérables dépensées annuellement pour des projets de défense contre les crues, des analyses étendues sur les mesures de protection contre les crues sont indispensables et amplement justifiées.
L'exploitation optimale des données disponibles ainsi que les exigences des modèles mathématiques et physiques, qui sont nécessaires pour un recensement des risques de crues, demandent l'usage d'une installation d'informatique capable. Il faut des analyses de risques étendues, afin de pouvoir juger les dommages possibles dans une région en danger, malgré quelques inexactitudes et incertitudes. Ils sont exigées aussi pour examiner l'efficacité et la rentabilité des mesures à prendre contre les crues.
Les études des crues, qui seront exécutées selon les considérations élucidées par divers groupes professionnels, permettent aux commissions décisives de choisir des mesures de protection contre les crues donnant un effet optimal avec un minimum de frais.

Abstract: Flood plain management: An integrated approach to flood protection appraisals

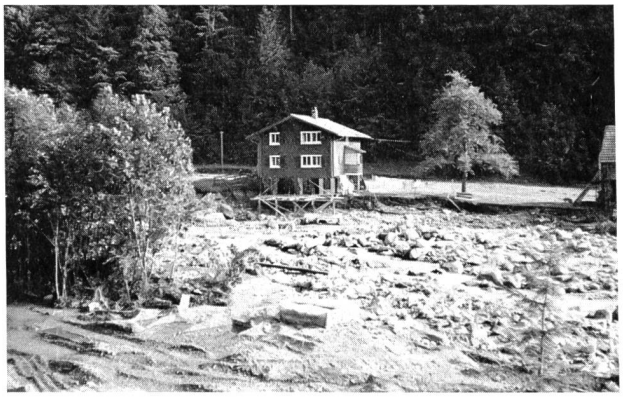
Floods cause havoc in many parts of the world despite of the large sums of money being spent annualy for engineering flood control measures. Much of the resulting damage can be prevented by sound flood plain management.
In view of the complexity of the problems involved, the inherent inaccuracies and uncertainties and the host of possible alternative measures, sophisticated planning tools such as mathematical and physiclal models are required. Comprehensive damage-risk and benefit-cost analyses as well as an active cooperation between experts from various disciplines are needed to define optimum or near-optimum alternatives. Decisions regarding the expenditure of public funds or legislation for the control of flood plain occupancy are, however, the prerogatives of policy-makers.

Einleitung

Hochwasser verursachen in vielen Teilen der Erde alljährlich ungezähltes Leid und grosse materielle Verluste. Typische Überschwemmungen sind auf den Bildern 1 bis 3 festgehalten. Auch die Schweiz bleibt nicht verschont von solchen Ereignissen, wie die Beispiele kürzlicher Hochwasser an der Birs (1973), der Kempt (1975), der Langeten (1975), der Töss (1977), des Schächenbaches (1977), der Thur (1978), der Maggia (1978) und des Steinibaches (1979) zeigen.
Trotz zum Teil hoher Ausgaben für Hochwasserschutz sind die Schäden vielerorts im Zunehmen begriffen. In den USA betrugen die jährlichen Ausgaben für Schutzmassnahmen schon vor mehr als zehn Jahren über 2 Milliarden Franken. In der Schweiz wurden 1978 rund 100 Millionen Franken für Hochwasserschutzprojekte ausgegeben, und in den Tageszeitungen erscheinen laufend Berichte über weitere Projekte. Was sind die Gründe, dass trotz den Investitionen und Anstrengungen im Hochwasserschutz die Schäden eher zunehmen? Es spielen mehrere Ursachen eine Rolle.
Als Folge von grossangelegten Überbauungen und intensivierter landwirtschaftlicher Nutzung (Meliorationen, Rodungen, Einsatz von schweren Fahrzeugen und daraus resultierende Verdichtung des Bodens) wird das Rückhaltevermögen in den Einzugsgebieten vermindert; das Regenwasser fliesst schneller und in grösseren Mengen ab. Bei Flusskorrektionen werden grosse Überschwemmungsgebiete oft vom Hauptgerinne abgeschnitten, so dass die Hochwasser nicht mehr seitlich ausufern können. Daraus resultieren bei gleichbleibenden Niederschlägen grössere Abflussspitzen in Bächen und Flüssen.
Gewässer haben die Tendenz, im Laufe der Zeit durch Erosion oder Ablagerungen ihre Form zu ändern. Das kann die Abflussverhältnisse ungünstig beeinflusen und die Lebensdauer und Wirksamkeit von Gerinneverbauungen verkürzen.
Investitionen in den Überschwemmungszonen eines Gewässers führen zwangsläufig zu grösseren Schäden beim Eintreffen eines Hochwassers. Oft wird vergessen, dass Hochwasserschutzmassnahmen nicht für beliebig grosse

Bild 1. Überschwemmung im Berggebiet. Hochwasser verwüsten wertvolles Kulturland in Grenzertragsgebieten und verfrachten die fruchtbare und nur schwer zu ersetzende Humuserde.

Schächenbach 1977; grösstes Hochwasser dieses Jahrhunderts im Schächental. Die Schadensumme betrug über 100 Mio Franken.



Wassermengen Schutz gewähren; aus einem vermeintlichen Gefühl absoluter Sicherheit wird das verbleibende Risiko missachtet.
Hochwasserschutzbauwerke können eine zusätzliche Gefahr für die geschützten Gebiete darstellen. Natürliche Katastrophen wie Erdbeben, aber auch konstruktive Mängel, ungenügender Unterhalt oder Sabotageakte können zum Versagen mit schwerwiegenden Folgen führen.
Im vorliegenden Aufsatz wird die Grundlagenerarbeitung von Hochwasserproblemen erläutert. Im weiteren wird gezeigt, wie mit Hilfe von Risikobeurteilungen das Ausmass von möglichen Verlusten erfasst und mit gezielten Schutzmassnahmen verringert werden kann.

Grundlagenerarbeitung

Es ist nicht ausgeschlossen, dass in einem Fluss während mehrerer Jahrzehnte kein nennenswertes Hochwasserereignis stattfindet, dass aber plötzlich ein vielleicht 100jährliches Hochwasser (d. h. ein Ereignis mit einer Eintreffenswahrscheinlichkeit von einmal in hundert Jahren) eintritt, das schon kurze Zeit darauf wieder von einem extremen Hochwasser gefolgt wird. Dies kann mit Hilfe einer chronologischen Darstellung von jährlichen Hochwasserspitzen (Bild 4a) illustriert werden. Eine fünfundzwanzigjährige, relativ trockene Periode kann mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit von überdurchschnittlich nassen Jahren abgelöst werden. Bild 4a veranschaulicht den Zufallscharakter von Abflussvorgängen, deren Erfassung eine gezielte, interdisziplinäre Grundlagenerarbeitung erfordet, wie nachstehend näher erläutert wird (Bild 5, oben).

Niederschlag

Hochwasser entstehen als Folge von extremen Niederschlägen, wenn von Ereignissen wie zum Beispiel Bergstürzen, Talsperrenbrüchen und Entleerung von Gletscherseen abgesehen wird. Daten über Niederschlagsmengen und -intensitäten werden vor allem von meteorologischen Anstalten gesammelt. Interessanterweise sind im Zeitraum von hundert Jahren, für die im besten Falle gesicherte Messreihen vorliegen, im allgemeinen keine klimatischen Veränderungen festgestellt worden.
Mit der Auswertung befassen sich die Statistik und die Hydrologie. Es wird dabei versucht, statistische Gesetzmässigkeiten festzustellen und die Wahrscheinlichkeit für das Eintreffen von Ereignissen verschiedener Intensität zu bestimmen.

Abfluss

Die Hydrologie befasst sich mit der Messung von Abflüssen. Die Dichte und Messdauer des Abflussnetzes ist im Vergleich zum Niederschlagsnetz geringer. Darum wird oft versucht, von der Wahrscheinlichkeitsverteilung der gemessenen Niederschläge jene der Abflussmerkmale zu ermitteln oder zu ergänzen. Dabei müssen deterministische

Bild 2. Müssen Siedlungen solchen Gefährdungen ausgesetzt sein? Oder aber dürfen Siedlungen in diesen Gefahrenzonen zugelassen werden?
Thurhochwasser 1978. Die Schadensumme betrug allein im Kanton Thurgau über 10 Mio Franken. Ähnliche Hochwasser traten 1965 und 1977 auf. Flugaufnahme Comet.

Einflüsse im Einzugsgebiet eines Gewässers beachtet werden. Solche sind etwa gegeben durch die Intensivierung der Landwirtschaft, das Entstehen von Bevölkerungszentren sowie das Erstellen von Bauwerken im Abflussbereich.

Informationsergänzung

Die heute zur Verfügung stehenden EDV-Anlagen (Computer) erlauben es, grosse Mengen von meteorologischen und hydrologischen Daten statistisch auszuwerten. Es kann untersucht werden, ob vorhandene Messreihen von Niederschlägen und Abflüssen aussagekräftig sind oder ob sie zum Beispiel durch solche für angrenzende Gebiete mit ähnlichen Eigenschaften ergänzt werden müssen. Im gegebenen Falle können Serien von Niederschlägen oder Abflüssen durch Simulationsverfahren erzeugt oder ergänzt werden.

Mit Hilfe von Niederschlags-Abfluss-Modellen können die Grösse und Dauer von Abflüssen für Niederschläge gegebener Intensität an bestimmten Abflussquerschnitten ermittelt werden. Der Einfluss von Veränderungen im Einzugsgebiet kann dabei erfasst werden. Die Genauigkeit der Resultate hängt besonders von der Kenntnis der Topographie, Gewässermorphologie und des Überbauungsgrades im Einzugsgebiet ab. Mit Hilfe von sorgfältig ausgeführten Eichungen der Modelle an ausgewählten Einzelereignissen können gute Resultate erzielt werden.

Hydraulik

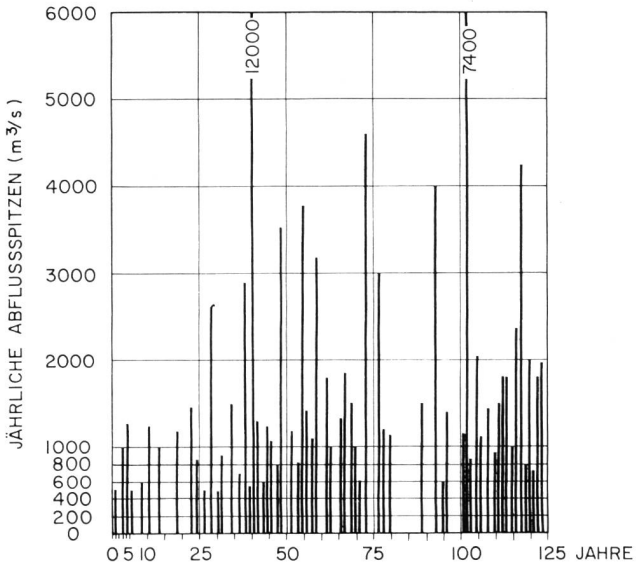
Mit Hilfe von hydraulischen Untersuchungen kann bei Kenntnis der Topographie (Gerinneabmessungen, Ausmass und Beschaffenheit der Hochwasserebenen) für ein gegebenes Ereignis der Hochwasserverlauf über ein ganzes Überschwemmungsgebiet verfolgt werden. Daraus resultieren Angaben über Überschwemmungstiefen und -dauer, Fliessgeschwindigkeiten, Sedimentation und Erosion, Geschiebefracht und Schwemmstoffe an verschiedenen Gebietspunkten. Die Erfahrung zeigt, dass für solche Untersuchungen mathematische Modelle für die hydraulische Berechnung von Hochwasserverläufen sowie physikalische Modellversuche unerlässliche Hilfsmittel sind. Allerdings hängt die Aussagekraft sowohl von mathematischen als auch von physikalischen Modellversuchen von der Güte der vorgenommenen Eichmessungen im Naturgerinne ab.

Schadenanalyse

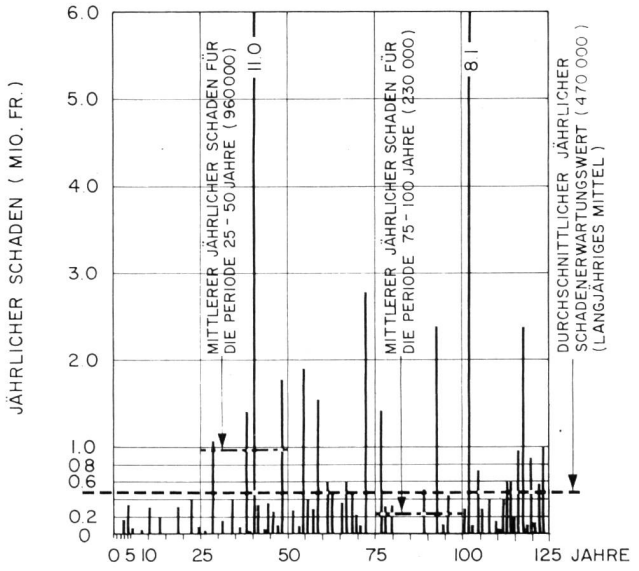
Mit der Schadenanalyse soll der Zusammenhang zwischen dem Schadenausmass und dem Abflussvorgang aufgezeigt werden. Durch umfangreiche Auswertungen von Schadenereignissen wird versucht, für verschiedenste Bodennutzungsarten Schadenfunktionen herzuleiten. Damit können monetäre Schäden an Gebäuden, Kulturen und Infrastruktur in Abhängigkeit der Abflusstiefen und -dauer, Fliessgeschwindigkeit, Sedimentation und Erosion, Geschiebefracht und Geschwemmsel ermittelt werden. Weitere Schäden wie Verlust von Kulturgütern, Einkommenseinbussen, Wertverminderungen von Grundstücken usw. können abgeschätzt werden. Besonders sorgfältige Über-

Bild 3. Überschwemmung in vorwiegend landwirtschaftlich genutztem Gebiet. Können wir uns die Produktionsverluste leisten?

Mfolozi River, Zululand, südliches Afrika, 1963. Etwa 100jährliches Hochwasser. Die Schadensumme betrug über 10 Mio Franken.



a) Jährliche Abflussspitzen



b) Jährliche Hochwasserschäden

Bild 4. Chronologische Darstellung von jährlichen Abflussspitzen und Hochwasserschäden (Mfolozi River). Bild 4a veranschaulicht den Zufallscharakter von Abflussvorgängen. Eine 25jährige, relativ trockene Periode kann von überdurchschnittlich nassen Jahren abgelöst werden.

Bild 4b zeigt jährliche Schäden für eine 125jährige Periode, welche aus einer langen Reihe von vielen hundert Jahren von simulierten Hochwasserereignissen herausgeschnitten wurde. Der durchschnittliche jährliche Schadenerwartungswert ergab in diesem Beispiel 470 000 Franken. Der mittlere jährliche Schaden für die 25jährige Periode (Jahr 25 bis 50) hingegen entspricht 960 000 Franken, derjenige für die 25jährige Periode der Jahre 75 bis 100 230 000 Franken. Der in den 25 Jahren 1952 bis 1976 eingetretene mittlere Schaden liegt bei 750 000 Franken. Diese Zeit muss daher als niederschlagsreich angesehen werden.

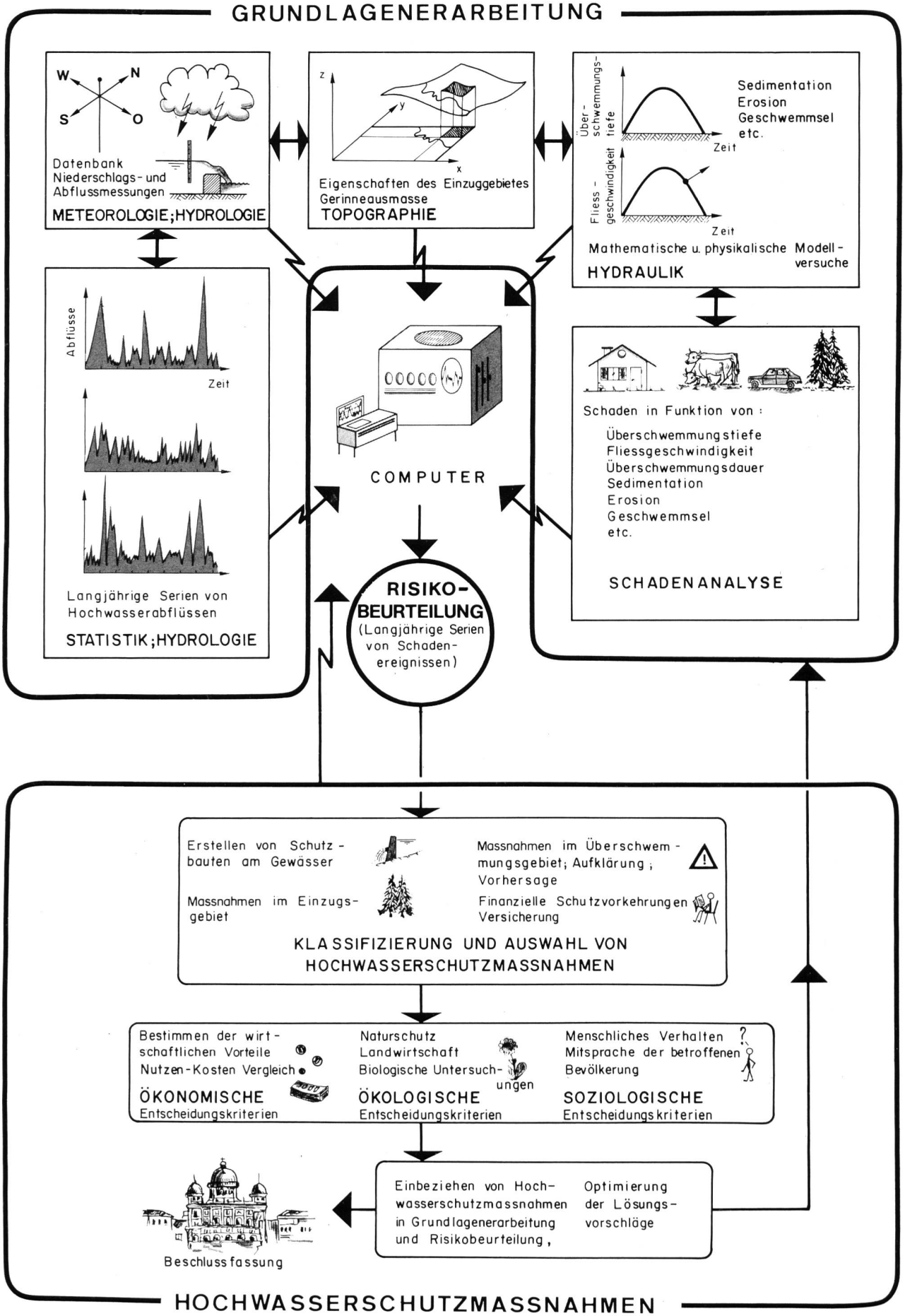


Bild 5. Schematische Darstellung einer interdisziplinären Hochwasserschutzanalyse.

legungen verdient die angemessene Berücksichtigung der Gefährdung von Menschenleben.

Theoretisch müssten alle Schäden einer langjährigen Serie von Hochwasserereignissen ermittelt werden. Es genügt jedoch im allgemeinen, wenn eine ausgewählte Anzahl von Ereignissen behandelt wird; durch Interpolation lassen sich die Schäden für alle anderen Ereignisse bestimmen.

Risikobeurteilung

Grundsätzliche Überlegungen

Mit Hilfe von Risikobeurteilungen können systematische Erhebungen über den Gefährdungsgrad ganzer Regionen unternommen werden; Gefahrenzonen verschiedenen Grades können abgegrenzt werden. Es kann der durchschnittliche jährliche Schadenerwartungswert, der definitionsgemäss dem mittleren jährlichen Schaden einer (unendlich) langen Serie von Schadenereignissen entspricht, ermittelt werden. Dies erlaubt eine Erwägung des finanziellen Risikos, das mit Aktivitäten im Überschwemmungsgebiet verbunden ist.

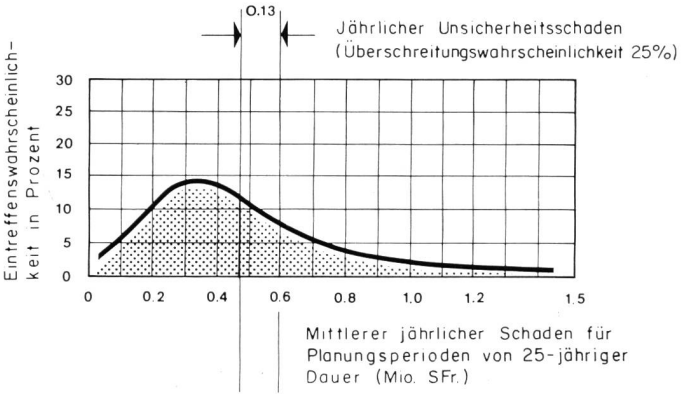
Gleichzeitig dienen solche Überlegungen zur Ermittlung der finanziellen Auswirkungen von Hochwasserschutzmassnahmen, wie im folgenden Kapitel gezeigt wird. Differenzierte Planungs- und Investitionsgrundlagen können damit erarbeitet werden.

Im gegebenen Falle können Versicherungsprämien auf rationaler Basis ermittelt werden. Es stellt sich die Frage, ob es nicht sinnvoll wäre, die Prämien dem jeweiligen Risikograd des betroffenen Gebietes anzupassen.

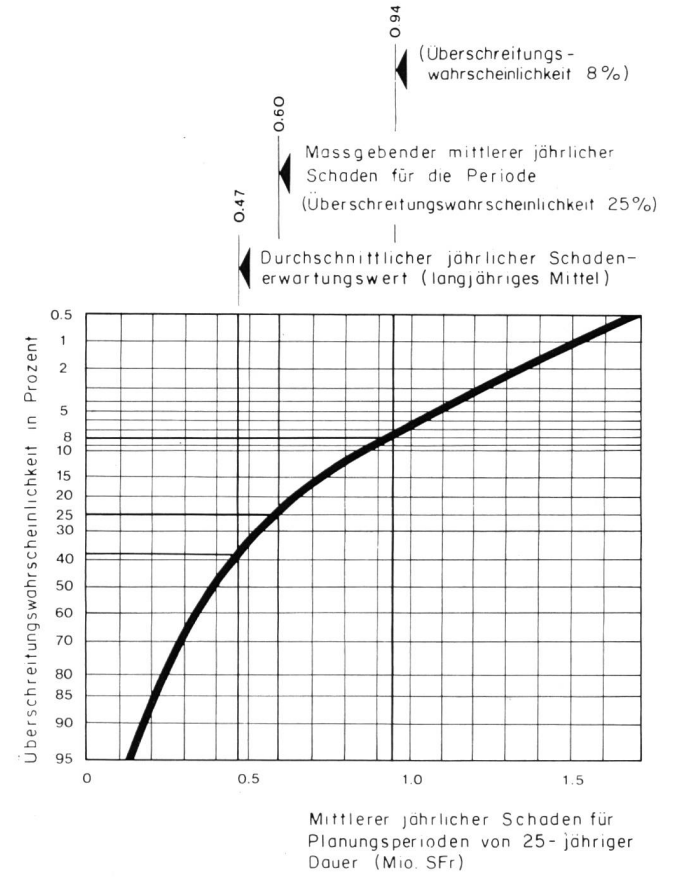
Spezielle Aspekte

Im Rahmen von wirtschaftlichen Überlegungen wird mit Perioden oder Investitionszeiträumen gearbeitet. Dabei ergibt es sich aber, dass der mittlere jährliche Schaden für eine Periode beschränkter Länge wegen des Zufallscharakters des Abflussvorganges stark vom durchschnittlichen jährlichen Schadenerwartungswert abweichen kann; der Mittelwert einer niederschlagsreichen 25jährigen Periode kann ohne weiteres ein Mehrfaches desjenigen einer trockenen Periode gleicher Länge sein. Dies zeigt Bild 4b. Jährliche Schäden sind in chronologischer Reihenfolge dargestellt für eine 125jährige Periode, welche aus einer langen Periode von vielen hundert Jahren von simulierten Hochwasserereignissen herausgeschnitten wurde. Der durchschnittliche jährliche Schadenerwartungswert ergab im Anwendungsbeispiel 470 000 Franken. Der mittlere jährliche Schaden für die 25jährige Periode (Jahr 25 bis 50) hingegen entspricht 960 000 Franken, derjenige für die 25jährige Periode (Jahr 75 bis 100) 230 000 Franken. Als Vergleich dazu sei angefügt, dass der tatsächlich gemessene mittlere jährliche Schaden für die 25jährige Periode 1952 bis 1976 750 000 Franken betrug. Die Periode 1952 bis 1976 muss daher als niederschlagsreich angesehen werden, was durch Niederschlagsmessungen während mehr als sechzig Jahren bestätigt ist.

Für ein Hochwassergebiet sollten wenn möglich immer Wahrscheinlichkeitsverteilungskurven des mittleren jährlichen Schadens für Investitionszeiträume beschränkter Länge erarbeitet werden. Dies kann mit Hilfe der langjährigen Serien von Schadenereignissen geschehen: Bild 6a stellt ein typisches Beispiel einer Wahrscheinlichkeitsverteilung des mittleren jährlichen Schadens für Perioden von 25jähriger Dauer dar; Bild 6b zeigt die entsprechende Summenkurve. Aus der Kurve in Bild 6b kann abgelesen werden, mit welcher Wahrscheinlichkeit ein bestimmter mittlerer jährlicher Schaden überschritten wird. Im konkreten Beispiel ist die Überschreitungswahrscheinlichkeit des mittleren jährlichen Schadenerwartungswertes von 470 000 Franken etwa 40 %. Weiterhin besteht ein 8prozentiges Risiko, dass ein dem doppelten langjährigen Mittel entsprechender mittlerer jährlicher Schaden von 940 000 Franken überschritten wird.



a) Wahrscheinlichkeitsverteilungskurve



b) Summenkurve

Bild 6. Wahrscheinlichkeitsverteilungs- und Summenkurve des mittleren jährlichen Schadens für Planungsperioden beschränkter Länge (Mfolozi River).

Aus der Kurve des Bildes 6b kann abgelesen werden, mit welcher Wahrscheinlichkeit ein bestimmter mittlerer jährlicher Schaden überschritten wird. Die Überschreitungswahrscheinlichkeit des mittleren jährlichen Schadenerwartungswerts von 470 000 Franken liegt beispielsweise bei 40 %. Es besteht ein 8prozentiges Risiko, dass ein dem doppelten langjährigen Mittel entsprechender mittlerer jährlicher Schaden von 940 000 Franken überschritten wird.

Die Grösse des erwarteten Unsicherheitsschadens kann mit Hilfe der Summenkurve in Bild 6b in Funktion eines akzeptierten Risikos bestimmt werden. Wird angenommen, dass der tatsächlich eintretende mittlere jährliche Schaden mit nur 25 % Wahrscheinlichkeit über dem massgebenden mittleren jährlichen Schaden liegen soll, so muss mit einem Schaden von etwa 600 000 Franken pro Jahr gerechnet werden; der jährliche Unsicherheitsschaden beträgt somit 130 000 Franken (d.h. 600 000 Franken abzüglich 470 000 Franken).

In der neueren Literatur wird für Wirtschaftlichkeitsanalysen von Hochwasserproblemen oft mit einem *massgebenden* mittleren jährlichen Schaden für eine Periode gearbeitet. Dieser wird errechnet als Summe des konventionellen langjährigen Mittels und eines sogenannten jährlichen Unsicherheitsschadens, welcher Streuungen Rechnung tragen soll. Die Grundüberlegungen rühren davon her, dass oft mit grösseren als durchschnittlichen Schäden geplant wird, damit bei Eintreffen eines oder mehrerer überdurchschnittlicher Hochwasser ein genügender finanzieller Rückhalt gewährleistet ist. Dies empfiehlt sich vor allem im Falle, wo ein aussergewöhnliches Hochwasser das Fortbestehen eines betroffenen Unternehmens in Frage stellen könnte. Die Grösse des erwarteten Unsicherheitsschadens kann mit Hilfe der Summenkurve in Bild 6b in Funktion eines akzeptierten Risikos bestimmt werden. Wird im konkreten Beispiel angenommen, dass der tatsächlich eintretende mittlere jährliche Schaden mit nur 25 % Wahrscheinlichkeit über dem massgebenden mittleren jährlichen Schaden liegen soll, so muss mit einem Schaden von etwa 600 000 Franken pro Jahr gerechnet werden; der jährliche Unsicherheitsschaden beträgt somit 130 000 Franken (das heisst 600 000 Franken minus 470 000 Franken).

Die Form der Verteilungskurven (Bild 6) hängt, abgesehen von der Art der hydrologischen, hydraulischen und schadentechnischen Gegebenheiten, von der Länge der gewählten Periode ab. Die Kurve Bild 6a nähert sich dem langjährigen Mittel (durchschnittlicher jährlicher Schadenerwartungswert) um so mehr an, je länger die Periode ist; das gleiche gilt auch für die Summenkurve Bild 6b. Zusätzlich hängt die Form auch von verschiedenen Ungenauigkeiten, angefangen bei den meteorologischen und hydrologischen Daten, topographischen und hydraulischen Berechnungsgrundlagen bis zu den Schadenerhebungen, ab. Die Kurven werden flacher, je grösser die Ungenauigkeiten sind; damit erhöhen sich für gleichbleibende Risikoannahmen auch die Unsicherheitskosten. Ein Vorteil der Simulationsmethode liegt gerade darin, dass solche Ungenauigkeiten auf rationale Art und Weise in die Betrachtung miteinbezogen werden können.

Hochwasserschutzmassnahmen

Aufgrund der Ergebnisse von Grundlagenerarbeitung und Risikobeurteilung kann entschieden werden, ob die Höhe der erwarteten Schäden möglicherweise Eingriffe in ein Flusssystem wirtschaftlich rechtfertigen. Ist dies der Fall, so werden zweckmässige Hochwasserschutzmassnahmen geplant. Massnahmen, deren Nutzen die Kosten überschreiten, können als wirtschaftlich taxiert werden. Ein endgültiger Entscheid bezüglich Ausführung kann allerdings erst anhand einer Gesamtbeurteilung gefällt werden, welche neben den ökonomischen Überlegungen auch ökologische, soziologische und politische Gesichtspunkte berücksichtigt.

Die folgende Klassifizierung von Hochwasserschutzmassnahmen gibt einen generellen Überblick.

Schutzbauten am Gewässer

Rückhaltebecken, Abflussregulierung an Seen und zusätzliches Einleiten von Bächen und Flüssen in Seen verringern die Abflussspitzen. Bach- und Flussverbauungen (zum Beispiel Uferschutzbauten, Gerinneanpassungen, Wehrbauten, Umleitungen, Brückenerweiterungen) vergrössern die Abflusskapazität und stabilisieren das Gerinne. Aufschüttungen zur Erhöhung des Baugrundes und das Erstellen von Schutzwällen um gefährdete Objekte herum verkleinern das Schadenpotential im Überschwemmungsgebiet.

Schutzbauten am Gewässer werden oft als Mehrzweckprojekte ausgeführt und dienen damit zum Beispiel auch der Energiegewinnung, der Bewässerung, der Wasserversorgung, der Erholung und dem Umweltschutz.

Massnahmen im Einzugsgebiet

Eine gezielte land- und forstwirtschaftliche Betreuung des Einzugsgebietes hilft, um das Abfliessen von Regenwasser zu verlangsamen und zu vermindern und damit Hochwasserspitzen zu verkleinern. Auch die Erosion und der Geschwemmselanfall können vermindert werden. Im besiedelten Gebiet kann Regenwasser zum Beispiel auf Parkplätzen, in natürlichen Senken usw. zurückgehalten werden.

Massnahmen im Überschwemmungsgebiet

Gesetzgeberische Massnahmen können helfen, ziellose Überbauungen im Überschwemmungsgebiet zu verhindern. Solche Überbauungen vergrössern die Abflüsse, erhöhen das Schadenpotential unnötigerweise und reduzieren oft die Abflusskapazität einer Flussstrecke. Grünzonen, Erholungsgebiete und Sportanlagen ertragen Überflutungen mit weniger Schaden als Wohnhäuser, gewerbliche Betriebe und Fabriken.

Durch Aufklärung der betroffenen Bevölkerung kann eine den Hochwassergefahren angepasste Besiedlung und landwirtschaftliche Bewirtschaftung von Überschwemmungsgebieten bewirkt werden. Im gegebenen Falle können bestehende, gefährdete Gebäude mit speziellen Schutzmassnahmen versehen und wertvolle Güter hochwassersicher aufbewahrt werden.

Vorhersage

Wettervorhersagen und Hochwasserwarnungen, letztere oft als Resultat von Überwachungen mit Hilfe von Niederschlags-Abfluss-Modellen, erlauben es, gefährdete Gebiete frühzeitig zu evakuieren, Abwehrmassnahmen zu treffen und damit Schäden zu reduzieren. Rettungsaktionen werden beschleunigt.

Versicherungen

Diese nehmen eine Sonderstellung unter den Hochwasserschutzmassnahmen ein. Sie verkleinern die Schäden nicht, doch werden in unregelmässigen Abständen eintretende finanzielle Verluste durch periodisch einbezahlte Versicherungsprämien ersetzt. Versicherungen können auf privater Basis oder mit staatlicher Hilfe organisiert sein. Als Ergänzung zu den oben beschriebenen Massnahmen dienen sie zur Deckung des verbleibenden Risikos. Durch Versicherungen wird oft eine gewisse soziale Umlagerung der Hochwasserschäden bewirkt.

Im gegebenen Falle können Einzelpersonen oder Gruppen von Individuen durch Eröffnen eines Hochwasserfonds persönliche finanzielle Schutzvorkehrungen treffen. Staatliche Schadenfonds können zur Linderung der finanziellen Not beitragen.

Wetterbeeinflussung

Massnahmen, Niederschläge zu beeinflussen, sind im Untersuchungstadium, und es wird sich zeigen, ob je grossangelegte Versuche durchgeführt werden können.

Auswahl von Hochwasserschutzmassnahmen

Nach dem Planen und Ausarbeiten von Hochwasserschutzmassnahmen werden die hydrologischen, statistischen, hydraulischen, topographischen und schadentechnischen Grundlagen neu überarbeitet, wie aus Bild 5 ersichtlich ist. Erneute Risikobeurteilungen erlauben es, wirtschaftliche Vorteile wie zum Beispiel den Grad der Schadenreduktion festzustellen. Im Rahmen von ökonomi-

schen Überlegungen werden allfällige weitere wirtschaftliche Vorteile wie Wertvermehrung von Grundstücken, Produktions- und Einkommenserhöhungen und Schaffung von Arbeitsmöglichkeiten bestimmt. Alle diese sogenannten Nutzen können mit den Kosten der Massnahmen verglichen werden.

Eine mögliche Reduktion der Gefährdung menschlichen Lebens stellt einen wichtigen Gradmesser zur Bewertung dar. Hochwasserschutzmassnahmen können zur Verbesserung der Umwelt beitragen. Erweiterte Grün- oder Naturschutzzonen und Hochwasserrückhaltebecken vermindern nicht nur die Abflussspitzen, sondern bieten dem bedrängten Menschen Erholungsraum und der gefährdeten Pflanzen- und Tierwelt Lebensraum. Obwohl die Qualität der Umwelt nur bedingt mit Geldwerten erfasst werden kann, werden entsprechende Ansätze gemacht und in Nutzen-Kosten-Vergleiche eingeführt.

Ökologische Untersuchungen sollen von allem Anfang an in die Planung miteinbezogen werden; die Mithilfe sowohl von entsprechend ausgebildeten Fachleuten als auch von interessierten Naturschutzkreisen ist erwünscht. Ökologische Modelle werden erfolgreich als Ergänzung von anderen mathematischen und physikalischen Modellen (Hydrologie, Hydraulik, Schadenerhebung) eingesetzt. Die Land- und die Forstwirtschaft können Beiträge zum Hochwasserschutz leisten. Die aktive Mithilfe der von Hochwassern betroffenen Bevölkerung bei der Gestaltung von Projekten ist ebenfalls erwünscht. In diesem Sinne müssen soziologische und politische Überlegungen in die Hochwasserstudien eingebaut werden. Hochwasserschutzprojekte können dadurch zweckmässiger gestaltet werden und haben bessere Aussichten, verwirklicht zu werden.

Hochwasserstudien, die entsprechend den erläuterten Überlegungen interdisziplinär durchgeführt werden, ermöglichen es den beschlussfassenden Gremien, Hochwasserschutzmassnahmen auszuwählen, die mit einem Minimum an Kosten optimale Wirkung zeigen. Die Wirksamkeit der Massnahmen kann durch periodische Neuüberprüfungen und gezielte Messungen kontrolliert werden; Anpassungen an neue Verhältnisse sind möglich.

Da die Berechnung sowohl des Nutzens als auch der Kosten mit Ungenauigkeiten verbunden ist, sollte konsequent mit Wahrscheinlichkeitsverteilungen und nicht mit Mittelwerten gerechnet werden. Für die Schadenreduktionen stehen Wahrscheinlichkeitsverteilungen aus der Risikobeurteilung zur Verfügung; für die anderen wirtschaftlichen Vorteile und die Kosten müssen Annahmen getroffen werden. Damit können Nutzen- Kosten-Wahrscheinlichkeitskurven hergeleitet werden, mit denen gezeigt werden kann, ob eine Hochwasserschutzmassnahme trotz der vorhandenen Unsicherheiten und Ungenauigkeiten als wirtschaftlich vorteilhaft angesehen werden kann.

Schlussbetrachtungen

In Anbetracht der verheerenden Folgen von Überschwemmungen, der Fülle von möglichen Massnahmen zur Verminderung der Schäden sowie der bedeutenden Summen, die alljährlich für Hochwasserschutzprojekte ausgegeben werden, sind umfassende Hochwasserschutzanalysen unumgänglich und gerechtfertigt.

Eine vermehrte Zusammenarbeit verschiedenster Fachgruppen muss angestrebt werden. Die optimale Verwertung der anfallenden Daten und die Anforderungen der für das Erfassen der Hochwassergefahren notwendigen mathematischen und physikalischen Modelle bedingen den Einsatz von leistungsfähigen EDV-Anlagen. Die eingesetzten Mittel sollen dabei in einem vernünftigen Verhältnis zum Umfang des jeweiligen Problems stehen. Die Genauigkeit und Aussagekraft der Resultate hängen letztlich ab von der Zuverlässigkeit der verwendeten Daten; gute Messgrundlagen und Investitionen zahlen sich hier aus.

Eingehende Risikobeurteilungen sind nötig, um die Schadenanfälligkeit bedrohter Gebiete trotz verschiedener Ungenauigkeiten und Unsicherheiten zu beurteilen und allfällige Hochwasserschutzmassnahmen auf ihre Wirksamkeit und Wirtschaftlichkeit zu prüfen.

In der Schweiz sind weitsichtige und wegweisende Hochwasserschutzprojekte verwirklicht worden; es besteht jedoch weiterhin eine Fülle von Problemen. Einerseits sind in vielen Gebieten noch keine umfassenden Hochwasserstudien durchgeführt worden, andererseits sind Anpassungen von gewissen ausgeführten Projekten an die heutigen Umstände unumgänglich. Verschiedenste Hochwasserschutzbauwerke genügen den stark erhöhten Abflüssen nicht mehr. Wo noch vor wenigen Jahrzehnten Überschwemmungen geringfügige Schäden verursachten, besteht heute wegen dichter Überbauung ein stark erhöhtes Schadenpotential.

Währenddem hierzulande der Hauptakzent bisher auf Gerinneverbauungen zur Verbesserung der Abflussverhältnisse lag, sollte in Zukunft vermehrt aus dem ganzen Spektrum von möglichen Hochwasserschutzmassnahmen geschöpft werden. Unter den direkten baulichen Massnahmen verdienen vor allem Hochwasserrückhaltebecken Beachtung. Veränderungen im Einzugs- und Überschwemmungsgebiet zur Verminderung der Abflussspitzen und planerische Massnahmen zur Reduktion der Schadenanfälligkeit sollten vermehrt erwogen werden. Hochwasserversicherungen gehören zu den erfolgversprechenden finanziellen Schutzvorkehrungen. Ungeachtet der Wahl einer oder einer Kombination von Massnahmen muss den Anforderungen des Umweltschutzes in allen Fällen Rechnung getragen werden.

Hochwasserschutzmassnahmen, die als Resultat von umfassenden Hochwasserschutzanalysen vorgeschlagen werden, erlauben einen verantwortungsbewussten Entscheid, der oft auf der politischen Ebene getroffen werden muss.

Ausgewählte Literatur

[1] *Biswas, A.K.:* Mathematical modelling and environmental decision making. Ecological Modelling, Vol. 1, Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam, The Netherlands, 1975, pp. 31–48.

[2] *Buck, W.:* Die Auswahl des Bemessungshochwassers als ein Entscheidungsproblem unter Risiko und Ungewissheit. Dissertation, Universität Karlsruhe (TH), Karlsruhe; 1975.

[3] *Eidg. Amt für Strassen- und Flussbau (ASF):* Die grössten bis zum Jahre 1969 beobachteten Abflussmengen von schweizerischen Gewässern, 1974.

[4] *Pilgrim, D.H. and Askew, A.J.:* The case for flood plain mapping in Australia. Water Research Foundation of Australia, Report No. 43, Kingford, N.S.W., Australia.

[5] *Pitman, W.V.P. et al.:* Design flood determination in South Africa. Hydrological Research Unit Report No. 1/72, University of the Witwatersrand, Johannesburg, 1972.

[6] *Schmidtke, R.F.:* Nutzenermittlung im Hochwasserschutz. Mitteilungen der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie, Nr. 18, ETH, Zürich, 1975, S. 135–156.

[7] *Vischer, D.:* «Wie lassen sich Hochwasserschutzmassnahmen rechtfertigen?» «Schweizerische Bauzeitung», *95,* Heft 29, Juli 1977.

[8] *Weiss, H.W.:* Suite of mathematical flood plain models. «Journal of the Hydraulics Division, American Society of Civil Engineers (ASCE)» *104,* No. HY3, March 1978, pp. 361–376.

Adresse des Verfassers: Dr. *Heinz W. Weiss* in Firma Basler & Hofmann, Ingenieure und Planer, Forchstrasse 395, 8029 Zürich.