

RISIKOANALYSE IM HOCHWASSER- UND KÜSTENSCHUTZ

RISK ANALYSIS FOR FLOOD PROTECTION AND COASTAL DEFENCE

von
Erich J. PLATE

INHALT

1	EINLEITUNG	3
2	RISIKOANALYSE ALS TEIL DES RISIKO-MANAGEMENTS	3
2.1	Schutzziele des Hochwasser- und Küstenschutzes	3
2.2	Die Elemente der Risikoanalyse	6
2.3	Schutzmaßnahmen	6
3	DAS RESTRISIKO ALS ENTSCHEIDUNGSGRÖÖE	7
3.1	Optimierung einer Schutzentscheidung	7
3.2	Die Ermittlung des Restrisikos	8
3.3	Ermittlung von Vulnerabilität und Risiko	10
4	SCHLUSSBEMERKUNG	12

1 Einleitung

Durch die in den letzten Jahren aufgetretenen Hochwasser an Rhein und Oder, durch die häufigen fast kritischen Sturmwasserstände an der Nordseeküste, wie auch durch die starke Betonung der Katastrophenberichterstattung in den Medien über Katastrophen in aller Welt ist das Bewusstsein der Bevölkerung für das Auftreten von Naturkatastrophen – insbesondere durch Hochwasser- und Sturmfluten – in unserem Lande gestärkt worden und hat dazu beigetragen, dass heute in zunehmendem Maße gefordert wird, die Sicherheit gegen solche Ereignisse zu erhöhen, und zwar unter Einhaltung der Auflagen durch einen ökologischen Gewässerschutz. Dagegen steht die immer mehr bedrängte Haushaltslage aller Regierungen, insbesondere auch die unserer schuldenüberlasteten Bund und Länder. Maximale Sicherheit bei minimalen Kosten ist heute gefordert – eine Aufgabe, die man nur in den Griff bekommen kann, wenn die Effizienz des Einsatzes von Haushaltsmitteln gesteigert wird. Das bedeutet vor allem, dass Planungen für Schutzmaßnahmen systematisch nach den Prinzipien des Risikomanagements durchgeführt werden sollten, und dass man bei der Festlegung der Schutzmaßnahmen nicht von einem so einfachen Kriterium wie etwa „Höhe der Deiche soll für das 100 (oder 1000) – jährliche Hochwasser ausgelegt sein“ ausgeht, sondern dass die zur Verfügung stehenden Mittel eingesetzt werden, um das Restrisiko in allen Fällen auf ein gleiches, von der Bevölkerung akzeptiertes oder im Konsens zu erarbeitendes Maß auszurichten. Die Basis für die Bestimmung des Risikos ist die Risikoanalyse, die bereits bei zahlreichen Aufgaben des Hochwasser- und Küstenschutzes Einsatz gefunden hat.

2 Risikoanalyse als Teil des Risikomanagements

2.1 Schutzziele des Hochwasser- und Küstenschutzes

Die Erfahrungen mit den großen Sturmfluten an der Nordseeküste, oder mit den Hochwassern an Rhein und Oder in Europa, oder am Mississippi in den Vereinigten Staaten haben gezeigt, dass auch in hoch industrialisierten und reichen Ländern ein absoluter Schutz gegen Extremereignisse weder möglich - wegen unverhältnismäßig hoher Kosten - noch aus anderen Gründen überall erstrebenswert ist. So ist es sicherlich für die Bewohner Kölns nicht wünschenswert, den Blick auf den Rhein permanent durch hohe Schutzwände oder Deiche versperrt zu haben, um im Mittel einmal alle dreißig bis hundert Jahre gegen ein besonders extremes Hochwasser geschützt zu sein. Auch steht der

Hochwasserschutz stellenweise im Widerspruch zu den ökologischen Anforderungen des Landschaftsschutzes. Daher muss der Schutz auf ein vernünftiges und machbares Maß beschränkt bleiben und mit den ökologischen und Nutzungsanforderungen in Einklang gebracht werden. Was dieses Maß im Einzelfalle ist, darf aber nicht eine einsame Entscheidung von Politikern oder Ingenieuren sein, sondern muss im Konsens aller Betroffenen festgelegt werden. Ein Kompromiss muss erarbeitet werden zwischen der gewünschten Sicherheit, den Anforderungen des Umwelt- und Landschaftsschutzes und den Kosten. Diese müssen auch die Kosten für das Restrisiko einschließen, die entstehen, wenn die Schutzmaßnahmen nicht ausreichen. Darüber hinaus muss auch für diesen Fall vorgesorgt werden, als Teil der Vorsorgeplanung. Es ist hierfür eine integrierte Planung erforderlich, das von der Ermittlung der Gefährdungen bis zur Vorbereitung von Hilfsmaßnahmen im Falle des Versagens des Schutzes reicht.

Seit der Konferenz der Vereinten Nationen zu Umwelt und Entwicklung in Rio (UNCED 1992) ist die integrierte Planung zu einem Paradigma für die nachhaltige Entwicklung geworden. Der Artikel 17 der AGENDA 21 (Entwicklungsprinzipien für das 21. Jahrhundert) betont in der Einleitung, dass wasserwirtschaftliche Fragestellungen integriert angegangen werden müssen unter gebührender Berücksichtigung von möglichen Folgen und unter Beachtung aller Vorsichtsmaßnahmen. Die Umsetzung dieser Forderung führt für den Küstenbereich zum Integrierten Management der Küstenzone (ICM = Integrated Coastal Management, Cicin-Sain et al. ,1995) und für die Wassernutzung des Festlandes zum integrierten Management für Systeme zur nachhaltigen Nutzung von Wasserressourcen (Sustainable Water Resources Systems, Loucks et al., 1998). Beispielhaft sind die verschiedenen Aspekte eines ICMs in einer Zusammenstellung aus vielen verschiedenen Quellen in Tabelle 1 wiedergegeben, die von Cicin-Sain et al. (1995) zusammengefasst worden sind.

Eine ähnliche Zusammenstellung könnte auch für IWRM (Integrated Water Resources Management) aufgestellt werden. Hervorzuheben ist die Rolle, die sowohl für das ICM als auch für das IWRM Risikoanalyse und Bewertung haben. Das sind die Methoden, die in diesem Aufsatz beschrieben werden sollen. Sie sind Teil eines rationalen Nutzungskonzeptes, das die Leitbilder umsetzen soll, in welcher die Gesellschaft ihre Vorstellungen über den von ihr gewollten Zustand von Natur und Sicherheit zusammenfasst.

Ziel des ICMs:	Ziel des ICM ist die Bildung einer Richtlinie für die ökologisch nachhaltige Entwicklung des Küstenraumes
Grundprinzip	ICM ist von den Rio Prinzipien geleitet, mit besonderer Berücksichtigung der Interessenlage zwischen den Generationen, dem Vorsorgeprinzip und dem „Verursacher zahlt“ Prinzip. ICM ist grundsätzlich holistisch und interdisziplinär, insbesondere in Bezug auf wissenschaftliche Grundlagen und politischer Umsetzung
Aufgaben	ICM unterstützt und stärkt die Zusammenarbeit im Küstenbereich. Es erhält und erhöht die biologische Vielfalt und Produktivität des Küstenraumes und erhält seinen Erholungswert. ICM fördert eine vernünftige wirtschaftliche Entwicklung und eine nachhaltige Nutzung der Ressourcen des Meeres und des Küstengebietes und ermöglicht Konfliktlösungen in diesem Raum
Räumliche Integration	Ein ICM umfasst alle Küsten- und Ufergebiete, deren Nutzung die Küstengewässer und die dort befindlichen Ressourcen beeinflussen kann und schließt die Meeresbereiche ein, die den Küstenbereich beeinflussen können. Das ICM Programm kann auch den ganzen Ozean umfassen, soweit er der nationalen Zuständigkeit sowohl nach der Konvention über das Gesetz zum Schutz der Meere (Law of the Sea) als auch nach den Definitionen der UNCED untersteht
Horizontale und Vertikale Integration	Ein vordringliches Ziel des ICM ist die Überwindung der sektoriellen und behördlichen Aufspaltung der Zuständigkeiten, die derzeit bezüglich des Küstenmanagements vielerorts besteht. Für die Stärkung und Ordnung des Küstenbereiches sind institutionelle Strukturen gefordert, die alle Nutzungsinteressen und behördliche Zuständigkeiten für das Küstengebiet bündeln. Die Möglichkeiten der Küstennutzung müssen untersucht und die Optionen ausgewählt werden, die den lokalen Gegebenheiten und den nationalen Bedürfnissen am besten entsprechen.
Forderungen an die Wissenschaft	Da die Verhältnisse in den Küstenzonen sehr komplex und mit Unsicherheiten behaftet sind, müssen ICMs auf den besten wissenschaftlichen Grundlagen (aus den Natur- und Sozialwissenschaften) aufbauen. Methoden wie Risikoanalysen, wirtschaftliche Bewertung, Kosten-Nutzen-Analysen und ständige Überprüfung der Ergebnisse müssen, wo anwendbar, in einem ICM Anwendung finden.

Tab.1: Zusammenfassung von ICM Empfehlungen verschiedener Quellen (nach Cicin-Sain, et al. 1995)

Das Nutzungskonzept verbindet gesellschaftliche Nutzungsanforderungen mit der Forderung nach Schutz von Menschen und Natur eines bestimmten Raumes. Es besteht aus mehreren Stufen, die schematisch durch das Ablaufdiagramm von Abb.1 dargestellt werden können (nach A. Götz, persönliche Mitteilung). Danach muss die raumplanerische Untersuchung mit Schutzziele beginnen, die auf Grund der Leitbilder im gesellschaftlichen Konsens aufgestellt werden. Erfüllt der Istzustand eines Raumes die Schutzziele, dann ist für die Erhaltung dieses Zustandes Sorge zu tragen, bzw. es muss gewährleistet werden, dass nicht durch zukünftige Entwicklungen das Schutzziel unter das angestrebte heruntergedrückt wird.

Die Schutzziele sind die politische Vorgabe, die nach einem erkannten Notstand – z.B. durch die Schäden infolge eines großen Hochwassers, oder durch Erkenntnis und Publikmachung der Abnahme der Artenvielfalt in den Fluss angrenzenden Auen – aufgestellt wird. Die Bevölkerung fordert eine Erhöhung der Sicherheit, die Wasserwirtschaft prüft die Berechtigung und stellt eine Grobplanung für die Schutzmaßnahmen auf. Die Grobplanung in Form einer Machbarkeitsstudie mit der dazugehörigen Kostenschätzung muss zu einem finanzierbaren Vorentwurf führen, d.h.

das Projekt muss sich der Konkurrenz aller anderen Anforderungen an den öffentlichen Haushalt stellen.

Großräumig sind die Schutzziele durch Vorgaben an die Planung ausgedrückt, etwa in der Form, wie sie in den Aktionsplänen der Länder, z.B. dem „Integrierten Rheinprogramm“ des Landes Baden Württemberg (1990) oder dem Aktionsplan Rhein von 1998 (IKSR, 1998) zum Ausdruck kommen. In solchen Plänen stehen der Schutz der Menschen vorrangig vor dem Schutz der Natur, doch wird auch der Natur ein hohes Maß an Schutz zugesichert.

Erst nach der Bewilligung der Mittel für die Durchführung des Projektes beginnt die eigentliche Detailarbeit der Projektvorbereitung in Behörden und Ingenieurbüros. Die Basis hierfür ist die Risikoplanung, als zweite Stufe im Schema der Abb.2. Der optimierte Entwurf muss dann in Deutschland im Planfeststellungsverfahren und über eine Umweltverträglichkeitsprüfung gegen mannigfache Sonderinteressen und konkurrierende Nutzungen durchgesetzt werden. Wie die Umsetzung der Planungen zu erfolgen hat, ist durch Gesetze geregelt, die in jedem Bundesland an die spezifischen Bedürfnisse des Landes auf der Basis des Wasserhaushaltsgesetzes des Bundes angepasst sind.

Wie durchsetzbar die Schutzziele sind, hängt von der Reaktion der örtlich Betroffenen ab. Die sind nicht immer bereit, dem Gemeinwohl eigene Interessen unterzuordnen, wie die Versuche, Hochwasserschutz von Unterliegern Polder am Oberlauf von Flüssen zu bewirken, gezeigt haben. Die Schutzziele für den Schutz gegen Hochwasser oder für den Schutz der Natur sind nicht nur wegen des Oberlieger – Unterliegerproblems unterschiedlich, sie unterliegen den sich wandelnden Wertvorstellungen der Menschen. Wertvorstellungen sind einerseits vom Zeitgeist abhängig: war nach in den 50-er Jahren die Vergrößerung der landwirtschaftlichen Nutzfläche das Gebot der Stunde, was die Wasserwirtschaft zu intensiven Begradigungen der kleinen Flüsse und Bäche veranlasste, so ist heute der Landschaftsschutz allgemein als wesentlicher erachtet als

die Vergrößerung der Nutzfläche oder die Intensivierung der Landwirtschaft. Andererseits variieren die Wertvorstellungen auch mit den gesellschaftlichen Gruppierungen: die Anwohner an einem Fluss sind offensichtlich stärker an einem Hochwasserschutz interessiert als nicht betroffene Bürger anderer Landesteile. Diese an sich wohlbekannten Entwicklungen sind jedoch die Ursache für ständig sich wandelnde Anforderungen an die Wasserwirtschaft, die hier der Diener der Bürger ist – ein Diener, der immer schon nicht passiv gehorsam sein durfte, sondern der die Pflicht hat, auch die Wertvorstellungen mit zu formen. Die Wasserwirtschaft muss aber auch durch Überzeugungsarbeit gegen mögliche Fehlentwicklungen Stellung beziehen oder sinnvolle Maßnahmen deutlich machen.

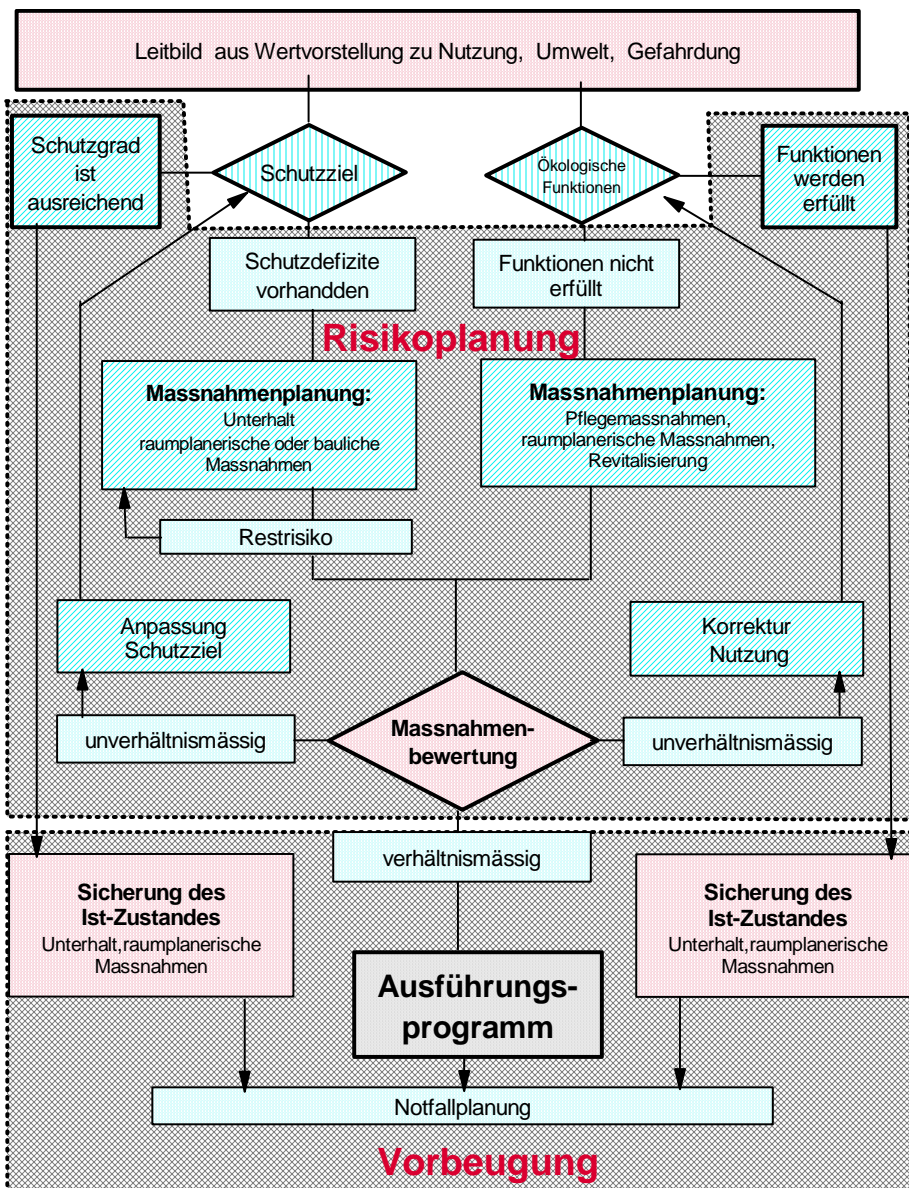


Abb.1: Schema einer Planung nach A. Götz (2000), modifiziert

Zusammenfassend ist festzustellen, dass das Schema der Abb.1 drei Stufen erkennen lässt: die Aufstellung von Schutzzielen, die eigentliche Planung auf Grund der Vorgaben von Umwelt und Sicherheitsschutzziele, und schließlich die Umsetzung des Planes in einem Projekt. In

dieser Kette spielt die Risikoanalyse eine wichtige Rolle. Sie liefert die Bewertungsgrundlagen für die Entscheidung zur Auswahl des durchzuführenden Projektes und soll den Schwerpunkt der folgenden Ausführungen bilden. Der letzte Teil des Prozesses ist die Projektausführung und die

Projektbetreuung nach Inbetriebnahme, die Wartung und Anpassung, aber auch die Aufwendungen für die ständige Bereitschaft zur Abwehr von Versorgungsengpässen und Katastrophen.

2.2 Die Elemente der Risikoanalyse

Die Risikoanalyse hat zum Ziel, alle Faktoren, die zur Erreichung eines Schutzzieles zu berücksichtigen sind, zu quantifizieren und damit die vergleichende Bewertung von alternativen Vorschlägen zu ermöglichen. Die Quantifizierung wird in monetären Einheiten ausgedrückt, sie kann jedoch auch andere Grundlagen haben, wie sie z.B. im Nutzwertverfahren verwendet werden. In dieser Form ist sie ein gewichtiger Teil einer Kosten – Nutzen Analyse, da mit ihrer Hilfe ermittelt wird, welche Konsequenzen in der Form von Kosten die geplante Maßnahme hat. Im folgenden wird davon ausgegangen, dass die Umweltbedingungen und die Umweltschutzziele in die Kostenanalyse ebenso eingehen, wie die Hochwasserschutzmaßnahmen und ihre Auswirkung. Damit wird die Risikoanalyse zu einem Teil eines allgemeinen Risikomanagements.

Das Risikomanagement ist definiert als Gesamtheit aller systematisch aufeinander abgestimmten Handlungen für die Abwendung bzw. Begrenzung einer Katastrophe aus natürlichen oder anderen Ursachen. Es ist wiederum Teil einer integrierten Planung für ein wasserwirtschaftliches Projekt für den Schutz von Menschen und Umwelt, die in Abstimmung mit der Nutzung eines Raumes durchgeführt wird. Das Konzept des Risikomanagements wurde entwickelt für die Handhabung industrieller Risiken und konnte fast unverändert auf die Risiken infolge von Naturkatastrophen übertragen werden. Auf den Schutz vor Hochwasser übertragen erfolgt es nach dem Schema der Abb.2.

Das Risikomanagement beginnt mit der Risikoanalyse, in Abb.2 dargestellt durch die Kästen Gefährdungsermittlung und Risikobestimmung. Ihr Ziel ist die Bewertung der Gefährdung durch eine natürliche (oder von Menschen herbeigeführte) Ursache unter Berücksichtigung der geplanten Eingriffe. Sie enthält drei Teile: als erstes eine Untersuchung der Gefährdung durch ein verursachendes Ereignis – z.B. Hochwasser oder Sturmfluten - nach Stärke und Häufigkeit des Auftretens. Dieser Schritt ist die Gefährdungsermittlung nach Abb.2. Der zweite Schritt basiert auf einer Vulnerabilitätsanalyse, d.h. einer Untersuchung der möglichen Schäden, die durch die verursachenden Ereignisse trotz der durchgeführten Maßnahmen auftreten können. Im dritten Schritt werden aus Gefährdung und potentiellen Schäden das Risiko als Bewertungsmaß berechnet. In Abb.2 sind Vulnerabilitätsanalyse und Risikoberechnung im Kasten Risikobestimmung zusammengefasst.

Ausgang für die Risikoanalyse ist der bedrohte Istzustand, der im Sinne eines vorgegebenen Schutzzieles verändert werden soll. Meistens wird das Schutzziel durch die Vorgabe einer Jährlichkeit des Bemessungswasserstandes festgelegt, z.B. Hochwasserschutz am Oberrhein für das 200-jährliche Hochwasser, für die Deiche an der Nordsee in Holland der 1200 jährliche Sturmflutwasserstand. Schutzziele werden oft so interpretiert, dass die Einhaltung dieses Schutzzieles absolute Sicherheit gewährt, und nicht selten

wird ein früheres Überflutungsgebiet, das durch Schutzmaßnahmen „hochwasserfrei“ gelegt worden ist, mit wertvollen Anlagen bebaut. Wird das Bemessungshochwasser dann doch überschritten, dann wird höhere Gewalt angenommen. Eine solche Einstellung ist jedoch heute nicht mehr zeitgemäß und sollte durch die Umsetzung des Prinzips des relativen Schutzes ersetzt werden, für die die Risikoanalyse die Grundlagen liefert, die auch für den Versagensfall der bestehende Anlagen Bewertungen vorzunehmen erlaubt, und zwar durch das sogenannte Restrisiko.

Die Umsetzung des Prinzips des relativen Schutzes bedeutet, auch in den entwickelten Ländern von einer durch feste Schutzziele ausgedrückten Sicherheitskultur abzugehen, und diese durch eine Risikokultur, d.h. durch Konzepte zum „Leben mit dem Risiko“ zu ersetzen, die sich nicht nur um Festlegung eines Bemessungszustands sondern auch um eine Einbeziehung des Restrisikos bemüht.

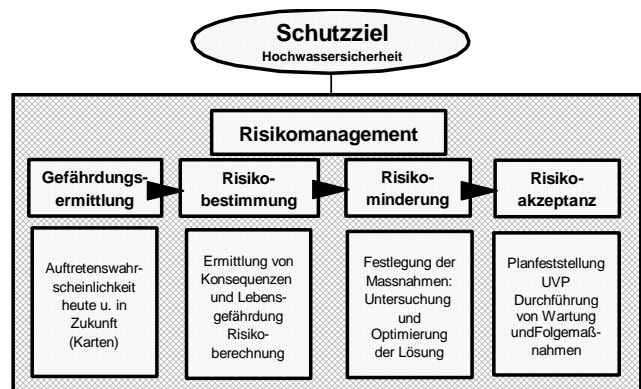


Abb.2: Ein Schema für Risikomanagement

2.3 Schutzmaßnahmen

Die Risikoanalyse führt zu unterschiedlichen Werten, je nach den Maßnahmen, die vor dem Eintreten einer möglichen Katastrophe zu ihrer Vermeidung ergriffen werden, oder werden können. Sie können sowohl technischer Art sein, z.B. der Bau von Deichen, als auch nicht-technisch – z.B. die permanente Evakuierung hochwassergefährdeter Gebiete. Diese Maßnahmen sind schematisch in Abb.3 zusammengefasst. Auch die Entwicklung eines effizienten Frühwarnsystems ist eine nicht-technische Maßnahme, die eine frühzeitige Einstellung auf eine drohende Katastrophe ermöglicht. Schließlich gehört hierzu auch die Vorbereitung auf eine mögliche Katastrophe durch bereitchaftserhöhende Maßnahmen, wie Bereitstellung von Hilfsmitteln und Ausbildung des im Katastrophenfalles einzusetzenden Hilfspersonals. Das Ergebnis der Risikoplanung ist die Auswahl der besten Alternative, die unter Berücksichtigung des Restrisikos machbar ist. Eine Bewertung auch der Kosten der Aktionen bei der Katastrophenhilfe im aktuellen Katastrophenfall sollte berücksichtigt werden. (Hinweis: der Begriff der Vorsorge wird oft noch weiter gefasst und schließt die ersten beiden Stufen des Risikomanagements, d.h. die Risikoanalyse, mit ein (IDNDR, 1999).

Es ist hier nicht der Ort, um alle Möglichkeiten, die zum Schutz vor Hochwasser ergriffen werden können darzustellen. Grundsätzlich stehen neben den statischen Möglichkeiten: z.B. der Erstellung von Deichen, der Bau von Rückhaltebecken, oder die Anlage von künstlichen Warften, auch dynamische Möglichkeiten, d.h. zunächst vorläufige Maßnahmen, die im Laufe der Zeit durch kostspieligere Maßnahmen ergänzt oder ersetzt werden. So ist die Entwicklung des Hochwasserschutzes am Rhein durch die Reihenfolge der Ausbaumaßnahmen von Tulla bis zu den Flusstaueregulierungen der 50- er und 60-er Jahre eine solche Kette, und in gleicher Weise ist auch der dem Landschaftsschutz dienende Umbau der Rheindeiche als dynamische Maßnahme zu sehen. Auch für den Sturmflutschutz an der Nordseeküste ist die Erhöhung der Deiche nach den großen Sturmfluten von 1962 und 1976 eine solche Kette. Hieran zeigt sich in besonderem Maße die Änderung der Wertvorstellungen: war bis zu den 50er und 60er Jahren die Gewinnung von landwirtschaftlich nutzbarer Fläche ein vordringliches Ziel, so ist man heute bereit (jedenfalls auf der planerischen Seite) auch Land wieder an den Fluss abzugeben – selbst im Küstenraum von Schleswig–Holstein wird erwogen, den Sturmflutschutz durch Rückbau von bestehenden Deichanlagen und Umwandlung des Hochwasserschutzes vom flächendeckenden Schutz in einen Objektschutz umzuwandeln. (Hofstede und Probst, 1999)

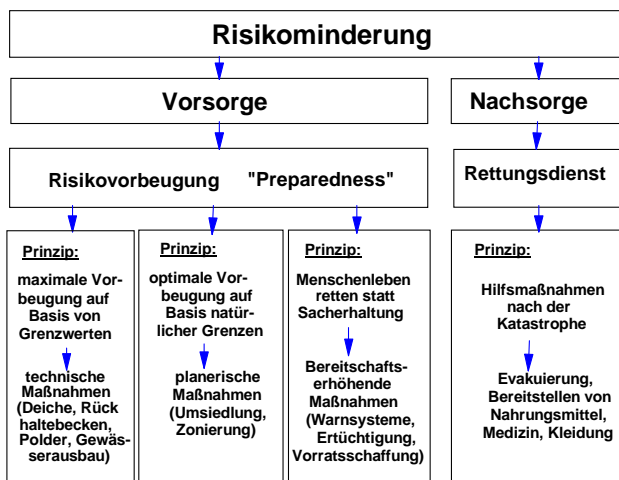


Abb.3: Zusammenstellung der Maßnahmen zur Katastrophenminderung durch Vor- und Nachsorge

Von der Planung einer optimalen Alternative bis zu ihrer Umsetzung müssen noch eine Reihe weiterer Schritte getan werden, die als Risikoakzeptanz überschrieben werden. Der übliche Weg in Deutschland geht von einer sektoriellen Planung des wasserwirtschaftlichen Projektes aus, das im Planfeststellungsverfahren mit den Bedürfnissen anderer Sektoren der Verwaltung abgestimmt werden muss, etwa mit dem Landschaftsschutz oder dem Straßenbau, und endet, wenn alle Planungen abgestimmt sind, mit einer Umweltverträglichkeitsprüfung. Eine integrierte Planung sollte jedoch von vornherein mit allen Betroffenen, den sektoriellen Fachinteressen, z.B. Landwirtschaft und Straßenbau, wie auch den betroffenen Bürgern, durchgeführt werden, und jeder Schritt des Planungsprozesses abgestimmt wer-

den. So können insbesondere nicht technische Alternativen, aber auch die Bedürfnisse des Umweltschutzes von vornherein und frühzeitig berücksichtigt werden.

3 Das Restrisiko als Entscheidungsgröße

3.1 Optimierung einer Schutzentscheidung

Die logisch konsistente Umsetzung der Risikoanalyse in Schutzkonzepte erfolgt in Form einer Optimierungsaufgabe. Es muss die technisch oder nicht-technische Maßnahme ermittelt werden, die eine vorgegebene Zielfunktion optimiert. Das bedeutet, dass sämtliche Maßnahmen eine Bewertung erhalten, die mit den gleichen Einheiten belegt werden kann, z.B. in der Form von Geldwerten in Euro. Die Gesamtkosten summieren sich zu einer Zielfunktion Z (Crouch und Wilson, 1982):

$$Z = \sum_{t=1}^T \frac{1}{(1+i)^t} (K_A(t) + K_S(t) + RI(t) - N(t)) \Big|_D \quad (1)$$

Hierin ist T die Bemessungslebensdauer in Anzahl von Jahren, t die fortlaufende Zeit in Jahren, i der Diskontsatz, und D bedeutet die Entscheidungsvariable, die die Variante der Lösung des Schutzproblems beschreibt, z.B. im Hochwasserschutz die Deichhöhe, falls eine Lösung mit Schutzdeichen in Betracht gezogen wird. Es kann D aber auch einfach eine besondere Alternative bezeichnen. Die Lösung besteht theoretisch darin, die Variable D solange zu variieren, bis die Lösung mit den niedrigsten Gesamtkosten entsteht.

Die Gesamtkosten setzen sich zusammen aus den Kosten K_A für die Schutzanlage, den sozialen Kosten K_S – das sind die Kosten der Nachteile, die entstehen, wenn die Entscheidung D gemacht wird, dem durch den Schutz entstandenen Nutzen N und dem monetär ausgedrückten Restrisiko RI:

$$RI(t) = \int_{x=0}^{\infty} SK(t, x) \cdot U(t, x) \cdot f_x(x, t) \cdot dx \quad (2)$$

mit $SK(t,x)$ die Schadenskosten, die entstehen, wenn zur Zeit t das Ereignis x eintrifft. $U(t,x)$ ist die Utilitätsfunktion (Utility function), die das Risikoverhalten des Entscheidungsträgers und das Vertrauen in die Güte der Schadensschätzungen ausdrückt, und $f_x(x,t)$ ist die Wahrscheinlichkeitsdichte für das Auftreten des Ereignisses x. Alle diese Größen sind nicht nur von der Zeit abhängig, sondern natürlich auch von der Entscheidung D. Idealerweise wird das Restrisiko, das für eine Hochwasserschutzanlage eingegangen werden kann, über diese Optimierung ermittelt: das akzeptable Restrisiko ist das Risiko, bei dem die Gesamtkosten einer Schutzanlage einschließlich sozialer Kosten minimiert werden.

Die Zielfunktion unterliegt in der Regel einer Reihe von Nebenbedingungen oder Einschränkungen, die die Menge der Lösungsalternativen begrenzt. So kann eine Lösung nicht kostengünstig sein, wenn durch sie Menschenleben gefährdet sind, insbesondere wenn die Gefährdung durch die

Maßnahme noch erhöht wird. Andere solcher Nebenbedingungen sind durch die Ökologie, den Landschaftsschutz, die Erhaltung historischer Bauwerke u.ä. gegeben. Dies muss beim Einsatz eines Entscheidungsmodells als Grundlage für den Ausbau eines Schutzsystems nach dem Schema Abb.1 beachtet werden.

Auf die Kosten für die Erstellung des Schutzprojektes einschließlich Folgekosten soll nicht näher eingegangen werden, so wenig wie auf die Ermittlung der Nutzen, die durch die Maßnahme erzielt werden. Zu bemerken ist jedoch, dass Kosten und Nutzen als Zeitfunktionen gesehen werden müssen, und durch den Diskontsatz auf die heutige Zeit bezogen werden: wenn ein Nutzen (oder ein Schaden, der die sozialen Kosten steigert) erst in einem späteren Jahr mit Sicherheit eintritt oder zu erwarten ist, dann muss das durch die Diskontierung berücksichtigt werden. Insbesondere darf bei solchen Rechnungen nicht übersehen werden, dass sich ein Nutzen erst allmählich einstellt, und dass auch die (in den Kosten K_A enthaltene) Wartungskosten als Zeitfunktion zu berücksichtigen sind.

Es gibt in der hydraulischen Literatur nur wenige Anwendungen des Entscheidungsprozesses nach Gl. 1 mit Restrisikobestimmung nach Gl.2. Gute Beispiele systematischer Anwendungen dieses Konzeptes in Wasserbau und Wasserwirtschaft wurden von R.A. Freeze und seinen Mitarbeitern (Freeze et al. 1990, Massmann et al. 1990) gebracht, die einige Beispiele für Bewirtschaftung des Grundwassers systematisch durchgearbeitet haben.

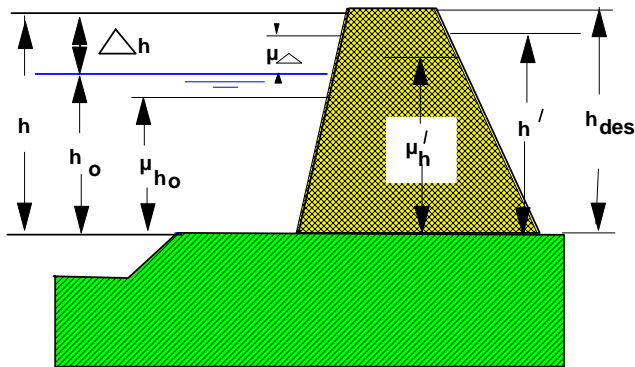


Abb.4: Definitionen für die Größen einer stochastischen Deichbemessung

3.2 Die Ermittlung des Restrisikos

Das Restrisiko $RI(t)$ ist eine Funktion der gewählten Alternative: es wird durch entsprechende bauliche oder planerische Maßnahme beeinflusst, vor allem enthält es jedoch auch die Möglichkeit, die Unsicherheiten in den Bemessungsgrößen zu erfassen. Es berechnet sich beispielhaft für den Hochwasserschutz durch Deiche entsprechend der Abb.4. Darin ist h der Wasserstand, und die Deichhöhe ist h' . h besteht aus dem Wasserstand infolge der Sturmflut oder dem Hochwasser h_0 , überlagert mit einem Anteil Δh durch Windwellen u.ä. Die Größe h_0 hat einen Mittelwert μ_{h_0} und Δh hat den Mittelwert μ_{Δ} .

Die Schritte zur Ermittlung des Risikos sind in Abb.5 schematisch dargestellt. Ausgangsgröße der Risikoermittlung ist

die Belastung durch den Wasserstand von Sturmflut oder Hochwasser. Überschreitet der Wasserstand, ausgedrückt als Belastung $s = h$, die Deichhöhe, ausgedrückt als Belastbarkeit $r = h'$, so wird der Deich überspült und in der Regel zerstört, d.h. es tritt der Versagensfall ein, mit Konsequenzen, die durch die Konsequenzfunktion $K(s,r)$, das sind z.B. die Schadenskosten, quantifiziert werden. Der Wasserstand h ist eine Größe, die aus Vormodellen ermittelt werden muss: für Hochwasser an Flüssen aus der Hydrologie des Einzugsgebietes, für Sturmflutsituationen aus der Überlagerung von Wind und Tidewasserständen mit Wellenhöhen der auf den Deich wirkenden Sturmwellen. Das wird in dem Schema ausgedrückt durch die beiden Glieder der Wirkungskette, die zur Belastung s führen. Rechnerisch wird die Belastung aus der Umwandlung eines auslösenden Ereignisses – im Falle des Hochwassers des Niederschlags, im Falle der Sturmflut die beiden Wirkungen Tide und Sturmtiefs – durch eine hydraulische Transformation in Wasserstände ermittelt. Sie muss verglichen werden mit der Belastbarkeit, d.h. dem Widerstand, den der Deich der Belastung entgegenbringt. Er wird ausgedrückt durch die effektive Deichhöhe $r = h'$, wobei h' durchaus nicht nur die tatsächliche Deichhöhe ist, sondern auch die Überströmbarkeit mit einschließt – so ist ein Deich, der eine Überlaufhöhe dh zulässt, effektiv ein Deich mit Höhe $s = h' = h_D + dh$.

Sowohl Wasserstand s und effektive Deichhöhe sind Größen, die nicht genau bekannt sind. Einerseits sind sie Zufallsvariablen – offensichtlich ist der Wasserstand nicht immer gleich sondern unterliegt den klimatischen Schwankungen, und auch die Deichhöhe ist nicht konstant: durch Setzungen oder Eingriffe in den Deiche wird die Deichhöhe mit der Zeit zu einer Variablen, die um einen Mittelwert \bar{h}_D herum variiert. Folglich entsteht eine Wahrscheinlichkeitsdichteverteilung, die jeder Kombination von s und r eine Wahrscheinlichkeitsdichte $f_{rs}(r,s)$ zuordnet, die die Ausgangsfunktion für die Berechnung des Risikos ist.

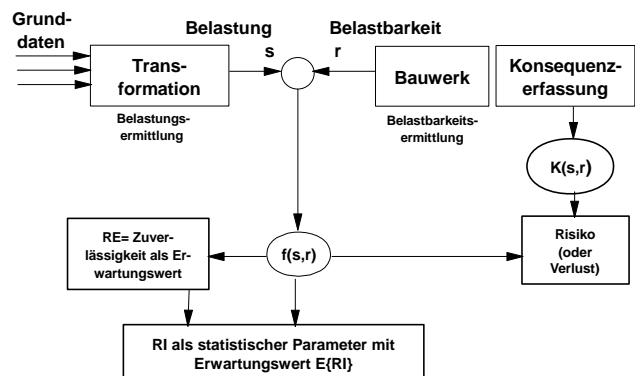


Abb.5: Schema einer stochastischen Bemessung über das Risiko

Basis einer Risikoanalyse ist die genaue Ermittlung des möglichen Extremereignisses und des möglichen Schadens. Auf diese Aspekte soll im folgenden näher eingegangen werden. Es liegt allerdings auf der Hand, dass eine Risikoanalyse nicht durchgeführt werden kann, ohne die As-

pekte der Vorsorge und der Bewältigung mit einzubeziehen.

Methoden zur Berechnung von Hochwasserwahrscheinlichkeiten sind heute allgemein bekannt, und sie sind in den Regeln für die Wasserwirtschaft eingegangen. Allerdings beruhen sie generell auf einer Statistik, die von der Annahme der Homogenität der statistischen Daten, also der Extremwerte des Wasserstandes, ausgehen. Das ist allerdings eine Annahme, die heute zunehmend in Frage gestellt wird. Die Berücksichtigung von Inhomogenitäten, z.B. infolge der Instationarität der Zeitreihen für die Wasserstände, ist auf statistischer Basis nicht möglich und kann nur dadurch berücksichtigt werden, dass deterministische Prozesse identifiziert werden. Ein Beispiel eines solchen Prozesses ist der Anstieg des Meeresspiegels. Zwar ist dieser keine Größe, die deterministisch ermittelt werden kann, sie erfolgt jedoch in einer solchen Stetigkeit, dass man getrost von einem natürlichen Anstieg des Meeresspiegels von ca. 16 cm / Jahrhundert ausgehen kann. Allerdings könnte dieser Anstieg infolge der Änderung des CO₂ Gehalts der Luft allmählich größer werden.

Die Frage, in wie weit wir mit einer Erhöhung der Sturmflutgefährdung an der Nordseeküste rechnen müssen, wird in der Tat kontrovers diskutiert, und hängt davon ab, mit welchen statistischen Verfahren in die Zukunft hinein extrapoliert wird. Bei einem IDNDR Workshop zum Thema: „Künftige Gefährdungen durch Sturmfluten“, der am 10.6.1997 in Hamburg stattfand, wurde einerseits die Meinung vertreten, dass abgesehen vom Säkularen Wasseranstieg von ca. 30 cm/100Jahren eine Erhöhung des Hochwasserscheitels nicht wahrscheinlich ist, und auch Klimaszenarien etwa mit Verdoppelung des heute vorhandenen CO₂ Gehaltes in der Atmosphäre an dieser Situation nichts ändern. Andere Überlegungen führen dagegen zu der Aussage, dass sich, da die Sturmweatherlagen zunehmen, auch die Sturmfluten häufiger werden und sich damit die Wahrscheinlichkeit erhöht, dass ein extremer Windstau auf den Scheitel einer Springtide fällt – Überlegungen, die relativiert werden durch die Beobachtung, dass sich auch in früheren Zeiten Extremweatherlagen gelegentlich gehäuft haben.

Dies weist auf ein heute allgemein spürbares Dilemma in der Interpretation von Klimaindikatoren hin. Was ist Trend, und was ist normaler Zyklus? Wie muss die Versagenswahrscheinlichkeit unter diesen Umständen berechnet werden? Hilfen hierzu können nicht aus der Statistik kommen, sondern sie müssen durch sorgfältige Beobachtung der Klimafaktoren in aller Welt – man denke nur an das ENSO – El Niño Phänomen – und Korrelation dieser Faktoren mit den Sturmweatherlagen über der Nordsee in zeitraubender Forschungsarbeit erarbeitet werden. Wie immer die Datenlage heute interpretiert werden: es ist dringend geboten, in aller Sorgfalt sowohl die Sturmtiefsituationen als auch die Tideentwicklung zu beobachten. Darüber hinaus sind möglicherweise für die Erhöhung von Extremereignissen ganz andere Faktoren von viel größerer Bedeutung als Klimaänderungen. So hat Plate (1994) mehrfach darauf hingewiesen, dass ganz abgesehen von den Verhältnissen an der Nordseeküste eine Sturmflut zwischen Cuxhaven und Hamburg infolge von Ausbaumaßnahmen in der Un-

terelbe bei gleichen Wasserständen in Cuxhaven in Hamburg erheblich höher auflaufen wird als in den bisherigen Extremfällen der Sturmfluten von 1962 und 1976.

Im Vergleich zur Belastung ist die Belastbarkeit weniger kritisch, da sich normalerweise die Schwankungen in der Deichhöhe bei gut gepflegten Deichen in Grenzen halten. Bei alten Deichen, die in nicht mehr bekannter Weise gebaut worden sind, ist dies durchaus anders, und die Variabilität der Deichhöhe kann durchaus eine Rolle spielen: Untersuchungen zu dieser Frage sind nicht nur seit den Deichbrüchen an der Oder eine Notwendigkeit. Sie führen zu einer Wahrscheinlichkeitsfunktion $f_r(r)$ für die effektive Deichhöhe r . Da die Deichhöhe von der Belastung nicht abhängt, ist die zweidimensionale Wahrscheinlichkeit für das gleichzeitige Auftreten von s und r gleich dem Produkt der beiden eindimensionalen Verteilungen, d.h. es gilt:

$$f_{r,s}(r,s) = f_r(r) \cdot f_s(s) \quad (3)$$

Die wichtigste Anwendung der Funktion $f_{rs}(r,s)$ besteht in der Berechnung der Versagenswahrscheinlichkeit $P_F = P\{s \geq r\}$ des Deichsystems. Traditionell wird diese Größe als Bemessungskriterium verwendet, und oft wird die Risikoberechnung über die Versagenswahrscheinlichkeit berechnet, oder es wird eine Versagenswahrscheinlichkeit P_F direkt als Schutzziel, das einzuhalten ist, vorgegeben. Das heißt, dass bei gegebener zulässiger Versagenswahrscheinlichkeit P_{Bem} gelten muss:

$$P_F = P\{s \geq r\} \leq P_{Bem} \quad (4)$$

Stochastische Methoden zur Berechnung von P_F reichen von der Anwendung der Methode der zweiten Momente (FOSM – Analyse) bis zu sehr komplexen Methoden zur Lösung mehrdimensionaler Wahrscheinlichkeitsaufgaben (z.B. Ang und Tang, 1984, oder Plate, 1992, 1998). Noch andere Methoden verwenden eine Kombination von Simulation und deterministischer Rechnungen zur Bestimmung von P_F . Neuere Anwendungsbeispiele im Küstenbau sind für eine hinterfüllte Kaimauer von Reeve (1998) und für eine Sparboje von Winterstein et al., (1999) gegeben worden, bei denen der Hauptanteil der Arbeit auf die Ermittlung der Belastungs- und Belastbarkeitsfunktionen verwendet wird.

Die FOSM ist einfach in der Anwendung, aber nicht leicht verständlich. Sie geht aus von der Definition $z = r-s$ mit $z =$ Sicherheitsabstand, dessen Wahrscheinlichkeitsverteilung ermittelt werden muss. Sind r und s stochastisch unabhängige Zufallsgrößen mit Mittelwerten μ_r und μ_s und Varianzen σ_r^2 und σ_s^2 dann hat z die Wahrscheinlichkeitsverteilung mit den Parametern:

$$\mu_z = \mu_r - \mu_s \quad \text{und} \quad \sigma_z^2 = \sigma_r^2 + \sigma_s^2 \quad (5)$$

Das Ergebnis der FOSM ist der Sicherheitsindex β :

$$\beta = \frac{\mu_r - \mu_s}{\sqrt{\sigma_r^2 + \sigma_s^2}} \quad (6)$$

Für normalverteilte Zufallsvariablen entspricht der Sicherheitsindex einer Versagenswahrscheinlichkeit $P_F = \Phi(-\beta)$,

wobei $\phi(\eta)$ die standardisierte Normalverteilung mit der Variablen $\eta = (Z - \mu_Z) / \sigma_Z$ ist. Sind r und s nicht normalverteilt, dann ist der Ansatz nach der FOSM Methode nur ein Näherungsansatz. Es gibt jedoch Methoden, um die Normalverteilung an beliebige Wahrscheinlichkeitsverteilungen anzupassen (Ang and Tang, 1984, Plate, 1992). Die Anwendung der FOSM Methode auf Deiche wurde von Plate (1998) ausführlich diskutiert. Bei Vrijling, (1989) finden sich Beispiele für die Anwendung auf Seedeiche unter Berücksichtigung von allen denkbaren Versagensmechanismen, die über Schadens- und Fehlerbäume (Henley und Kumamoto, 1981) verknüpft werden müssen.

3.3 Ermittlung von Vulnerabilität und Risiko

Überschreitet der Wasserstand den kritischen Wert für die Deichhöhe, dann wird der Deich überspült und es kommt über kurz oder lang zum Bruch. Für diesen Fall muss der Schaden, der durch den Bruch entsteht, quantitativ erfasst werden. Durch dieses Ereignis sind in der Regel viele Elemente (EAR = elements at risk) bedroht, z.B. bei Überflutungen viele Gebäude. Dem Element wird ein Index j zugeordnet. Es kann ein Maximalschaden k_j durch ein für dies Element extremes Ereignis auftreten (z.B. vollständige Zerstörung des Gebäudes, oder $k = 1$ bei Verlust des Lebens). Meistens wird jedoch der Schaden nicht total sein, sondern das Element wird nur einen vom Ereignis u abhängigen Prozentsatz $\phi_j(u)$ des Maximalschadens erleiden. Der Prozentsatz $\phi_j(u)$ ist die relative Vulnerabilität des betroffenen Elements. Er wird bestimmt durch eine statistische Analyse beobachteter Schäden, und kann daher auch interpretiert werden als Wahrscheinlichkeit dafür, dass ein dem Ereignis u ausgesetztes Element vom Typ j einen Schaden k_j erleidet, d.h. es ist genau genommen eine bedingte Wahrscheinlichkeit.

Die individuelle Vulnerabilität des Elements wird durch eine Schadensfunktion v_{ij} beschrieben, die von der Höhe u des extremen Ereignisses abhängig ist, d.h. in unserem Falle von der Höhe des Wasserstandes, oder genauer von der lokalen Überflutungstiefe $u = h$. Sie ist gegeben zu

$$v_j(u) = k_j \cdot \phi_j(u) \quad (7)$$

Als Beispiel sei die Funktion der relativen Vulnerabilität eines zweistöckigen Gebäudes als Funktion der Überschwemmungshöhe gezeigt.

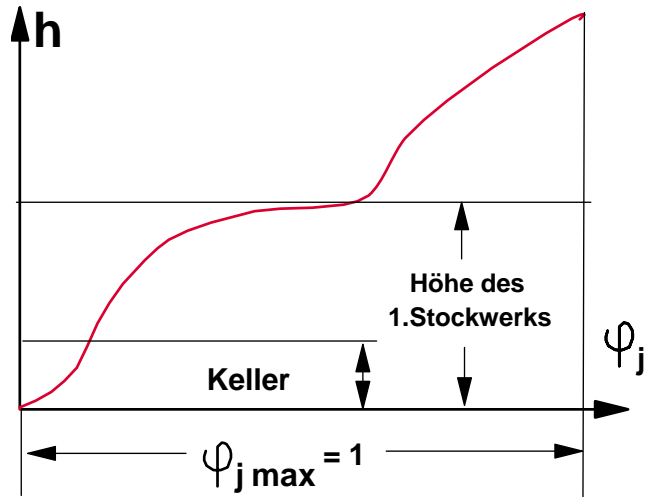


Abb.6: Relative Vulnerabilität eines 2stöckigen Hauses
Schließlich erhalten wir die Gesamtvulnerabilität eines Gebietes, in dem wir für jedes u alle möglichen Schäden über alle Elementklassen j summieren:

$$v(u) = \sum_j v_j(u) \quad (8)$$

Das Risiko ist der Erwartungswert der Vulnerabilität, oder der Schadenserwartungswert (über alle Klassen von EARs):

$$RI(t) = \int_0^\infty v(u) \cdot f(u) \cdot du \quad (9)$$

Alternativ kann das Risiko auch für jede Elementklasse einzeln ausgewiesen werden.

Vereinfachend wird eine Schadensfunktion in der Regel nicht als kontinuierlich variabel betrachtet, sondern die Schadensermittlung geht von Mittelwerten in Extremwertklassen aus, bei denen das extreme Ereignis u in die Klasse i mit Breite Δu fällt, so dass:

$$v_{ij} = k_j \cdot \phi_{ij} \quad (10)$$

Mit Hilfe dieser Formel wird die Vulnerabilität einer Klasse j von Elementen ermittelt als Summe aller individuellen Vulnerabilitäten summiert über die 1, 2, ..., k, \dots, n_k betroffenen Elemente („Element at risk“ = EAR) in der Klasse j :

$$v_j(u) = \sum_{k=1}^{n_k} k_j \cdot \phi_{kj}(u) \quad (11)$$

und mit diesem Ausdruck wird das Risiko berechnet aus:

$$RI = \sum_i v_{ij}(u) \cdot p_i(u) \quad (12)$$

mit $p_i(u)$ die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten eines Extremereignisses u in der zugehörigen Klasse i .

Die Ergebnisse der Risikoanalyse werden heute in Form von Karten in Geographischen Informationssystemen mit relationalen Datenbanken dargestellt. Das ist beim Hochwasserschutz durch Deiche deshalb nicht einfach, weil ein

Deich an vielen Stellen brechen kann, so dass für jeden Deichabschnitt eine eigene Rechnung angestellt werden muss. Im Falle eines Deichsystems an einem Fluss ist die Bewertung noch komplizierter, weil durch den Bruch an einer Stelle ein möglicher Bruch an anderer Stelle verhindert wird. Daher werden zweckmäßigerweise Risiken nicht in Karten mit Zahlenwerten dargestellt, sondern es werden nur die Gefährdungen durch allgemeine, den Grad der Bedrohung verbal charakterisierende Angaben in Karten dargestellt: rote Zonen, die stark gefährdet sind, blaue mit geringerer, und weisse ohne Gefährdung. In dieser Weise werden die Hochwasserschutzpläne in der Schweiz dargestellt (Schweizer BAW, 1998).

4 Schlussbemerkung

Die Anwendung der Risikoanalyse für Hochwasserschutz ist eine reizvolle und bleibende Aufgabe. Ihre Lösung ist vom wissenschaftlichen und logischen Ansatz her überzeugend, und deshalb wird sie auch immer wieder unter Beifügung von Beispielen in der Literatur erwähnt. Es ist zu hoffen, dass sich diese Methode in Zukunft weiter durchsetzen wird. Denn man muss sich darüber im Klaren sein, dass die großen Datenmengen, die heute vielfach im Küstenbereich oder an unseren Flüssen gewonnen werden, diese Anwendung immer mehr ermöglichen, und die Erfahrungen zunehmen.

Problematischer als die Entwicklung neuer Methoden ist jedoch das grundsätzliche Problem der Akzeptanz von Schutzmaßnahmen. Großräumige Schutzmaßnahmen können nicht von einzelnen durchgeführt werden, sondern sind Gemeinschaftsaufgaben. Sie haben ihren besonderen Stellenwert in der Daseinsvorsorge aller Länder und können einen wichtigen Teil der für Infrastrukturmaßnahmen einsetzbaren Ressourcen verbrauchen. Daher muss die Entscheidung über die vorzusehenden Maßnahmen zur Vorbeugung, soweit dies über die Kräfte des Einzelnen geht, durch den politischen Prozess erfolgen.

Die durchzuführenden Maßnahmen sollten im breiten Konsens aller Bürger eines Landes beschlossen werden. Ein solcher Konsens ist heute in den meisten demokratischen Ländern nicht leicht zu erreichen. So ist Hochwasserschutz in Deutschland heute eine Aufgabe, bei der nicht viel technisches Neuland beschrritten wird, um so mehr aber im nicht-technischen Bereich. Die Schwierigkeiten liegen einerseits darin, dass sich an der Bezahlung von technischen Maßnahmen sowohl Betroffene als auch Nichtbetroffene beteiligen: In der Regel kann z.B. eine umfangreiche Deichbaumaßnahme am Rhein nicht von den Anliegern allein bezahlt werden. Das bedeutet, dass sich eine solche Maßnahme mit anderen Gemeinschaftsaufgaben vergleichen lassen muss, und da nach einer Katastrophe die Erinnerung der nicht Betroffenen rasch verblassen, werden häufig nach einer Katastrophe erkannte Mängel nicht beseitigt.

Das zweite Problem entsteht, wenn vorbeugende Maßnahmen für ein sehr seltenes Ereignis, das noch nicht stattgefunden hat, geplant werden, wobei die Einschätzung der Gefährdung durch die potentiell Betroffenen sehr subjektiv ist. Das ist ein Problem der Wahrnehmung einer Gefährdung, die sehr von den subjektiven Erfahrungen auch der Entscheidungsträger abhängt. Daher sind Konzepte für einen optimalen Katastrophenschutz - in dem Sinne, dass mit einem Minimum an Aufwand ein Maximum an Schaden durch ein Extremereignis abgewendet wird - in der Regel nur schwer zu vermitteln. Dies hat sich z.B. bei der Aufstellung des Aktionsplans für den Rhein (IKSR, 1998) erwiesen, in welchem die notwendigen und die wünschenswerten Projekte zur Verbesserung des Hochwasserschutzes am Rhein mitsamt ihren Kosten aufgelistet wurden. Es zeigte sich, dass die Menschen eher bereit sind, gut sichtbare Maßnahmen zu akzeptieren, die bei ihnen lokal Sicherheit bringen, die aber sehr teuer sind und nur wenig

zur Verbesserung des gesamten Hochwasserschutzes beitragen. Maßnahmen dagegen, die vergleichsweise wenig kosten und das Risiko sehr stark vermindern, die aber nicht denjenigen zugute kommen, die von den Maßnahmen betroffen sind, sind nur außerordentlich schwer durchzusetzen. Dies ist ein Problem der Risikokommunikation, die dadurch erschwert ist, dass viele verschiedenen Berufe und Personenkreise angesprochen werden. Ein Schritt in Richtung auf eine Verständigung ist eine gemeinsame Terminologie, um die sich z.B. das Deutsche Nationalkomitee für die Internationale Dekade der Katastrophenvorbeugung bemüht hat. Die von diesem Komitee gegebenen Empfehlungen für eine einheitliche Terminologie sind im Anhang zusammengestellt.

Angesichts der genannten Schwierigkeiten ist es eine wichtige Funktion einer durchgearbeiteten Risikoanalyse, um unter Berücksichtigung der Bewertung den Entscheidungsträgern und der Bevölkerung anhand von Zahlen den Nutzen von Schutzmaßnahmen zu verdeutlichen – aber auch, die Begründung dafür zu liefern, von gänzlich unwirtschaftlichen Lösungen abzusehen – insbesondere wenn es gelingt, gleiche Maßstäbe für Gewässer oder Küstenschutz und Schutz der Natur zu entwickeln. Forscher aller einschlägigen Fachdisziplinen seien hierzu aufgefordert.

Literatur:

- ANG, A.H. AND W.H. TANG (1984): "Probability concepts in engineering planning and design, Vol.2" J.Wiley, New York
- ARBEITSGRUPPE "INTEGRIERTES RHEINPROGRAMM" 1990: *Integriertes Rheinprogramm: Aufgaben und Umsetzung, Arbeitsgruppe, bei den Regierungspräsidien Karlsruhe und Freiburg, Land Baden-Württemberg*
- CICIN-SAIN, B., R.W. KNECHT UND G.W. FISK 1995: *Growth in capacity for integrated coastal management since UNCED: an international perspective. Ocean and Coastal Management, Bd. 29, S. 93-123*
- CROUCH, E.A.C. UND R. WILSON 1982: *Risk Benefit Analysis*, Ballinger Publisher, Boston, Mass. USA
- FREEZE, R.A., J. MASSMANN, L. SMITH, T. SPERLING, AND B. JAMES 1990: *Hydrogeological decision analysis: 1. A framework, Groundwater, Bd. 28, S. 738-766*
- HENLEY, E.J. AND H. KUMAMOTO, (1981): "Reliability engineering and risk assessment" Prentice Hall Publishers, Englewood Cliffs, N.J.
- HOFSTEDE, J. UND B. PROBST: 1999: *Integriertes Küstenschutzmanagement in Schleswig Holstein. HANSA-Schiffahrt-Schiffbau-Hafen, 136. Jahrgang, 1999 S. 108-113*
- IKSR 1998: (Internationale Kommission zum Schutz des Rheines) "Aktionsplan Hochwasser", Koblenz
- LOUCKS, D.P. ET AL. 1998: *Task Committee on Sustainability criteria, American Society of Civil Engineers, and Working Group UNESCO/IHP/IV Project M-4.3 Sustainability criteria for water resources systems. ASCE, Reston, VA. USA*

- PLATE, E.J. (1992): „Stochastic design in hydraulics: concepts for a broader application“ Proceedings, Sixth IAHR International Symposium on Stochastic Hydraulics, Taipeh, Taiwan, pp. 1-9
- PLATE, E.J. (1993): "Statistik und angewandte Wahrscheinlichkeitslehre für Bauingenieure" (Statistics and applied probability theory for civil engineers) Ernst und Sohn, Berlin
- PLATE, E.J. (1994): The effect of climate change on storm surges. In: L. Duckstein et al. (Herausgeber) Risk in Natural Resources Management (NATO ASI Series E: Applied Sciences, Vol. 275), pp. 395-415, KluwerEngineering
- PLATE, E.J. (1998) Stochastic hydraulic modelling - a way to cope with uncertainty. in: K.P.Holz et al. (ed.) 1998: ADVANCES IN HYDRO - SCIENCES AND – ENGINEERING, Vol. III, Proceedings of the 3rd International Conference on Hydro – Science and – Engineering, Cottbus/Berlin, Germany (CD-ROM)
- PLATE, E.J., AND L. DUCKSTEIN (1988): "Reliability based design concepts in hydraulic engineering", Water Resources Bulletin, Am. Water Resources Ass., Vol. 24, pp. 234-245
- PLATE, E.J. UND B. MERZ, (2000): Naturkatastrophen: Ursachen, Auswirkungen und Vorsorge, Schweizerbart'sche Verlagsanstalt, München
- REEVE, D.E. (1998): Coastal flood risk assessment, , Journal of the Waterways, Port, Coastal, and Ocean Engineering, Am.Soc.CivilEng., pp. 219-228
- VRIJLING, J.K. (1989): "Developments in the probabilistic design of flood defences in the Netherlands" Seminar on the reliability of hydraulic structures, Proceedings, XXIII Congress, International Association for Hydraulic Research, Ottawa, Canada, pp. 88-138.
- WINTERSTEIN, S.R., A.K. JHA AND S. KUMAR (1999): Reliability of floating structures: extreme response and load factor design, Journal of the Waterways, Port, Coastal, and Ocean Engineering, Am. Soc. Civil Eng., pp. 163-169
- YEN, B.C. (1992): „Stochastic perspective of open channel equations“ Proceedings, Sixth IAHR International Symposium on Stochastic Hydraulics, Taipeh, Taiwan

Gefahr: extremes Ereignis u , das zu einer Bedrohung von Menschen, Umwelt oder Sachkapital führen kann

Gefahrenkarten: Karten, die qualitativ auf lokale Gefahren hinweisen, z.B. Aufzeigen von Hängen, die abrutschen können

Jährlichkeit T : mittleres Wiederkehrintervall (eines Ereignisses $u > u_g$)

Auftretens- oder Gefährdungswahrscheinlichkeit: Wahrscheinlichkeit, daß ein extremes Ereignis u_i einer bestimmten Größenklasse i eintritt

Überschreitungswahrscheinlichkeit: Wahrscheinlichkeit, daß ein extremes Ereignis eintritt, das einen Grenzwert u_g erreicht oder überschreitet, üblicherweise ausgedrückt durch die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten eines Ereignisses $u > u_g$ in jedem beliebigen Jahr (sodaß diese Wahrscheinlichkeit gleich $1/T$ ist).

Gefährdetes Objekt = EAR („element at risk“): Objekt, das durch das Extremereignis Schaden erleiden kann, d.h. Sachen oder Personen im Gebiet

Hasard oder Gefährdung: Die von einer Gefahr ausgehende Bedrohung, dargestellt als Kombination von Gefahr und Überschreitungs- bzw. Auftretenswahrscheinlichkeit, (für die Berechnung siehe Kasten 2) üblicherweise dargestellt in (Hasard-, Gefährdungs- oder Gefährdungshinweis-) Karten

Schaden (auch: *Vulnerabilität oder Verletzlichkeit*¹): Konsequenz der Einwirkung eines Extremereignisses bestimmter Größe u auf ein EAR, üblicherweise ausgedrückt durch Schadenskosten oder Anzahl von Betroffenen (Ermittlung und weitere Definitionen siehe Kasten 2)

Risiko: Kombination von Schaden und geschätzter Auftretenswahrscheinlichkeit als Basis für Entscheidungen bei Unsicherheit. Technisch: Produkt aus Schaden und und Überschreitungswahrscheinlichkeit (genauer: Erwartungswert des Schadens für Objekte, oder für eine Objektgruppe in einem bestimmten Gebiet), dargestellt durch Risikokarten.

Risikomanagement: Summe aller Maßnahmen und Aktionen zur Beherrschung eines Risikos (analog: Katastrophenmanagement)

Risikoanalyse: Gefährdungs- oder Verletzlichkeitsbewertung: Methode zur Ermittlung eines numerischen oder qualitativen Wertes für das Risiko

Vulnerabilität = Verletzlichkeit: möglicher Schaden bei Eintritt des Extremereignisses

Vulnerabilitätsbestimmung: Ermittlung der Vulnerabilität (des möglichen Schadens) der gefährdeten Objekte des untersuchten Gebietes

Risikobestimmung: Verknüpfung von Vulnerabilität und Gefährdung zum Risiko

Vorsorge: Summe vorbeugender und vorbereitender Maßnahmen, die zur Verminderung des Risikos und seiner Auswirkungen ergriffen werden können

Katastrophenvorbeugung: Einsatz technischer und nicht-technischer Maßnahmen zur Verminderung des Risikos

Vorbereitung auf den Katastrophenfall: (Preparedness) Planung der Katastrophenhilfe, Warnung und Evakuierung

Katastrophenbewältigung: Summe aller Handlungen nach dem Eintreten einer Katastrophe, die zur Verminderung der Katastrophenauswirkungen eingesetzt werden können

Anhang: Definitionen zum Risikomanagement (aus Plate et al., 2000: Naturkatastrophen: Ursachen, Auswirkungen und Vorsorge, Schweizerbart'sche Verlagsanstalt, München)