

Zeitschrift: Eclogae Geologicae Helvetiae
Herausgeber: Schweizerische Geologische Gesellschaft
Band: 90 (1997)
Heft: 3

Artikel: Risikomanagement bei Hochwasser : Beispiel Oberrhein
Autor: Plate, Erich J.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-168176>

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: 22.01.2026

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

Risikomanagement bei Hochwasser: Beispiel Oberrhein

ERICH J. PLATE

Key words: Riskmanagement, Upper Rhine, disaster mitigation, flood management

ZUSAMMENFASSUNG

Die Internationale Dekade für Katastrophenvorbeugung (International Decade for Natural Disaster Reduction) hat für alle Länder als bis zum Jahr 2000 erreichbar drei Ziele gesetzt: 1. Es sollen bis dahin die wichtigsten Gefahrenpotentiale identifiziert und quantifiziert sein, 2. es sollen landesweite und lokale Pläne zur Katastrophenvorbeugung und zum Katastrophenschutz erstellt werden, und 3. alle Länder sollen Zugang zu Warnsystemen auf lokaler, regionaler und internationaler Basis haben. Diese Ziele dürfen jedoch nicht getrennt von einander gesehen werden. Sie sind miteinander verknüpft, wie durch das Schema eines Risikomanagements verdeutlicht werden kann. Dieses Schema wird auf den Hochwasserschutz als einer der wichtigsten Aufgaben der Katastrophenvorbeugung angewendet und am Beispiel des Hochwasserschutzes im Gebiet des Oberrheins beschrieben.

ABSTRACT

The International Decade for Natural Disaster Reduction (IDNDR) has set three targets to be reached by all countries by the year 2000. 1. To identify the most important hazards and to assess their risk, 2. to have in place national and/or local prevention and preparedness plans and 3. to have access to global, regional, national and local warning systems. These objectives cannot be considered separately. They are interrelated, as is demonstrated by means of a general risk management plan. This plan is applied to flood protection as one of the most important disaster reduction activities, illustrated by means of the example of the Upper Rhine.

Risikomanagement am Oberrhein

Wie kaum ein anderer Fluss hat der Oberlauf des Rheins seit alters her im Mittelpunkt des europäischen flussbaulichen Geschehens gestanden. Nicht erst seit dem der bedeutende badi-sche Ingenieur J.G. Tulla im Jahre 1825 seinem Landesherrn den Plan für die Korrektion des Rheins vorgelegt hat, sind alle Entwicklungen des Ausbaus von grossen Flüssen auch am Rhein durchgeführt worden – von den ersten Durchstichen von Flussschleifen noch im 18. Jahrhundert bis zu den modernen Massnahmen des Ausbaus des Rheins zur Schiffahrtsstrasse, die den Atlantik mit der Schweiz verbindet. Dabei hat die Beherrschung des Hochwassers, oder besser, die Verminde-
rung des Hochwasserschadens, eine zentrale Rolle gespielt. Man kann den Hochwasserschutz am Oberrhein als ein Bei-
spiel für die Entwicklung aller Arten von Schutzkonzepten verwenden, die von einem objektorientierten örtlichen Hoch-
wasserschutz bis zu einem modernen Hochwassermanagement reichen. So wird heute der Hochwasserschutz nicht für sich al-
lein, sondern als Teil einer integralen flussbaulichen Planung gesehen, wobei auch Schiffahrt, Energiegewinnung und die

ökologische Gestalt des Uferbereiches eine gewichtige, wenn auch nicht gleichwertige Rolle spielen.

Der Oberrhein umfasst in Baden-Württemberg den Be-
reich des Rheines zwischen Basel und Mainz, wie in Figur 1 ge-
zeigt. Dieser Teil des Rheins ist als Grenze zwischen Deutsch-
land und Frankreich besonders politisch belastet, und viele Entwicklungen am Rhein, die heute als Negativbeispiele für die «Eingriffe der Ingenieure in die Natur» aufgeführt werden, haben ihren Ursprung in politischen Anliegen, die mit hydro-
logischen oder flussbaulichen Aspekten wenig zu tun haben. So die Begradigung als Grenzfestlegung oder eine Energiege-
gewinnung auf französischem statt auf deutschem Boden (durch den geplanten und bis Strassburg auch erbauten Rheinseiten-
kanal). Die politische Entwicklung ist jedoch auch mitverant-
wortlich für die gravierenden Probleme des Hochwasserschutzes, mit denen heute am Oberrhein gekämpft wird. Das wird im folgenden etwas deutlicher gemacht. Der Oberrhein soll aber nur als Beispiel dienen für das heute angewendete allgemeinere Vorgehen bei Hochwasser und anderen natürli-

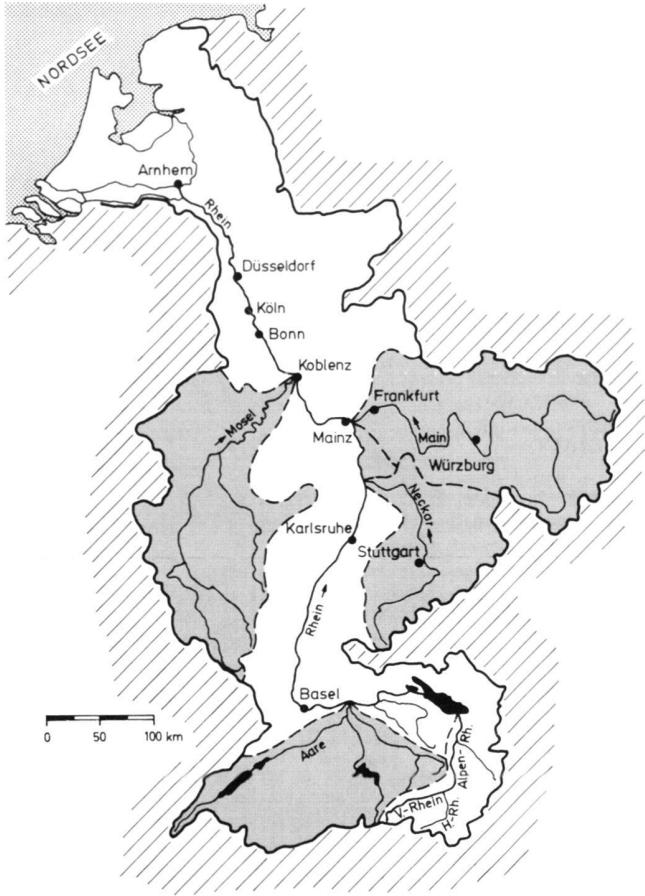


Fig. 1. Das Einzugsgebiet des Rheins mit seinen wichtigsten Nebenflüssen

chen Katastrophenursachen, die unter dem Begriff Risikomanagement zusammengefasst werden.

Ein modernes Risikomanagement erfolgt nach dem Schema der Figur 2. Es besteht aus zwei wesentlich getrennten Teilen, nämlich der Risikoermittlung, in welchem die Grundlagen gelegt werden für die Entscheidungen, und ihre Umsetzung in praktisch wirksame Aktionen, die hier mit dem Begriff Risiko-handhabung bezeichnet werden.

Die Feststellung des Hochwasserpotentials

Der erste Schritt des Risikomanagements ist die Feststellung des Hochwasserpotentials, eine Aufgabe für den Hydrologen, der eine Abschätzung für zukünftig zu erwartende Hochwasser und deren Auftretenswahrscheinlichkeit machen muss. Dabei ist das Hochwasser das sogenannte «auslösende Ereignis». Formal wird es durch eine Grösse x bezeichnet. Die Beschreibung dieser Grösse ist am Oberrhein durch den Wasserstand gegeben, aber der Hydrologe muß von der Wassermenge ausgehen, da diese die natürliche, durch Niederschläge und



Fig. 2. Schema einer Risikobewirtschaftung

Schneeschmelze ausgelöste Ursache eines hohen Wasserstandes ist.

Mathematisch wird das auslösende Ereignis durch eine Überschreitungswahrscheinlichkeit $P_{\bar{u}}(x)$ beschrieben, die mit der Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion $f(x)$ durch die Beziehung:

$$P_{\bar{u}}(x) = \int_x^{\infty} f(x) \cdot dx \quad (1)$$

verknüpft ist. Die Überschreitungswahrscheinlichkeit $P_{\bar{u}}(x)$ wird üblicherweise auf ein Jahr bezogen, so dass $P_{\bar{u}}(x)$ auch durch die Gleichung

$$P_{\bar{u}}(x) = \frac{1}{T_x} \quad (2)$$

beschrieben werden kann, wobei T_x die Zeit (in Jahren) ist, die im langjährigen Mittel zwischen Auftreten von Ereignissen grösser oder gleich x verstreicht – im Mittel; das heisst aber nicht, dass nicht Überschreitungen auch in kürzeren Zeiträumen einmal auftreten können, wie sich gerade am Rhein gezeigt hat. Dort ist im Dezember 1993 im Unterlauf stromabwärts von Koblenz ein nahe am 100jährlichen Wert liegendes Hochwasser aufgetreten, und schon wieder im Februar 1995 folgte ein fast gleich hohes Hochwasser.

Traditionell beruht die Schätzung der Überschreitungswahrscheinlichkeit nach Gl. 2 auf der Annahme, dass die Daten, auf denen diese Schätzung beruht, einer stationären Zeitreihe entstammen, dass sich also statistische Parameter wie Mittelwerte und Streuungen mit der Zeit nicht verändern. Diese Annahme wird heute zunehmend in Zweifel gezogen. Das gilt auch für das Abflussverhalten des Rheines. Für den Rhein bestehen sehr lange Reihen der Wasserstandsbeobachtung, die aus Basel kontinuierlich seit 1808 vorliegen, und auch am Pegel Maxau bei Karlsruhe sind bereits seit 1815 tägliche Wasserstände aufgezeichnet worden. Das ist für einen Hydrologen eine sehr lange Jahresreihe, aus der sich durchaus Entwicklungen des Abflussgeschehens ablesen lassen. Sie haben

allerdings nicht die Aussagekraft von genauen Abflussmessungen, da der Wasserstand sowohl von der Wassermenge als auch von der Geometrie des Querschnittes und vom Gefälle abhängt, – beides Faktoren, die durch menschliche und natürliche Veränderungen des Flussbettes nicht nur am Rhein, sondern auch an vielen seiner kleineren und grösseren Nebenflüsse sehr stark verändert wurden – der Querschnitt etwa durch Ausbau zur Schifffahrtsstrasse, das Gefälle durch die Flussbegradigungen. Die Ausbaumassnahmen am Rhein sind nicht beendet, jede Generation greift in anderer Weise und nach ihren wasserbaulichen Erkenntnissen und wasserwirtschaftlichen Bedürfnissen in den Fluss ein, und die Wasserstände reflektieren diese von Menschen bewirkten Veränderungen. Interessanterweise ist am Rhein an den gut beobachteten Pegeln kein signifikanter Aufwärtstrend der Wasserstände in den letzten 40 Jahren beobachtet worden (Engel et al. 1994).

Dennoch darf der Hydrologe bei der Betrachtung des Rheins nicht die möglichen Einflüsse von Instationaritäten, etwa bedingt durch Klimaänderungen, ignorieren. Die Klimamodelle, die heute an vielen Stellen von Meteorologen erstellt werden, deuten auf eine Veränderung des Klimas durch die Wirkung des Treibhauseffektes. An der Frage, wie sich eine mögliche Änderung des CO₂-Gehalts der Atmosphäre auf die Zu- oder Abnahme von Extremereignissen auswirken könnte, wird heute vielerorts gearbeitet, so ist z.B. am Institut für Hydrologie und Wasserwirtschaft der Universität Karlsruhe ein Modell entstanden, das auf einer Analyse der Häufigkeiten von typischen meteorologischen Wetterlagen beruht. Mit diesem Modell lässt sich eine Zunahme katastrophenauslösender Ereignisse im Bereich von Niederschlägen (Bardossy & Caspary 1990) oder von Sturmfluten (Plate & Ihringer 1991) seit 1950 erkennen. (Eine Extrapolation auf eine Situation mit höherem CO₂-Gehalt der Atmosphäre hängt allerdings sehr stark von der Güte der Klimamodelle ab). Danach ist zu vermuten, dass die Wassermengen der Hochwasser in den letzten Jahren zugenommen haben. In der Tat ist festzustellen (Engel 1994), dass zwar wegen der grossen Bedeutung der anthropogenen Einflüsse auf das Abflussgeschehen des Rheines aus den Wasserständen des Rheins der Einfluss einer Klimaänderung über die kurzen uns zur Verfügung stehenden Zeiträume statistisch nicht feststellbar ist, dass jedoch in der Zeitreihe der Wassermengen an manchen Pegeln des Rheins ein Trend erkennbar ist. Dieser Trend geht zwar in der vermuteten Richtung, doch lässt er sich nicht ohne weiteres auf eine anthropogen bedingte Klimaänderung zurückführen.

Wichtiger als der Effekt von Klimaänderungen ist wohl die natürliche Variabilität des Klimas, wodurch durchaus Häufungen von an sich seltenen Extremereignissen auftreten können, und auch die Veränderung des Abflusses aus dem Niederschlag, der vielerorts durch die Versiegelung der Böden durch Bebauung, bzw. durch die landwirtschaftliche Nutzung und durch die Veränderung von Waldflächen in Ackerland und umgekehrt beeinflusst wird. Diese Effekte werden in der heutigen hydrologischen Praxis durch Sicherheitsfaktoren in der Schätzung der Extremwerte bzw. durch die Auswahl eines sehr

seltenen Bemessungshochwassers berücksichtigt. Jedoch muss immer damit gerechnet werden, dass alle Werte von Hochwasserschätzungen schon ihrer Natur nach mit grossen Unsicherheiten behaftet sind, die aus vielen verschiedenen Ursachen stammen. Unsicherheiten durch die Variabilität des Klimas oder durch die Modelle, mit denen Niederschläge in Abflüsse umgewandelt werden, wie letztlich auch die Umrechnung der Wassermenge in Wasserstände, können durch bessere Modelle nur vermindert, aber nicht eliminiert werden. Modelle sind heute in der Entwicklung, die die Unsicherheit der Datenbasis genau so berücksichtigen wie auch verbesserte Kenntnisse über die Prozesse, durch die der Niederschlag in Abfluss umgewandelt wird – es sei an dieser Stelle nur auf die Ergebnisse des Schwerpunktes «Regionalisierung in der Hydrologie» verwiesen, den die Deutsche Forschungsgemeinschaft eingerichtet hat und der im Jahr 1997 ausläuft.

Von besonderer Bedeutung in der Beeinflussung des Hochwassergeschehens ist die Auswirkung von Ausbaumassnahmen an den Flüssen. Durch die Korrektion des Rheines ist der Flusslauf im Oberrheingebiet erheblich verkürzt worden, so dass auch das Gefälle zugenommen hat. Durch das erhöhte Gefälle ist die Abflussgeschwindigkeit erhöht, und durch diesen Effekt und wegen des kürzeren Weges braucht der Scheitel eines bei Basel aus dem Alpengebiet kommenden Hochwassers heute etwa 30 Stunden weniger, um nach Maxau bei Karlsruhe zu kommen, als am Ende des 19. Jahrhunderts. Die Folgen dieser Beschleunigung des Hochwasserscheitels sind gravierend, da dadurch eine Zeitverschiebung der Hochwasserabflüsse aus dem Rhein relativ zu dem seiner großen Nebenflüsse erfolgt, die in Figur 3 recht dramatisch für das sehr grosse Hochwasser von 1882/83 nachgestellt wurde. In dieser Abbildung ist gezeigt, dass durch die Zeitverschiebung bei gleichen meteorologischen Verhältnissen Neckarhochwasser und Rheinhochwasser mit ihren Spitzen heute fast zusammen treffen würden. Es ist allerdings auf Grund der vielen zusätzlichen Veränderungen an Rhein und Neckar nicht damit zu rechnen, dass diese Situation je auftritt, und eine gute meteorologisch-hydrologische Untersuchung von Gleichzeitigkeiten in Rhein, Neckar, Main und Mosel ist eine Aufgabe, die einschlägige Fachleute heute zu lösen haben.

Das Risikomanagementkonzept nach Figur 2 fordert, dass in der Stufe «Feststellung des Hochwasserpotentials» abschliessend für das Hochwasser einer bestimmten Jährlichkeit die Überschwemmungsflächen bestimmt werden, wobei wegen der vorhandenen Deiche diese Überschwemmungsflächen erst dann relevant werden, wenn die Deiche überströmt werden. Die für diesen Katastrophenfall überfluteten Flächen werden am Rhein allerdings nur in einigen Lokalitäten, wie z.B. in Köln, (Oelmann mdl. Mitt.) ausgewiesen.

Risikobestimmung: Ermittlung der Konsequenzen

Der nächste Schritt im Risikomanagement ist die Ermittlung der Konsequenzen. Qualitativ finden sie ihren Ausdruck in den Grundsätzen, nach denen Hochwasserschutz betrieben

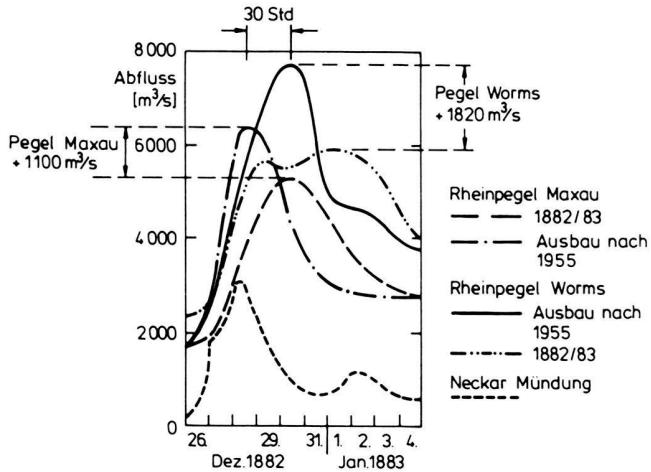


Fig. 3. Ganglinien des Hochwasserereignisses von 1882 an Oberrhein und Neckar, und hypothetische Ganglinien für dasselbe Ereignis unter heutigen Verhältnissen (nach KHR 1993).

werden soll (z.B. LAWA 1995). Quantitativ finden sie Berücksichtigung durch das Risiko. Im klassischen «Risk assessment» sind Überschreitungswahrscheinlichkeit und Konsequenzen, die durch das Überschreiten eines kritischen Wertes entstehen, im Begriff des verallgemeinerten Risikos $RI(D)$ zusammengefasst:

$$RI(D) = \int_{x_{krit}}^{\infty} K(x|D) \cdot f(x) \cdot dx \quad (3)$$

Hierin ist $K(x|D)$ die Konsequenzfunktion, die ausdrückt, welcher Schaden zu erwarten ist, wenn nach der durch D beschriebenen Ausbaumassnahme ein Extremereignis von der Größe $x \geq x_{krit}$ auftritt. Dabei ist x_{krit} der durch die gewählte Ausbaumassnahme (die auch die Massnahme «nichts tun» sein kann) bestimmte Wert des Extremereignisses, bis zu dessen Erreichen kein Schaden auftritt. Die Konsequenzfunktion $K(x|D)$ kann entweder in Kosten ausgedrückt werden, und umfasst dabei die Beseitigungskosten für den entstandenen Schaden, oder sie beschreibt andere, weniger leicht quantifizierbare Schäden, wie etwa die Bedrohung von Menschen oder Ökotopen.

Für den Fall einer Konsequenzfunktion, die konstant ist für $x > x_{krit}$ reduziert sich Gl. 3 auf die oft für das Risiko angegebene Form:

$$RI(D) = K(D) \cdot P_U(x_{krit}) \quad (4)$$

Es ist einleuchtend, dass Gl. 4 das Risiko nach Gl. 3 nur unvollständig beschreibt, weil in den meisten Fällen die Konsequenzen durchaus von der Grösse des Hochwassers, also von x , abhängig sind, was in Gl. 4 vernachlässigt wird.

Eine sehr anschauliche Aufgliederung von K erfolgt über die Beziehung:

$$K = n \cdot v \cdot k \quad (5)$$

Hierin ist n die Anzahl der betroffenen Elemente («Elements at risk»), z.B. der Gebäude oder Menschen. v ist die Verletzlichkeit, oder Vulnerabilität. Sie bezeichnet den Prozentsatz der maximal möglichen Konsequenz k , der im Mittel zu erwarten ist. Eine typische Bewertung quantifiziert die Gefährdung von Menschenleben durch $k = 1$ und $v =$ die Wahrscheinlichkeit, dass ein Mensch bei Eintritt des Ereignisses $x > x_{krit}$ das Leben verliert, in welchem Fall das Risiko die im Mittel zu erwartende Anzahl von Hochwassertoten pro Jahr ist.

Kosten oder Verluste an Menschenleben sind die am besten erforschten Arten des Risikos. Heute gibt es jedoch Bestrebungen, auch andere Kriterien bei der Bewertung zu berücksichtigen und insbesondere die Bewertung der Ökologie mit einzubeziehen (Buck & Pflügner 1991). Sie erfordern jedoch einen sehr grossen Datenaufwand und sind daher am Rhein nur lokal anwendbar. Es gilt aber für den Rhein wie für viele grosse Flüsse, dass Hochwasserschutz nie als alleinige Aufgabe gesehen werden kann, so dass eine Lösung, die nur das Hochwasserrisiko minimiert, nicht ausreichend ist. Es handelt sich vielmehr um eine Teilaufgabe im Rahmen eines Optimierungsproblems mit Mehrfachzielsetzungen. Am Rhein müssen die Belange der Schifffahrt ebenso berücksichtigt werden wie Erosionsschutz und Grundwasserhöhenkontrolle. Bei der Komplexität dieser Situation ist es nicht verwunderlich, dass sich die zuständigen Behörden auf ein Bewertungskonzept geeinigt haben, dass von der Quantifizierung des Risikos Abstand nimmt und statt dessen von einer Reihe von Nebenbedingungen ausgeht, die die weiteren Ausbaumassnahmen am Rhein erfüllen sollen. Diese Forderungen sind einerseits, dass der Hochwasserschutz, der vor 1950 bestanden hat, wieder hergestellt wird, und dass dabei die Belange des Naturschutzes, d.h. in erster Linie der Schutz der bestehenden funktionsfähigen Auen, bzw. die Restauration beeinträchtigter Auen entlang des oberen Rheines so gut wie möglich berücksichtigt werden. Das Ziel des Ausbaus soll es sein, die durch den Ausbau seit 1950 verlorenen Speichervolumina wieder bereitzustellen, und den Hochwasserschutz von vor 1950, der als Kompromiss zwischen Sicherheit und Machbarkeit auf den Schutz gegen das 200jährige Hochwasser gerichtet war, wieder herzustellen.

Mit diesen Forderungen anstelle von Gl. 3 ist die Risikoermittlung für den Oberrhein abgeschlossen worden. Sie gewährleisten ein pragmatisches und politisch verständliches und vertretbares Vorgehen, das in der Tat in Baden-Württemberg politisch im Prinzip akzeptiert wurde und im Konzept des «Integrierten Rheinprogramms» mündete.

Risikohandhabung: Entscheidung zur Risikominderung

Mit den Schritten der Risikoermittlung sind die Grundlagen gelegt, um in den Entscheidungsprozeß für die durchzuführen-

den Massnahmen einzutreten, und diese zu verwirklichen. Hierfür stehen für einen Hochwasserschutz eine Reihe von technischen und nichttechnischen Möglichkeiten zur Verfügung. Sie wirken sich auf verschiedene Weise zur Verringerung des Risikos aus, wie mit Hilfe der Gl. 3 gezeigt werden soll.

Technische Massnahmen zum Hochwasserschutz

Es ist offensichtlich, dass die typischen technischen Lösungen des Hochwasserproblems in erster Linie das kritische Ereignis x_{krit} herauf und damit $P_u(x_{krit})$ herabsetzen. Zu diesen Massnahmen gehören als klassische flussbauliche Verfahren die Begradiung des Flusses und der Bau von Deichen, und in der Tat sind diese Massnahmen auch in erster Linie bis 1950 am Rhein eingesetzt worden. Bereits Tulla hat durch die Begradiung des Rheins die Abflussgeschwindigkeit und den Abflussweg der Hochwässer verkürzt. Der durchgehende Bau der Deiche am Oberrhein, insbesondere die Verkleinerung der Hochwasserüberflutungsflächen, die zwischen 1950 und heute zu einem Verlust von 130 km² geführt haben, ist allerdings hauptsächlich auf die weniger behutsamen Eingriffe seiner Nachfolger und den Versuch, den Rhein für Schiffahrt und Energiegewinnung zu nutzen, zurückzuführen. Denn es wurde weitgehend ignoriert, dass Tulla, allein auf der Basis von historischen Ereignissen, eine doppelte Deichlinie vorsah, also keineswegs die heute als zu starr empfundene Hochwasserregelung mit nur einem Deich bei fast fehlenden Überflutungsflächen. Die erste Deichlinie war die häufiger unterbrochene Deichlinie für den Schutz von Ortschaften, die zweite eine Deichlinie, die eine grossflächige Überflutung der Rheinaue begrenzte und geeignet war, einen grossen Teil der bei extremem Hochwasser auftretenden Abflußfülle aufzunehmen.

Wir sehen heute, dass der Hochwasserschutz durch technische Massnahmen seine Grenzen hat. Jede technische Massnahme erzeugt eine Gegenwirkung, die durch weitere Massnahmen kompensiert werden muss. Besonderes Beispiel hierfür ist der Erosionsschutz für den südlichen Teil des Oberrheins. Ein Ziel des Rheinausbaus des letzten Jahrhunderts war es, die dort auftretende Verlandung, die in früheren Jahrhunderten zu Überflutungen und Vernässung der angrenzenden Flächen geführt hatte, zu kompensieren. Die Begradiung hatte eine zunächst gewollte, dann aber weiterführende starke Erosion von bis zu 7 m in weniger als dreissig Jahren zur Folge. Sie führte dazu, dass der Grundwasserstand im oberen Rheintal zu tief abgesenkt und die Fauna vom Grundwasser abgeschnitten wurde, so dass das Gebiet zu versteppen drohte. Als Gegenmassnahme wurden Kulturwehre errichtet, zuerst bei Breisach und später bei Kehl. Weitere Probleme entstanden durch den Bau von Staustufen, die den Geschiebefluss hemmen und zu grösseren Erosionen unterhalb der Staustufen führen. Dadurch würde ein vom Oberlauf nach unten fortschreitender Ausbau notwendig, wie er bis Iffezheim bei Baden-Baden durchgeführt wurde, wenn die Erosion nicht durch eine Geschiebezugabe kompensiert werden würde. Für

eine Würdigung der Probleme, die die Staustufen am Rhein erzeugt haben, wird auf Felkel (1987) verwiesen.

Für den Oberrhein wurden die Möglichkeiten eines Hochwasserschutzes in gemeinsamer Arbeit von Wasserwirtschaftlern und Ökologen aus den anliegenden Ländern untersucht, und es entstand das «Integrierte Rheinprogramm», in welchem versucht wird, die Bedürfnisse des Hochwasserschutzes mit anderen Bedürfnissen, vornehmlich denen der Erhaltung und Regenerierung der vorhandenen Auenreste zusammenzuführen, unter möglichster Schonung anderer Interessen, wie denen der Forst- und Landwirtschaft. Die Lösung sieht vor, im Elsass, in Baden-Württemberg und in der Pfalz Rückhalteräume zu schaffen, die während eines extremen Hochwassers den grössten Teil der verlorengegangenen 210 Mio. m³ aufnehmen sollen. Ferner müssen die Deiche den neuen Abflussverhältnissen entsprechend verstärkt bzw. erhöht werden, um den gleichen lokalen Hochwasserschutz zu erreichen, wie er 1950 bestand.

Die Umsetzung dieses Programms erfordert die Einrichtung von Poldern, die seitlich am Fluss angeordnet werden, und solche Bauwerke sieht das «Integrierte Rheinprogramm» als einen wesentlichen Bestandteil der Rückgewinnung von Überflutungsflächen vor. Die Planungen sind abgeschlossen, und heute wird das «Integrierte Rheinprogramm» umgesetzt. Bereits gebaut ist ein Polder auf der französischen Seite (der Moderpolder mit 37 Mio. m³ Fassungsvermögen) und der Polder Altenheim (17 Mio. m³) auf der deutschen Seite des Oberrheins, wo auch der Polder Söllingen im Bau ist. Diese technischen Massnahmen reichen jedoch nicht aus, um den geforderten Hochwasserschutz zu gewährleisten, und zusätzlich müssen nicht technische, oder besser: nicht flussbauliche, Massnahmen getroffen werden.

Nichttechnische Massnahmen

An nichttechnischen Massnahmen bietet sich ein ganzes Spektrum von Möglichkeiten an, die in Tabelle 1 zusammengestellt sind (nach Buck & Lee 1980). Sie reduzieren das Risiko durch die Reduzierung der Konsequenzen, d.h. von K in Gl. 4. Am einfachsten geschieht dies, indem nach Gl. 5 die Anzahl n der gefährdeten Elemente heruntergesetzt wird, etwa durch temporäre oder permanente Entfernung der Elemente, z.B. durch Umsiedlung der betroffenen Menschen oder Industrieanlagen aus den Überflutungsflächen. Eine temporäre Evakuierung ist allerdings nicht einfach; sie braucht eine Vorhersage und ein Frühwarnsystem, und die Bereitschaft der Betroffenen, auf die Warnung hin auch zu reagieren. Das setzt aber das Vertrauen in die Güte der Vorhersage voraus. Der Vorhersager steht dann im Konflikt mit der Verantwortung für die Sicherheit, die ihn dazu veranlasst, vorsorglich zu warnen, und dem Problem, dass eine oder zwei Fehlwarnungen genügen, um seine Glaubwürdigkeit zu zerstören.

Der praktisch einfachste Weg der Risikominderung ist, nichts zu tun, ehe das Katastrophenereignis eingetreten ist und dann dafür zu sorgen, dass seine Auswirkungen möglichst ge-

Hochwasserwelle des Rheins Dezember 1993 – Januar 1994

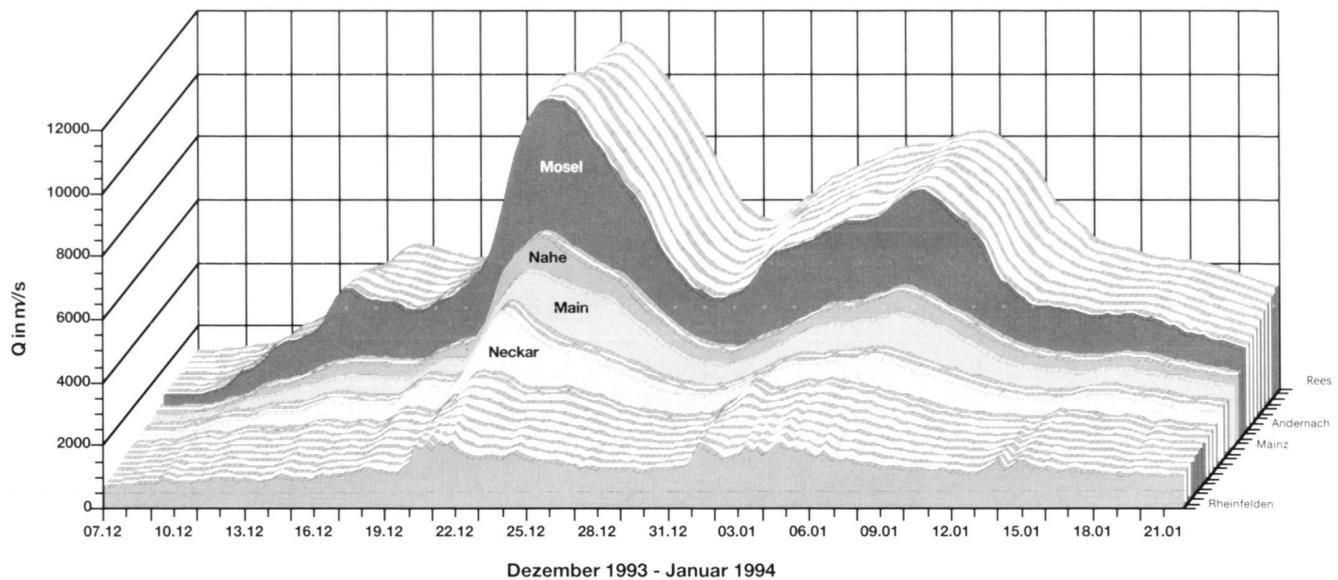


Fig. 4. Ablauf des Rheinhochwassers im Dezember 1993 (Engel 1994). Die horizontale Achse zeigt die Zeit, die nach hinten zeigende dritte Achse die Entfernung vom Pegel Rheinfelden.

ring gehalten werden – eine nicht nur bequem erscheinende, sondern auch in manchen Fällen kostengünstige Lösung, die insbesondere dort, wo weder Menschenleben gefährdet noch andere grosse wirtschaftliche Nachteile zu erwarten sind, durchaus häufiger als heute – jedenfalls in Deutschland – üblich ist, in Betracht gezogen werden könnten: z. B. das Zulassen der Überflutung von landwirtschaftlichen Flächen unter Zusicherung, dass im Falle des Eintretens des Schadenshochwassers die betroffenen Landwirte angemessen entschädigt werden.

Eine Form der nichtflussbaulichen, jedoch technisch anspruchsvollen Risikominderung ist die am Rhein geplante Steuerung von Poldern und Staustufen. Die Polder zusammen mit einer Steuerung der Staustufen sind in der Lage, die gewünschten Rückhaltevolumen aufzunehmen. Ihr Potential kann jedoch nur genutzt werden, wenn der exakte Verlauf der Hochwasserwelle über die ganze Dauer des Hochwassers bekannt ist, d.h. wenn die Rückhaltespeicher auf der Basis einer Vorhersage von genügender Genauigkeit entsprechend gesteuert werden können. Das setzt Vorhersagemodelle von bisher nicht bekannter Güte voraus, und darüber hinaus eine Absprache zwischen allen Anliegern, die Räume so zu betreiben, dass der entstehende Schaden für das gesamte Gebiet ein Minimum ist – was aber durchaus bedeuten kann, dass Oberlieger Überflutungen hinnehmen müssen, die ihnen direkt nichts nützen.

Die beiden Probleme der Steuerung im Hochwasserschutz: einerseits die Erzeugung einer zuverlässigen Vorhersage und andererseits die Durchführung einer für alle optimalen Steue-

rung ist besonders deutlich geworden bei den grossen Hochwassern am Rhein im Dezember 1993 und im Januar 1995. Die Situation dieser grossen Hochwasser war deshalb mit der Bemessungssituation nicht vergleichbar, weil die grossen Niederschläge nicht im Einzugsgebiet des Oberrheins fielen, sondern im Raum der Mittelgebirge (siehe Fig. 1): in den Einzugsgebieten der Mosel mit ihrem wichtigen Nebenfluss Saar, des Mains und der Nahe, und zu einem geringeren Masse durch den Zufluss aus dem Neckargebiet, während am Rhein oberhalb von Mannheim Niederschläge und Abflüsse auftraten wie sie fast alle Jahre vorkommen und keine besonderen Massnahmen am Oberlauf erfordern. Dies ist in Figur 4 für das Hochwasser vom Dezember 1993 gezeigt (Engel 1994). Die hohen Niederschläge im Mittelgebirge fielen zudem noch auf einen bereits sehr durchnässten Boden, so dass auch der Abflussbeiwert sehr hoch war. Die Folge dieser intensiven Niederschläge war ein praktisch gleichzeitiges Auftreten extremer Hochwasserwellen in den grösseren Rhein Nebenflüssen, mit sehr hohen Wasserständen in Köln und weiter stromabwärts an den Rheindeichen der Niederlande. Weil die Hochwasserwelle einen lang anhaltenden hohen Wasserstand hatte, war nicht nur eine direkte Überflutungsgefahr für die Flussdeiche gegeben, sondern es musste auch befürchtet werden, dass Deiche an einigen Stellen so durchfeuchtet werden könnten, dass sie dem Wasserdruk des hohen Wasserstandes nicht standhalten können und brechen – was beim Hochwasser im Februar 1995 im Nordosten der Niederlande zur vorsorglichen Evakuierung von etwa 100 000 Menschen geführt hat.

Damals wurde nach beiden Hochwässern der Vorwurf erhoben, daß die «selbstsüchtigen Baden-Württemberger» die Polder am Oberrhein nicht füllten, obwohl damit, wie einige berechnet haben wollen, der Rheinpegel bei Köln um mehrere Dezimeter niedriger gelegen hätte. Man muss aber fragen, ob die derzeit zur Verfügung stehenden Volumen etwas gebracht hätten, insbesondere wenn man bedenken muss, dass ja durchaus die Möglichkeit späterer grösserer Niederschläge bestand, so dass die Baden Württembergische Wasserwirtschaftsver-

waltung an den Schutz ihrer eigenen Landsleute zu denken hatte, für den sie in erster Linie verantwortlich ist. Dies deutet auf die sicherlich in extremeren Fällen noch grösseren Schwierigkeiten hin, die man bei dem Betrieb dieser Polder fürchten muss, und die Situation wird auch nicht dadurch verbessert, dass in anderen Bundesländern der Bau vorgesehener Rückhalteräume am Widerspruch der betroffenen Gemeinden gescheitert ist. Dies führt uns zum letzten Glied der Kette, nämlich der Akzeptanz von Hochwasserschutzmassnahmen.

Tab. 1: Methoden des nicht wasserbaulichen Hochwasserschutzes (nach Buck & Lee 1980)

1. Methoden zur Herabsetzung der Schadensanfälligkeit

- 1.1 Erwerb des Geländes
 - a. vollständig
 - b. teilweise
- 1.2 Evakuierung
 - a. dauernd (Aussiedlung)
 - b. im Ernstfall
- 1.3 Objektschutz
 - a. obligatorisch, evtl. subventioniert
 - b. durch Aufklärung initiiert
- 1.4 Planerische Methoden
 - a. Flächennutzungspläne mit ausgewiesenen Gefährdungsgebieten einschliesslich der Ausweisung von Feuchtgebieten, Nutzungseinschränkungen
 - b. Stadtentwicklungspläne mit Stadterneuerung
 - c. Bauvorschriften

2. Methoden zur Verminderung der Hochwasserwirkung

- 2.1 Hochwasserverteidigung, Einsatzpläne f. lokale Kräfte
- 2.2 Notstands- und Katastropheneinsatz (Technisches Hilfswerk uA)

3. Methoden des Schadensausgleichs

- 3.1 Hochwasserversicherung
 - a. subventioniert
 - b. obligatorische Elementarschadensversicherung für alle Hausbesitzer
- 3.2 Unterstützung durch staatliche Zahlungen in Form von
 - a. Beihilfen oder Billigkrediten
 - b. Steuerermäßigungen

Risikoakzeptanz

Die Frage der Risikoakzeptanz ist im Hochwasserschutz von jeher eine Frage nach der Solidarität der Nichtbetroffenen mit den Betroffenen für ein Hochwasser. Es ist in der Regel nicht möglich, dass die Betroffenen eines Hochwassers allein die Schäden beheben bzw. die Schutzmassnahmen durchführen können. In alten Zeiten hat die gemeinsame Bedrohung durch das Hochwasser die betroffenen Menschen zur solidarischen

Handlung veranlasst, und insbesonders sind die Entstehung einiger der grossen alten Kulturen Musterbeispiele für die gemeinsamen Anstrengungen von Menschen, sich gegen das Hochwasser zu wehren – etwa am Huang-Ho, oder am Nil. Ähnliches gilt auch für den Oberrhein, bei dem die Hochwasserminderung einerseits Voraussetzung für eine bessere Besiedlung der Rheinebene, andererseits aber auch Massnahme

für den Schutz bereits vorhandener Siedlungen war. Heute ist aber die Solidarität nicht nur der Betroffenen, sondern auch von Nichtbetroffenen mit den Betroffenen gefordert. Risikoakzeptanz heisst heute die Bereitschaft, einen nicht unbedeutlichen Teil des für Investitionen vorhandenen Geldes einer Stadt, oder wie im Falle des Oberrheins eines Landes, für einen einzigen Zweck zu verwenden. Diese solidarische Entscheidung ist im Falle des «Integrierten Rheinprogramms» von allen betroffenen Ländern getroffen worden. Die politische Entscheidung, ein Hochwasserschutzsystem aufzubauen, trifft jedoch nicht unbedingt auf Gegenliebe bei den Anliegern, denn der Bau von höheren Deichen oder von Poldern frisst oft privates Land und beeinträchtigt Nutzungen. Wenn die Betroffenen selber die Nutzniesser einer Schutzmassnahme sind, ist die Akzeptanz natürlich wesentlich grösser, als wenn z.B. Oberlieger allein zum Nutzen von Unterliegern Rückhaltebecken erstellen sollen.

Der Problemkreis, der mit dem Thema Risikoakzeptanz angesprochen ist, soll allerdings hier nicht weiter besprochen werden. Nur soviel soll deutlich sein: dass Hochwassermanagement heute nur im geringen Teil ein Ingenieurproblem ist. Vielmehr ist Hochwasserschutz ein wichtiges gesellschaftliches Anliegen, über das jeder Bürger eines Landes, in welchem Hochwasserschutz betrieben werden muss, informiert sein sollte. Diesem Ziel dient dieser Beitrag.

LITERATURVERZEICHNIS

- BARDOSY, A. & CASPARY, H. J. 1990: Detection of climate change in Europe by analysing European atmospheric circulation pattern from 1881 to 1989. *J. Theor. Applied Climatology* 42, 155–167
- BUCK, W. & LEE, K. K. 1980: Effektiver Hochwasserschutz: Vorarbeiten und deren Anwendung Wasser und Boden 32, 59–67
- BUCK, W. & PFLÜGNER, W. 1991: Nutzwertanalytische Bewertung auenökologischer Wirkungen – Pilotstudie für eine Hochwasserschutzmaßnahme. *Wasserwirtschaft* 81, 578–587
- ENGEL, H., BUSCH, N., WILKE, K., KRAHE, P., MENDEL, H.-G., GIEBEL, H. & ZIEGLER, C. 1994: Das Weihnachtshochwasser 1993 im Rheingebiet. *Wasserwirtschaft* 84, 94–95
- ENGEL, H. 1994: Observed trends in discharge in German rivers and changing precipitation patterns in associated catchments. UNESCO Symposium «Water resources planning in a changing world» Karlsruhe, (Herausgeber: Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz) S. II, 199–209
- FELKEL, K. 1987: Acht Jahre Geschiebezugabe am Oberrhein. *Wasserwirtschaft* 77, 181–185
- KHR/CHR (Kommission für die Hydrologie des Rheingebiets) 1993: Der Rhein unter der Einwirkung des Menschen – Ausbau, Schiffahrt, Wasserwirtschaft. Report No. I-11, Lelystad/Netherlands
- LAWA 1995 (Länderarbeitsgemeinschaft Wasser): Leitlinien für einen zukunftsweisenden Hochwasserschutz. Umweltministerium Baden-Württemberg, Stuttgart
- PLATE, E. J. & IHRINGER, J. 1991: Die Auswirkung von Klimaänderungen auf Sturmfluten. *HANSA – Schiffahrt – Schiffbau – Hafen* 128, 1174–1181

Manuskript eingegangen 13. Oktober 1996
Revidierte Fassung angenommen 29. Mai 1997