6. Mai 1997

Diss ETH Nr. 11878

Analyse, Bewertung und Management von Naturrisiken

Abhandlung zur Erlangung des Titels

DOKTOR DER TECHNISCHEN WISSENSCHAFTEN

der

EIDGENÖSSISCHEN TECHNISCHEN HOCHSCHULE ZÜRICH

vorgelegt von
Kurt Hans Rudolf Hollenstein
dipl. Forst-Ing. ETH

geboren am 11. April 1966
von Mosnang

Angenommen auf Antrag von
Prof. Dr. Hans-Rudolf Heinimann
Prof. Dr. Dr. h.c. Daniel Vischer

Leer - Vide - Empty

Vorwort

Die vorliegende Promotionsarbeit entstand in den Jahren 1992 bis 1996 an der Professur für forstliches Ingenieurwesen der ETH Zürich. Den Anstoss zum Thema gab ein Forschungsprojekt im Rahmen des Moduls «Naturgefahren» des BUWAL-Programms «Flankierende Massnahmen zum Walderhebungsprogramm (WEP-FLAM)». Zusammen mit anderen Projekten wurden dabei die methodischen Grundlagen zur Erfassung und Bekämpfung von Naturgefahren nach Art. 19 des Waldgesetzes geschaffen. Wesentliche Teile der vorliegenden Arbeit basieren auf Ueberlegungen, die im Rahmen dieses Forschungsprojektes angestellt wurden.

Es ist mir ein Anliegen, all jenen Personen zu danken, die zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben. Prof. Dr. H. R. Heinimann danke ich für die Uebernahme der Betreuung der Arbeit und für die Möglichkeit, an seiner Professur während fünf Jahren der Problematik der Sicherheit vor Naturgefahren nachzugehen. Herrn Prof. Dr. Dr. h.c. D. Vischer danke ich für die spontane Bereitschaft zur Uebernahme des Korreferates. Seine pragmatischen Hinweise haben mich dazu angeregt, immer wieder über den Stellenwert dieser Arbeit nachzudenken. Weiter will ich meinem Bürokollegen, Herrn dipl. Forst-Ing. O. Bürgi danken. Er hat in Stunden intensiven fachlichen und persönlichen Gesprächs viel zur Atmosphäre beigetragen, in der diese Arbeit entstand. Einen ganz besonderen Dank möchte ich meinen Eltern aussprechen. Sie haben mir überhaupt erst ermöglicht, diesen Weg einzuschlagen. Am meisten danke ich aber Isabelle Kuster für die Geduld, die sie mir auch während den schwierigen Phasen meiner Arbeit entgegengebracht hat.

Leer - Vide - Empty

Inhaltsverzeichnis

Vorwort 3
Inhaltsverzeichnis 5
Kurzfassung 9
Abstract 11
1. Einleitung 13
1.1 Auslöser ... 13
1.2 Problemstellung ... 13
1.3 Fragestellungen ... 14
1.4 Gliederung der Arbeit ... 14
2. Entwicklung, Begriffe und Konzept der Sicherheitswissenschaft 15
2.1 Historische Entwicklung der Sicherheitswissenschaft ... 15
2.2 Begriffe ... 19
2.3 Teilbereiche der Sicherheitswissenschaft ... 21
2.3.1 Risikoanalyse: Bestimmung der zu erwartenden Schäden ... 21
2.3.2 Risikobewertung: Beurteilung der Bedeutung von Risiken ... 23
2.3.3 Risikomanagement: Umgang mit Risiken ... 24
2.4 Integration im Gesamtkonzept ... 26
3. Methodisches Konzept 31
3.1 Ziele ... 31
3.2 Vorgehen ... 31
3.2.1 Rekonstruktion der bisherigen und Prognose der künftigen Entwicklung ... 32
3.2.2 Verfahrensvorschlag für Naturrisikoanalyse ... 34
3.2.3 Soziopolitische Bedeutung von Naturrisiken ... 36
3.2.4 Möglichkeiten des Risikomanagements bei Naturgefahren ... 37
4. Vergangene und zukünftige Entwicklung von Schäden durch Naturereignisse 39
4.1 Langfristige Entwicklung ... 39
4.1.1 Klimatische Variationen seit dem 16. Jahrhundert ... 39
4.1.2 Bevölkerungsentwicklung in der Schweiz seit dem Mittelalter ... 39
4.1.3 Einkommensentwicklung seit dem 19. Jahrhundert ... 40
4.1.4 Die Schadenentwicklung ab dem 15. Jhd. ... 41
4.1.5 Ursache der Schadenentwicklung ... 42
4.2 Einschätzung der künftigen Entwicklung durch betroffene Institutionen ... 46
4.2.1 Bemerkungen zur Umfrage und zur Auswertung ... 46
4.2.2 Entwicklung in den letzten 20 Jahren ... 47
4.2.3 Erwartete zukünftige Entwicklung ... 47
4.2.4 Bedeutung von Naturrisiken im Vergleich zu anderen Risiken ... 48
4.2.5 Relative Bedeutung einzelner gefährlicher Prozesse ... 48
4.2.6 Beurteilung des Kenntnisstandes ... 48
4.3 Kurzfristige Entwicklungstendenz ... 49
4.3.1 Daten des Schweizerischen Elementarschadenpools ESP ... 49
4.3.2 Daten zu Personenschäden ... 51
4.4 Interpretation und Prognose ... 51

5. Risikoanalyse bei Naturgefahren 55

5.1 Besonderheiten von Naturrisiken ... 55

5.2 Vorgehen bei einer sicherheitswissenschaftlichen Risikoanalyse ... 56

5.2.1 Systemabgrenzung und -beschreibung ... 56

5.2.2 Gefahrenabschätzung ... 59

5.2.3 Expositionsanalyse ... 64

5.2.4 Folgenanalyse ... 66

5.2.5 Vorbereitungs- und Abschlussarbeiten der Risikoanalyse ... 68

5.3 Methoden der technischen Risikoanalyse ... 70

5.3.1 *Qualitative Methoden* ... 71

5.3.2 Methoden mit beschränkten Quantifizierungsmöglichkeiten ... 73

5.3.3 Quantitative Methoden ... 76

5.3.4 Ergänzende Methoden ... 78

5.4 Hilfstechniken zur Durchführung einer Risikoanalyse ... 79

5.4.1 Erweiterung der Datenbasis mittels Bayes'scher Statistik ... 79

5.4.2 Behandlung unscharfer Grössen durch Fuzzy-Logik ... 81

5.4.3 Poolen und Kalibrieren von subjektiven Einschätzungen ... 82

5.5 Eignung bestehender Methoden zur Analyse von Naturrisiken ... 84

5.5.1 Vorgehen bei der Eignungsprüfung ... 84

5.5.2 Anforderungen an die Methoden ... 85

5.5.3 Gewichtung der verschiedenen Anforderungen ... 87

5.5.4 Resultate der Eignungsprüfung ... 88

5.6 Modulares Verfahren zur Analyse von Naturrisiken ... 91

5.6.1 Dispositionsanalyse mit Fehlerbaumverfahren ... 92

5.6.2 Ereignisablauf- und Folgenanalyse mit Ereignisbaum ... 95

5.7 Beispiel für eine Risikoanalyse bei Naturgefahren ... 99

5.7.1 Aufgabenstellung und Untersuchungsgebiet ... 99

5.7.2 Risikoanalyse für das Fallbeispiel ... 99

5.7.3 Expositionsanalyse ... 105

5.7.4 Folgenanalyse ... 106

5.7.5 Folgerungen ... 108

6. Bewertung von Naturrisiken 113

6.1 Sicherheitswissenschaftliche Erkenntnisse zur Risikobewertung ... 113

6.2 Bewertung von Naturrisiken in der Schweiz ... 115

6.2.1 Modell des Bewertungsprozesses ... 115

6.2.2 Wahrnehmung von Naturrisiken ... 115

6.2.3 Bewertung von Naturrisiken ... 117

6.3 Kommunikation über Naturrisiken ... 123

6.3.1 Grundlagen und Zielsetzung der Risikokommunikation ... 124

6.3.2 Vorgehen bei der Risikokommunikation ... 125

6.3.3 Empfehlungen für die behördliche Risikokommunikation ... 126

6.3.4 Empfehlungen für die Kommunikation über Naturrisiken ... 128

6.3.5 Beispiele für die Informationsvermittlung im Rahmen der Risikokommunikation ... 129

6.3.6 Schlussfolgerungen ... 133

7. Risikomanagement bei Naturgefahren 135

7.1 Problemstellung beim Management von Naturrisiken ... 135

7.2 Restriktionen beim Management von Naturrisiken ... 135

7.2.1 Limiten bezüglich der Umsetzbarkeit von Massnahmen ... 135

7.2.2 Rechtliche und administrative Restriktionen ... 136

7.3 Zielhierarchie und Zielsetzungsprozess beim Risikomanagement ... 137

7.3.1 Zielhierarchie ... 137

7.3.2 Zielsetzungsprozess ... 139
7.4 Strategien des Naturrisikomanagements ... 140
7.4.1 Präventive Strategien zur Risikominderung ... 141
7.4.2 Reaktive Risikomanagementstrategien ... 144
7.4.3 Beurteilung der Leistungsfähigkeit von Strategien ... 144
7.5 Massnahmen gegen Naturrisiken ... 146
7.5.1 Massnahmen mit dauernder Wirkung ... 147
7.5.2 Temporär wirksame Massnahmen ... 149
7.5.3 Kombination von Massnahmen ... 153
7.5.4 Analyse der Wirksamkeit von Massnahmen ... 154
7.6 Organisation des Risikomanagements ... 157
7.6.1 *Präventives Risikomanagement* ... 157
7.6.2 Reaktives Risikomanagement ... 160
7.6.3 Sicherheitspläne als Werkzeug des Risikomanagements ... 161
7.7 Beispiele zum praktischen Naturrisikomanagement ... 165
7.7.1 Präventives Risikomanagement ... 165
7.7.2 Reaktives Risikomanagement ... 167
7.7.3 Folgerungen ... 168
8. Diskussion 171
8.1 Problemstellung und mögliche Lösungen ... 171
8.2 Offene Fragen ... 172
8.2.1 Risikoanalyse ... 172
8.2.2 Risikobewertung ... 172
8.2.3 Risikomanagement ... 173
8.3 Zukünftiger Forschungsbedarf ... 173
8.4 Schlussfolgerungen ... 174
Literaturverzeichnis 177
Anhang 193
Anhang A: Einschätzung der Entwicklung von Naturrisiken ... 193
A1 Fragebogen ... 193
A2 Antworten ... 196
Anhang B: Klimaentwicklung seit dem Jahr 1500 ... 201
Anhang C: Wichtigkeit verschiedener Anforderungen an ein Risikoanalyseverfahren ... 202
Anhang D: Erfüllungsgrade verschiedener Analyseverfahren ... 203
Anhang E: Beispiel eines FT zur Dispositionsanalyse ... 210
Anhang F: Beispiel eines ET zur Ereignisablauf- und Folgenanalyse ... 212
Anhang G: Kooperative Spieltheorie als Allokationsschema ... 213

Kurzfassung

Zunehmende Schäden durch Naturereignisse bei gleichzeitig knapper werdenden Mitteln für Schutzmassnahmen erfordern eine möglichst effiziente Verwendung der verfügbaren Ressourcen. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit werden die methodischen Hilfsmittel und Empfehlungen dazu bereitgestellt.

Vier Aufgaben stehen im Zentrum der Arbeit:

- Rekonstruktion der bisherigen Entwicklung der durch Naturereignisse verursachten Schäden und Prognose für einen Zeitraum von 50 bis 100 Jahren;
- Entwicklung einer Methodik zur Bestimmung der zu erwartenden Schäden, d.h. der Naturrisiken, im Einzelfall;
- Abschätzen der soziopolitischen Bewertung von Naturrisiken und Herleiten von Empfehlungen für eine verbesserte Risikokommunikation;
- Entwicklung von Grundsätzen und Empfehlungen für einen wirksameren Umgang mit Naturrisiken.

Für die Rekonstruktion der bisherigen Entwicklung wurde ein Modell mit der Bevölkerung, der ökonomischer Leistungsfähigkeit und dem Klimaverlauf als unabhängigen Variablen zugrunde gelegt. Ein klimatischer Trend ist für die untersuchte Periode nicht auszumachen; die beiden anderen Grössen genügen aber zur Erklärung der vergangenen Schäden. Mit diesem Modell ergibt sich in Szenarien bis zum Jahr 2050 ein Anstieg der Schäden um 20 bis 25%. Starke klimatische Variationen (Treibhauseffekt) sind darin noch nicht berücksichtigt.

Bei der Entwicklung einer Methodik zur Analyse von Naturrisiken kann das aus der technischen Sicherheitswissenschaft bekannte Vorgehen trotz unterschiedlicher Untersuchungsobjekte übernommen werden. Es umfasst vier Schritte: Systemabgrenzung und -beschreibung, Gefahrenabschätzung, Expositionsanalyse und Folgenanalyse. Für die Risikoanalyse im engeren Sinne, d.h. die qualitative oder quantitative Beschreibung der im System zu erwartenden Schäden, kommen grundsätzlich alle Techniken in Frage; die wichtigsten davon werden beschrieben. Ein Problem bei Naturrisiken stellen die meist lückenhaften und unsicheren Eingangsgrössen dar. Hilfstechniken zur Erweiterung der Datenbasis (Bayes'sche Statistik), zur Verwendung unscharfer Grössen (Fuzzy-Logik) und zum Poolen und Kalibrieren von Informationen (Delphi-Analyse) sind deshalb von besonderer Bedeutung.

Aufgrund einer Eignungsprüfung scheint eine Kombination von Fehler- und Ereignisbaum für die Dispositions- und Ablaufanalyse optimal zu sein. In einem Fallbeispiel hat sich das vorgeschlagene Verfahren gut bewährt. Die entwickelte Methodik ist für ein grosses Spektrum an Aufgaben und Untersuchungsobjekten anwendbar. Sie bietet ein erhebliches Potential für Rationalisierungen (Verwendung bestehender Softwarepakete und geographischer Informationssysteme).

Die soziopolitische Bewertung von Naturrisiken kann nicht direkt bestimmt, sondern nur aufgrund eines Modells hergeleitet werden. Mit den zwei Bestimmungsgrössen Bedrohlichkeit und Vertrautheit ist für Naturrisiken eine geringe Bedeutung zu erwarten. Bei der Festlegung von Sicherheitszielen durch

Behörden wird der Bewertung bisher zu wenig Rechnung getragen. Hier sind Verbesserungen im kommunikativen Bereich wichtig, um eine optimale Bedürfnisbefriedigung zu erreichen. Dies erfordert eine Planung der gesamten Risikokommunikation und einen Einbezug der Betroffenen.

Im Bereich des Umgangs mit Naturisiken, d.h. beim Risikomanagement, sind Verbesserungen durch eine hierarchische Zielsetzung und deren Umsetzung auf einer strategischen Ebene möglich. Die Realisierung auf der operationellen Massnahmenebene ist dagegen stark durch die einzelnen Disziplinen (zum Beispiel die Bau- oder Uebermittlungstechnik) geprägt.

Organisatorische Aspekte sind für die Umsetzung des Risikomanagements ebenfalls wichtig. Bisher wurden Naturrisiken dezentral, d.h. durch verschiedene Amtsstellen, behandelt; lediglich bei Katastrophen wurde die zentrale Form (Krisenstäben etc.) gewählt. Wenn sie sich mit den bestehenden Strukturen realisieren lässt, verspricht eine zentrale Organisation aber Vorteile durch bessere Koordination und ein einheitliches Vorgehen. Als Werkzeug für die Umsetzung kann der Sicherheitsplan dienen, der alle relevanten Informationen für das präventive und das reaktive Risikomanagement enthält und allen verantwortlichen Stellen zur Verfügung steht.

Zusätzlicher Forschungsbedarf besteht im Bereich der Risikoanalyse vor allem im Hinblick auf die Eignung des Verfahrensvorschlages für die praktische Anwendung. Weiter ist das Rationalisierungpotential bei Verwendung von Hilfsmitteln (Automatisierung, Standardisierung) abzuklären, um zuverlässige Angaben zum Aufwand machen zu können. Bei der Risikobewertung steht klar die empirische Grundlagenforschung im Zentrum, da nur durch sie verlässliche Angaben über die tatsächliche Bedeutung von Naturrisiken beschafft werden können. Beim Risikomanagement stellen Informations-, Warn- und Katastrophenleitsysteme ein eigenes Forschungsfeld dar, andere Aspekte werden durch disziplinäre Arbeiten abgedeckt.

Abstract

During the past years, steadily increasing damage due to natural hazards and concurrently diminishing funds for defense measures have led to a situation where efficient resource utilization is of utmost importance. This work describes the development of several concepts of resource utilization and their critical evaluation and presents appropriate practical recommendations.

It deals with four major tasks:

- Reconstructing the history of damage caused by natural hazards during the past 500 years and giving a forecast for the next 50 to 100 years;
- Developing a methodology allowing the analysis of natural risks;
- Providing an estimation of the sociopolitical perception and evaluation of natural risks by the public and giving recommendations for improvement of risk communication;
- Finding principles and developing recommendations for an efficient management of natural risks.

The past development of damage can be reconstructed using a model based on population, economic performance and climate of the past as independent variables. While the climate was found to be an irrelevant factor, strong correlations could be shown between damage and the two remaining factors. Based on this model, an extrapolation indicates that in the period until 2050, the damages may increase by 20 to 25%. In this estimation, a possible influence of future climatic changes (such as a greenhouse effect) was not taken into account.

In spite of their different character, the same procedure can be used to analyse the risks of both technical and natural systems. Four steps must be taken: System delimitation and description, identification and assessment of hazards, exposure analysis and consequence analysis. In principle, all the methods developped for technical applications can also be used for the analysis of natural risks. Of these, the most important are shortly described herein. One major problem with natural systems is the scarcity and uncertainty of the input data. Therefore, it is of special importance for the analysis of natural risks to have techniques available for the enlargement of the databases, for the utilization of fuzzy information and for pooling and calibrating of data.

Based on theoretical requirements, a test indicates that a combination of the «fault-tree» and the «event-tree» methods is best suited for the analysis of natural hazards and risks. Put to test in a case study, the suggested procedure showed good results. It can be applied to a broad spectrum of both hazards and objects. It offers an important potential for rationalization (e.g. using available software applications and geographic information systems).

The sociopolitical evaluation of natural risks by the public, being sujective, cannot be measured directly. However, it can be estimated with the help of a model. Using threat and familiarity as variables, one expects natural risks to be of low significance to the public. Until now, this evaluation has rarely been taken into account by the authorities when defining safety objectives. Improvements in

the process of risk communication are necessary to optimize the satisfaction of safety needs. This requires a careful planning of all communication activities and the integration of all affected persons in the process.

The management of natural risks can be improved by defining a hierarchy of objectives and its implementation in a strategic decision process. On the operational level the realization of protective measures is strongly influenced by the «technical» disciplines (such as construction or communication technology).

Organizational aspects are also important for the implementation of risk management principles. Until now, natural risks have been the resposibility of different authorities. Centralized organisations were only chosen when major disasters happened. A centralized risk management offers the advantage of better coordination and unified procedures, provided it can be realized within existing administrative structures. The most important instrument for the implementation of strategies and measures ist the safety plan. It integrates all relevant information for risk management activities.

Future research in the field of natural risk analysis should further develop the methodology. Additional work should investigate possibilities for automatization and standardization, thereby providing data about the cost of natural risk analysis. Sociological field research should thoroughly investigate the evaluation of natural risks by the public. Major risk management research fields are information systems, warning and disaster management systems, whereas most of the other aspects are covered by disciplinary research.

1. Einleitung

1.1 Auslöser

Seit gut einem Jahrhundert wurden in der Schweiz grosse Anstrengungen zum Schutz gegen Naturgefahren unternommen. Mehrere Milliarden wurden allein in den Hochwasserschutz investiert (ASF 1977). Katastrophen wie jene von 1987 (Ueberschwemmungen in Poschiavo und im Urner Reusstal) und die Stürme von 1990 haben deutlich gezeigt, dass menschliche Werte trotzdem verletzlich gegenüber Elementargewalten bleiben. Gleichzeitig hat das politische und rechtliche Umfeld zum Schutz vor Naturgefahren durch die Einführung neuer Gesetze geändert. Das Waldgesetz (SR 921.1) und das Wasserbaugesetz (SR 721.100) von 1991 verändern die Rahmenbedingungen für Massnahmen gegen Naturgefahren, und die Verpflichtung zu ihrer Berücksichtigung in der Raumplanung (RPG 1979, Art. 6, Abs. 2, SR 700) ist bisher nur teilweise erfüllt.

International zeigt die steigende Häufigkeit und Schwere von Schadenereignissen, dass Naturgefahren ein ernsthaftes wirtschaftliches und politisches Problem darstellen. Aktivitäten wie die «Dekade zur Reduktion von Naturkatastrophen», aber auch die Appelle der Versicherungswirtschaft weisen darauf hin, dass neue Ansätze im Umgang mit dieser Bedrohung notwendig sind. Dies gilt vor allem vor dem Hintergrund zu erwartender Veränderungen der Umweltbedingungen, welche einen qualitativen Einfluss auf die gefährlichen Prozesse haben (zum Beispiel das Auftreten bisher nicht bekannter Phänomene).

1.2 Problemstellung

Naturkatastrophen werden sich auch mit neuen Denkmodellen und Handlungsgrundlagen in Zukunft nicht vollständig vermeiden lassen. Es muss aber versucht werden, die durch sie verursachten Schäden auf ein wirtschaftlich und politisch tragbares Niveau zu reduzieren. Die traditionellen Verfahren zur Bekämpfung von Naturgefahren sind dazu aus zwei Gründen nur bedingt geeignet:

- Das Denken ist ausgesprochen ereignisorientiert. Nicht Schäden, sondern gefährliche Prozesse stehen im Mittelpunkt der Ueberlegungen. Besonders klar wird dies bei den gängigen Sicherheitszielen: sie werden aufgrund einer Bemessungsgrösse für das Ereignis definiert (zum Beispiel als 100-jähriges Hochwasser) und nicht als maximal tolerierbare Schäden.
- Mehrheitlich geht man heute reaktiv mit Naturgefahren um: Als Folge eines Schadenereignisses trifft man Massnahmen gegen dessen Wiederholung. Die Frage nach der Wahrscheinlichkeit spielt dabei eine sekundäre Rolle. Die prognostische Erfassung möglicher Schadenszenarien hinsichtlich Ausmass und Eintretenswahrscheinlichkeit hat in den letzten Jahren zwar an Bedeutung gewonnen (Lawinen, z.T. Hochwasser), sie bildet aber weiterhin eher die Ausnahme als die Regel.

Echte Verbesserungen im Schutz gegen Naturgefahren sind nur möglich, wenn wesentlich mehr Ressourcen eingesetzt werden oder die Effizienz ihres Einsatzes erhöht wird. Ersteres scheint aufgrund der öffentlichen Finanzen unrealistisch. Die vorliegende Arbeit versucht, einen methodischen Beitrag zu einem optimierten Umgang mit Naturgefahren zu leisten, um mit den verfügbaren Mitteln ein Maximum an Sicherheit schaffen zu können.

1.3 Fragestellungen

In der vorliegenden Arbeit sollen Schwachstellen im bisherigen Umgang mit Naturgefahren aufgezeigt und durch methodische Verbesserungen behoben werden. Dabei stehen folgende Fragestellungen im Vordergrund:

- Wie hat sich die Problematik Naturgefahren in der Vergangenheit entwickelt? Welche Faktoren sind dafür ausschlaggebend? Welcher Trend ist daraus abzuleiten?
- Wie können im Einzelfall die durch Naturgefahren verursachten Schäden problemorientiert und prognostisch erfasst werden?
- Welchen soziopolitischen Stellenwert haben Naturgefahren heute? Besteht die Bereitschaft, Schäden durch Naturereignisse zu akzeptieren? Wenn ja, bis zu welchem Mass?
- Wie lässt sich die Sicherheit optimal verbessern, wenn in einer konkreten Situation die Bedrohung durch Naturgefahren unakzeptierbar hoch ist?

Ausgehend von der zeitlichen Entwicklung sind also drei Aspekte von Naturgefahren von besonderem Interesse: Erfassung, Beurteilung und Umgang.

1.4 Gliederung der Arbeit

Der in dieser Arbeit entwickelte Ansatz basiert weitgehend auf Ueberlegungen, die in der technischen Sicherheitswissenschaft entwickelt wurden. Ihre Entwicklung und der theoretische Hintergrund werden in Kapitel 2 dargestellt. Kapitel 3 zeigt das methodische Vorgehen bei ihrer Anwendung auf Naturgefahren. Kapitel 4 rekonstruiert die vergangene Entwicklung des Problems und entwirft Szenarien für die Zukunft. In Kapitel 5 wird die Risikoanalyse als Instrument zur Bestimmung der durch Naturgefahren zu erwartenden Schäden skizziert. Kapitel 6 befasst sich mit der Bewertung der Bedrohung durch direkt Betroffene und die Behörden. In Kapitel 7 wird schliesslich auf den Bereich der Umsetzung eingegangen. Kapitel 8 umfasst die Diskussion und die Schlussfolgerungen.

2. Entwicklung, Begriffe und Konzept der Sicherheitswissenschaft

Die Entwicklung der Sicherheitswissenschaft steht in engem Zusammenhang mit der Einführung neuer Technologien. Zuerst ging es primär um die Auslegung einzelner Komponenten; heute umfasst sie die Analyse, Bewertung und Handhabung von Risiken komplexer räumlicher Systeme (Abbildung 2.1).

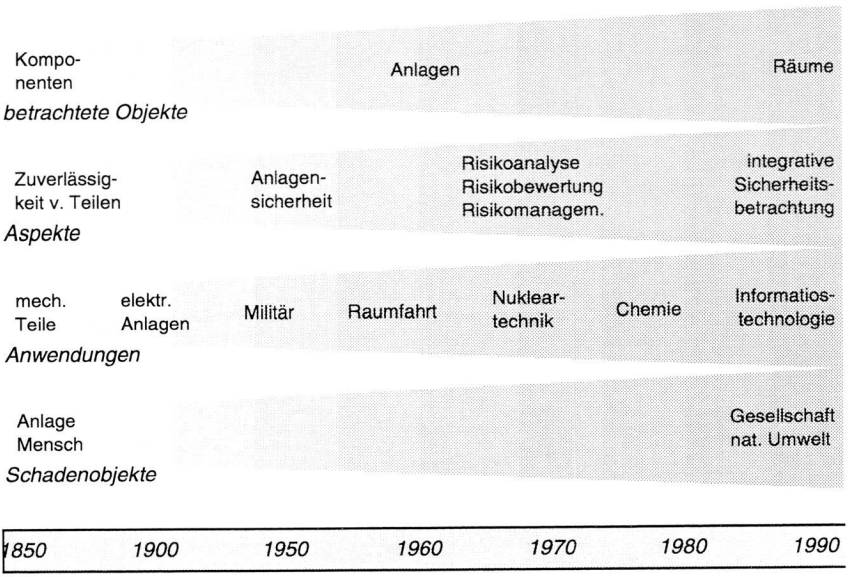


Abb. 2.1 Entwicklung der Sicherheitswissenschaft seit 1850. Sowohl die Anwendungen als auch die Sichtweise wurden laufend erweitert.

2.1 Historische Entwicklung der Sicherheitswissenschaft

Den ersten Anstoss zur institutionellen Beschäftigung mit Sicherheitsfragen gaben die seit dem 19. Jahrhundert in grossem Masse eingesetzten industrielle Anlagen. Besonders Dampfmaschinen verursachten immer wieder verheerende Explosionen (MINSSEN 1878). Der Staat griff deshalb regulierend ein und schuf Prüfprozedere und -stellen. Viele der heutigen technischen Ueberwachungsvereine (TUeV) in der BRD waren einst Dampfkessel-Revisionsvereine. Ziel dieser Institutionen war, durch Bemessungsvorgaben und Kontrollen die Betriebssicherheit einzelner Komponenten zu erhöhen.

Die chemische Industrie existiert ebenfalls seit rund 100 Jahren. Auch sie basiert auf vorher wenig bekannten Technologien und brachte damit neue Gefährdungen mit sich. Davon fanden aber nur mechanische und thermische Beanspruchungen grössere Beachtung (MEIER 1992). Der Gefährdung durch

chemische Substanzen wurde, obwohl bekannt, kein grosses Gewicht beigemessen. Lediglich nach Unfällen mit Personenschäden machten staatliche Organe jeweils gewisse Auflagen. Die Chemieindustrie gab in ihren Anfängen also keine wesentlichen Anstösse für die Sicherheitswissenschaft.

Wichtiger war der breite Einsatz elektrischer Energie seit dem 20. Jahrhundert. Analog zu den Dampfmaschinen entstanden früh private Standesorganisationen (vgl. SEV 1893), welche sich mit Sicherheitsfragen beschäftigen und die diese Funktion bis heute wahrnehmen.

Das Streben nach Sicherheit ist nicht erst mit der Industrialisierung entstanden. Die Menschen versuchten seit jeher, sich und ihre Güter vor schädlichen Einwirkungen zu schützen. Die genannten Anwendungen haben Pioniercharakter, weil es die ersten Bemühungen sind, Sicherheit durch eine entsprechende Auslegung von Systembestandteilen zu erreichen. Die Sicherheit wird zum Attribut der Komponente, sie ist nicht mehr eine externe Grösse.

Die ersten Sicherheitsüberlegungen sind nicht Teil einer integralen Betrachtung, sondern umsetzungsorientierte Ansätze auf der Stufe einzelner Komponenten. Interaktionen werden nicht berücksichtigt. Eine systemanalytische Suche nach Schwachstellen findet nicht statt.

Eine wesentliche Erweiterung des Blickwinkels erfolgte nach dem 2. Weltkrieg. Die Luft- und Raumfahrtprogramme der fünfziger Jahre bildeten den Auftakt dazu. Drei Probleme traten bei ihnen in bisher nicht bekannten Masse auf:

- Die Technologien sind sehr teuer;
- sie beinhalten ein grosses Gefahrenpotential;
- während des Betriebes kann nicht korrigierend ins System eingegriffen werden (Reparaturen sind unmöglich).

Dies erfordert neben verbesserten Komponenten auch die vorgängige Erfassung von Systemschwachstellen und Versagensursachen. Zuverlässigkeitskenngrössen für die eingesetzte Hard- und Software fehlten mehrheitlich, Ausfallsequenzen mussten durch Szenarienanalysen abgeschätzt werden. Prognostisches und systematisches Denken wurde notwendig.

Auf militärischem Gebiet versuchte man, durch Sicherheitsanalysen das Verhalten von Waffensystemen unter Feindeinwirkung zu simulieren (bzw. zu optimieren) und die möglichen Auswirkungen eines Atomkrieges abzuschätzen. Weil statistische Daten fehlten und Versuche nur begrenzt möglich waren, wurden viele Fragen in prognostischen Szenarien abgeklärt. Wichtige Anstösse in diesem Bereich lieferte die amerikanische RAND-Corporation (vgl. zum Beispiel BATTEN ET AL. 1960).

Mit der zivilen Nutzung der Atomenergie entstand seit den sechziger das Problem, die Sicherheit eines Systems garantieren zu müssen, ohne über statistische Daten zu verfügen. Klar war, dass das Gefahrenpotential von Kernreaktoren sehr kleine Unfallwahrscheinlichkeiten (0) voraussetzt. Dies kann nicht in Zeitreihen bestimmt werden. Gleichzeitig sind die Anlagen extrem komplex. Bei einer Szenarienanalyse mit Checklisten ist die Gefahr von Lücken unvertretbar gross. Viele Schwachstellen sind nur zu erkennen, wenn man das System als funktionales Gebilde aus Komponenten und Interaktionen analysiert. Die Basis dazu legte der Rasmussen-Bericht der Atomic Energy Commission

(AEC 1974). Er stellt einen eigentlichen Meilenstein der Sicherheitswissenschaft dar.

Sicherheitsüberlegungen in der Raumfahrt und der Nukleartechnik weisen gegenüber jenen in der «normalen» Industrie eine andere Qualität auf. Das Erkennen von Systemschwachstellen hat bei ihnen einen sehr hohen Stellenwert. Die formelle Risikoanalyse wird zu einem wesentlichen Bestandteil der modernen Sicherheitsbetrachtung.

Eine wichtige Erweiterung des Anwendungsgebietes ist die Studie zum Industrie- und Hafenkomplex Canvey-Island an der Themsemündung, wo sich viele chemische Produktions- und Umschlagsanlagen befinden. Anlässlich einer geplanten Erweiterung wurden 1978 die Stoffmengen und die daraus zu erwartenden Schäden ermittelt (HSE 1978). Die Angaben dienten als Grundlage für die behördliche Bewilligungspraxis. Canvey Island ist damit die erste umfassende Sicherheitsanalyse der chemischen Industrie.

Die Konzentration von Chemieindustrie und Umschlagseinrichtungen ist vielerorts bekannt und stellt keine neue Entwicklung dar (vgl. etwa die Entstehung der Basler Chemie vor gut 100 Jahren). Mit der Anlagenkomplexität und den Stoffumsätzen wächst aber auch das Gefahrenpotential solcher Industrieparks. Die Bevölkerung verlangte seit den achtziger Jahren nach Ereignissen wie Seveso oder Bhopal umfassende Risikoabklärungen. Die ersten derartigen Analysen wurden aber nicht durch die Betreiber getätigt, sondern durch öffentliche Stellen. Ein Grund dafür dürfte die Skepsis der Branche gegenüber den Ansätzen aus der Nukleartechnik sein. Obwohl dies methodisch nicht zu begründen ist, wurde immer wieder behauptet, die bestehende Verfahren seien für die Prozesstechnik ungeeignet. Für die Analyse von Chemierisiken entwickelte man deshalb neue Methoden, die heute einen anerkannten Standard darstellen.

Die falsche Einschätzungen der gesellschaftlichen Bewertung von Risiken war vermutlich ebenso ein Grund für die geringe Initiative wie methodische Bedenken. Während eines Jahrhunderts herrschte Wohlwollen gegenüber der chemischen Industrie. Der Schluss lag also nahe, dass ihre Risiken toleriert seien. Man berücksichtigte zu wenig, welch raschem zeitlichen Wandel diese Einschätzung unterliegt. Massiver politischer Druck durch die Bevölkerung und gesetzliche Regelungen (Störfallverordnung StFV, SR 814.012) zwangen die Branche plötzlich zu umfangreichen Programmen, die weit über bestehende Sicherheitsmassnahmen (wie Bildung von Betriebsfeuerwehren) hinausgingen (vgl. SENNI ET AL. 1991, ANDOW 1991).

In der Schweiz führte der Chemielagerbrand von Schweizerhalle (1986) zu intensiven Diskussionen über Risiken. Dabei standen nicht technische, sondern moralisch-ethische Aspekte im Zentrum (NOWOTNY 1992). Einen vergleichbaren Diskurs über die Legitimation gefährlicher Tätigkeiten hatte es vorher in der Schweiz nicht gegeben (im Gegensatz zum Beispiel zu den USA, vgl. TRUNK ET AL. 1983). Die rege Teilnahme der Bevölkerung markiert eine wichtige Entwicklung der integrativen Sicherheitsbetrachtung: der Umgang mit Gefahren erhält neben technisch-wissenschaftlichen Aspekten eine politische Dimension. Nicht ein Kreis von «Fachleuten» hat darüber zu befinden, was tolerierbar ist, sondern alle Betroffenen.

Die Bewertung von Risiken basiert auf den individuellen Wert- und Präferenzsystemen der Betroffenen. Ihre Mitwirkung bildet den dritten Teil einer integrativen Sicherheitsbetrachtung.

Parallel dazu erweitert man die Optik: Sicherheitsfragen beziehen sich nicht mehr nur auf eine Anlage als System, die menschliche und natürliche Umwelt wird ebenfalls betrachtet. Die Untersuchungsobjekte werden räumlich, zeitlich und thematisch immer grösser und schwieriger abzugrenzen. Psychosoziale Faktoren und Langzeiteffekte erhöhen die Zahl möglicher Wechselwirkungen enorm.

Auch die Anwendungsbereiche haben in den letzten Jahren zugenommen. Hingen die ersten Untersuchungen von Transportsystemen noch mit nuklearen oder chemischen Gefahrengütern zusammen, so werden heute alle grösseren Neuanlagen routinemässig überprüft. Aehnlich ist in der Schweiz die Praxis bei Objekten wie Munitions- und Sprengstoffdepots, Anlagen zur Lagerung wassergefährdender Stoffe oder Deponien für Reaktorstoffe und Sondermüll: sie werden mindestens bei der Erstellung, z.T. aber auch im Betrieb auf ihre Sicherheit hin geprüft.

Naturrisiken sind erst spät zum Gegenstand sicherheitswissenschaftlicher Betrachtungen geworden. Die Arbeit von PETAK und ATKISSON (1982) hat hier Pioniercharakter. Sie ist die erste Naturrisikoanalyse auf nationaler Ebene und zeigt, wie sich mit einfachen Annahmen und Modellen Informationen für eine Prioritätensetzung bestimmen lassen. Mit seinen operationellen Sicherheitsüberlegungen zu Naturgefahren stellt das Buch einen eigentlichen Meilenstein dar, wenn es auch auf methodische Fragen nur am Rand eingeht. Später sind noch weitere Arbeiten zu einzelnen gefährlichen Prozessen erschienen (zum Beispiel TIEDEMANN 1992), die aber meist nur die Risikoanalyse behandeln.

Die Informatik ist die jüngste grosse Anwendung von Sicherheitsbetrachtungen (vgl. NRC 1991). Computersysteme sind durch das rapide Wachstum und die zunehmende Vernetzung geradezu prädestiniert für katastrophales Versagen und mutwillige Zerstörungen. Die Technologie baut ferner auf völlig unterschiedlichen Komponenten (Menschen, Hard- und Software) auf, die unter verschiedensten Bedingungen zusammenwirken. Solche Kombinationen sind nicht mehr deterministisch handhabbar wie ein einzelner Dampfkessel. Seine Sicherheit muss durch andere Konzepte und Methoden gewährleistet sein. Die Denkweise der Risikoanalyse hat sich dabei gut bewährt.

Kommende Anwendungen der integrativen Sicherheitsbetrachtung sind bereits absehbar. Bio- und Gentechnologie stellen qualitativ neue Gefahrenquellen dar. Im Gegensatz zu den bisher genannten können sie sich selbst reproduzieren, bestehende Systeme verlassen, in andere eindringen und die Wechselwirkungen darin verändern. Sicherheit muss hier umfassender definiert als Leistungsfähigkeit von hochkomplexen Lebensgemeinschaften.

Auch auf gesellschaftlicher Ebene gewinnen Sicherheitsfragen an Bedeutung. Phänomene wie Massenarbeitslosigkeit und Migrationen stellen Risikoquellen dar, die nicht technisch kontrollierbar sind. Ob die Sicherheitswissenschaft geeignet ist, diesen «hidden hazards» (KASPERSON 1991) wirksam zu begegnen, ist fraglich. Ihre Ansätze haben sich aber als sehr flexibel erwiesen und dürften als Ergänzung soziologischer Methoden von Interesse sein.

Sicherheitsfragen betreffen heute nicht mehr nur Standesorganisationen. Wenn ein Untersuchungsobjekt auch nur mässig komplex ist, übersteigt es die Kapazitäten einer Einzelperson. Sicherheit wird zur Teamaufgabe, die nach bestimmten «Regeln der Kunst» zu lösen ist. Die Sicherheitswissenschaft stellt diese Regeln bereit. Dabei sind einerseits naturwissenschaftliche, technische, mathematische und wirtschaftliche, andererseits auch psychologische, soziologische, ethische und rechtliche Aspekte wichtig. Charakteristisch für die moderne Sicherheitswissenschaft sind interdisziplinäre Problemstellungen, ein enger Bezug zu den Grundlagenwissenschaften und die Ausrichtung des gesamten Denkens auf Teamarbeit. Integrativ bedeutet nicht eine Menge von Theorien oder Methoden, sondern das Zusammenführen verschiedener Denkweisen. Die drei Teile der Sicherheitswissenschaft, nämlich die Erfassung von Zuständen (Analyse), die Beurteilung ihrer sozialen Bedeutung (Bewertung) und ihre Optimierung (Umsetzung), bilden den Rahmen, in dem Methoden aus den Spezialdisziplinen angewandt werden. Einen Ueberblick über den Stand der Sicherheitswissenschaft und über Risikobeurteilung und -bewältigung in unserer Gesellschaft geben die Werke von FRITZSCHE (1986) und CUTTER (1993).

2.2 Begriffe

Nachstehend werden jene Begriffe der Sicherheitswissenschaft definiert, die in der Arbeit von Bedeutung sind. Einige davon werden in anderen Disziplinen mit z.T. völlig anderer Bedeutung verwendet. Es ist deshalb unvermeidbar, dass einzelne Differenzen zu anderen Arbeiten auftreten. Die hier verwendeten Definitionen stimmen im wesentlichen mit jenen überein, die im Rahmen des Polyprojekts «Risiko und Sicherheit technischer Systeme» an der ETHZ (PPRS 1993) verwendet wurden.

Risiko (risk): Qualitative oder quantitative Charakterisierung eines Schadens hinsichtlich der Möglichkeit des Eintreffens und der Tragweite der Schadenswirkungen (PPRS 1993).

Im Gegensatz zu dieser umfassenden Definition legen andere Vorschläge mehr Gewicht auf den Aspekt der mathematischen Berechnung. Im UNO-Glossar steht zum Beispiel folgendes: «Risk = Expected losses ... due to a particular hazard for a given area and reference period. Based on mathematical calculations, risk is the product of hazard and vulnerability» (DHA 1992).

Risikoanalyse (risk analysis): Systematisches, nachvollziehbares und formales Verfahren, um in einem abgegrenzten System Risiken hinsichtlich der Wahrscheinlichkeit ihres Eintreffens und des Ausmasses der Folgen zu charakterisieren und wenn möglich zu quantifizieren (PPRS 1993, mod.).

In der Kernreaktortechnologie werden zusätzlich verschiedene «Levels» von Risikoanalysen unterschieden. Level 1 behandelt als Folge den Super-GAU, d.h. also das Schmelzen des Reaktorkerns. Level 2 untersucht zusätzlich, welche Mengen und Zusammensetzung von radioaktiven Stoffen dadurch freigesetzt werden. Erst Level

3 ermittelt die daraus resultierenden Umweltschäden (Verstrahlung, Krankheiten). Diese Gliederung hat sich in anderen Anwendungsbereichen bisher nicht etabliert.

Risikoabschätzung (risk assessment): Methodik, um mögliche Auswirkungen eines Ereignisses oder einer Ereigniskette mit den Wahrscheinlichkeiten des Eintreffens dieser Auswirkungen quantitativ zu verknüpfen (PPRS 1993). Der Aspekt der Quantifizierung ist wichtiger als bei der Risikoanalyse, ohne die Beschränkung auf eine «Berechnung» zu übernehmen.

Risikobewertung (risk evaluation): Ordnet erkannte Gefahren oder Risiken in ein Wertsystem ein und vergleicht sie mit den von ihnen ausgehenden Nutzen. Sie liefert die Grundlage für den Entscheid über die Tolerierbarkeit. Eine allgemeingültige Definition existiert nicht. Im Rahmen des Polyprojekts wurde vorgeschlagen, Risikobewertung als «Verfahren, um die aus der Risikoanalyse gewonnenen Erkenntnisse mit Hilfe persönlicher oder kollektiver Kriterien auf ihre Akzeptabilität hin zu beurteilen» zu definieren (PPRS 1993). Dies impliziert eine Risikoanalyse und einen normativ Entscheid (vgl. Definition der Risikoakzeptabilität unten). Beides ist aber unwesentlich für das Zustandekommen einer Risikobewertung. Gemeinsam ist allen Definitionen, dass die Risikobewertung die Antwort auf die Frage «Was darf passieren?» liefert.

Risikoperzeption (risk perception): Vorgang der Wahrnehmung, d.h. des sinnlichen oder rationalen Erfassens einer Gefährdung und der daraus potentiell resultierenden Schädigungen.

Risikoakzeptanz (risk acceptance): Persönliche oder kollektive Bereitschaft, das subjektiv erkannte Risiko eines Zustandes oder Vorganges zu tolerieren.

Risikoakzeptabilität (risk acceptability): Urteil über die Tolerierbarkeit von Risiken aufgrund vorgegebener Kriterien.

Als Restrisiko wird das nach Massnahmen zur Risikoreduktion und positiver Akzeptanzentscheidung verbleibende Risiko bezeichnet. Von der Verwendung dieses Begriffes wird abgeraten, da unklar ist, ob es sich um einen empirischen (alle faktisch akzeptierten R.) oder um einen normativen Begriff (nach ethischen Kriterien akzeptables R.) handelt. Besser sind die Termini akzeptierte und akzeptable Risiken.

Risikomanagement (risk management): Methodik zur Gestaltung, Entwicklung und Steuerung von Systemen zur Risikoreduktion. Risikomanagement umfasst Strategien

und Massnahmen, die zu einem Entscheid über den Handlungsbedarf, zu Massnahmen und zu deren Implementation und Ueberwachung führen.

Die Definition ist bewusst offen, da Risikomanagement viele Aspekte umfasst. Eine Abgrenzung bezüglich Tätigkeiten, Ausmass, Verantwortlichkeiten, Ansätzen usw. würde a priori das Potential für Verbesserungen und die Akzeptanz reduzieren.

Schaden (damage): Negativ bewertete Folge eines Zustandes oder Vorganges. Ein Schaden kann die materielle Beeinträchtigung eines Wertes sein, aber auch eine reduzierte Nutzbarkeit.

Schadenpotential (damage potential): Gesamtheit aller aus einem bestimmten Gefährdungsbild möglicherweise resultierenden Schäden.

Wert (value): Grösse zur Quantifizierung von Schäden.

Wertobjekte (valuable object): Menschen, Sachgüter und Naturwerte, welche potentiell durch Gefährdungen geschädigt werden.

Widerstandsfähigkeit (resistance): Eigenschaft eines Objektes, Beanspruchungen ohne Schaden aufnehmen zu können.

Verletzlichkeit (vulnerability): Komplement zur Widerstandsfähigkeit.

Regenerationsfähigkeit (capability to regenerate): Eigenschaft eines Objektes oder Systems, nach dem Eintritt eines Schadens von selbst wieder in den unbeschädigten Zustand überzugehen.

2.3 Teilbereiche der Sicherheitswissenschaft

Die moderne Sicherheitswissenschaft zeigt bestehende Risiken auf, stellt ihre gesellschaftliche Bedeutung dar und optimiert Massnahmen zur Erhöhung der Sicherheit (Abbildung 2.2).

2.3.1 Risikoanalyse: Bestimmung der zu erwartenden Schäden

Gefährliche Prozesse wirken physikalisch, chemisch und biologisch auf Wertobjekte ein. Die daraus resultierenden Beanspruchungen führen bei genügender Verletzlichkeit zu Schäden. Diese Wirkungen können mit naturwissenschaftlichen, technischen und mathematischen Methoden und vollständig getrennt von Fragen der Bewertung und dem Management beschrieben werden.

Die Risikoanalyse liefert Informationen über für das Ausmass und die Wahrscheinlichkeit der zu erwartenden Schäden. Sie beantwortet die Frage «Was kann passieren?».

Risikoanalysen sind durch folgende Eigenschaften charakterisierbar:

- Sie beschreiben Systeme und deren Verhalten. An Stelle von einfachen Kausalitäten werden Ursachen und Wirkungen der Funktionen des Untersuchungsobjektes betrachtet;
- es handelt sich um naturwissenschaftlich-mathematische Methoden. Darin können subjektive Einschätzungen (zum Beispiel für einen Parameterwert) enthalten sein, nicht aber subjektive Wertungen (zum Beispiel betreffend Zulässigkeit eines Zustandes);
- das Resultat einer Risikoanalyse sind Aussagen über Wahrscheinlichkeiten oder Häufigkeiten (probability oder frequency) und Ausmasse oder Intensitäten (magnitude oder number). Die Verknüpfung erlaubt Aussagen über die Bedeutung einzelner Risiken unabhängig von Einzelereignissen.

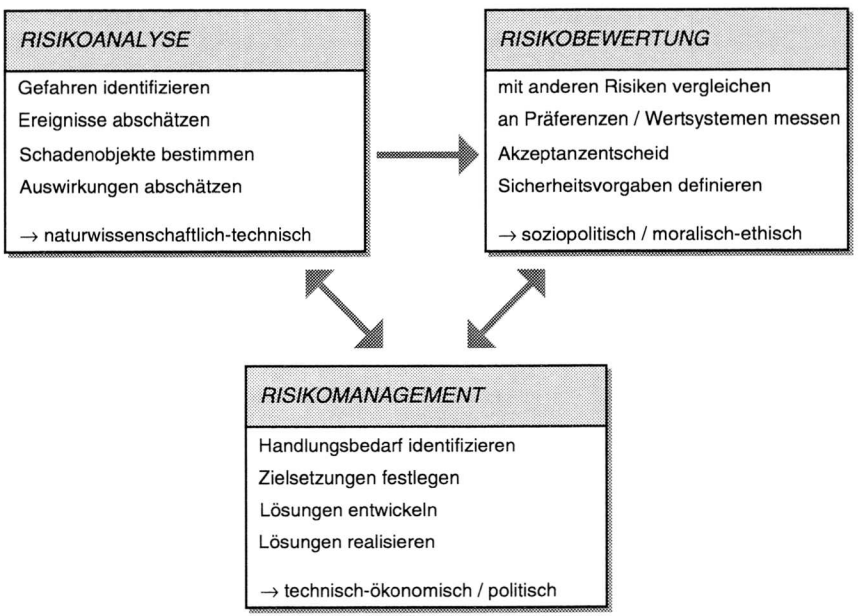


Abb. 2.2 Teilbereiche der Sicherheitswissenschaft: Zusammenhang von Risikoanalyse, -bewertung und management. Die Pfeile zeigen die Einflüsse der einzelnen Teile aufeinander.

Das Konzept der Risikoanalyse geht von folgenden Fragen aus:

- Sind bestimmte Bereiche des Untersuchungsobjektes aufgrund ihrer «normalen» Eigenschaften gefährlich?
- Kann sich das System gewollt oder ungewollt so entwickeln, dass zusätzliche Gefahren entstehen?
- Welche dieser Ursache-Wirkungsgefüge führen zu Schäden?
- Wie wahrscheinlich ist ihr Eintritt?
- Welche Wertobjekte werden davon betroffen?
- Wie wirken die Ereignisse auf die Wertobjekte?

Die strukturierte Fragestellung ermöglicht, verschiedene Risiken kohärent und einheitlich zu beschreiben. Die Resultate sind direkt operativ verwendbar: durch den Vergleich unterschiedlicher Gefahrenquellen können die einzelnen Beiträge zum Gesamtrisiko ermittelt und Prioritäten festgelegt werden.

Die Analyse ist der Bereich der Sicherheitswissenschaft, in dem die spezifische Methoden am weitesten entwickelt und differenziert sind. Sie wurden auf unterschiedlichste Aufgaben in praktisch allen Industrie- aber auch in vielen Entwicklungsländern angewandt, wo sie sich bestens bewährt haben. Die Bedeutung der Risikoanalyse ist in der Sicherheitswissenschaft unumstritten. Obwohl die Bereiche Bewertung und Umsetzung in den letzten Jahren an Bedeutung gewonnen haben, dürfte immer noch der grösste Teil der Entwicklungen im Bereich der Analyse anzusiedeln sein.

2.3.2 Risikobewertung: Beurteilung der Bedeutung von Risiken

Die Bewertung beurteilt die Bedeutung wahrgenommener Risiken anhand von Werten und Wertpräferenzen. Sie beantwortet die Frage «Was darf passieren?»

Für die Bewertung spielt es keine Rolle, ob die Risiken real oder fiktiv sind. Sie entscheidet nur über die Akzeptierbarkeit wahrgenommener Grössen.

Damit Risiken wahrgenommen werden, sind Informationen notwendig. Nur in Ausnahmefällen stammen sie aus einer Analyse, meist werden sie informell beschafft. Entscheidend für das Zustandekommen einer Bewertung ist lediglich, dass Informationen vorliegen, Herkunft, Verbreitungskanäle und Qualität sind sekundär. Dies zeigen zum Beispiel Untersuchungen über die Folgen des Reaktorunfalls in Three Mile Island (TRUNK ET AL. 1983).

Art, Umfang, Darstellung, Qualität und Inhalt der Information ändern aber die Grösse der Wahrnehmung. Verschiedene Untersuchungen (vgl. COVELLO ET AL. 1989, ARKIN 1989) zeigen, dass Informationen vom Zielpublikum gefiltert und verarbeitet werden, bevor sie die Wahrnehmung beeinflussen. Die Sicherheitswissenschaft löst die Risikobewertung nicht aus. Sie kann sie aber durch die Kommunikation beeinflussen.

Folgende konzeptionellen Fragen stehen bei der Risikobewertung im Vordergrund:

- Wie wird das Risiko eines Zustandes oder Vorganges (absolut und im Vergleich zum Nutzen) wahrgenommen und bewertet?
- Wie kann einfach abgeschätzt werden, ob bestimmte Risiken akzeptiert werden? Lassen sich daraus normative Sicherheitsziele ableiten?
- Wie stark kann die Risikobewertung beeinflusst werden und welche Mittel sind dazu am besten geeignet?

In einem geographischen Raum existieren mehrere Gefährdungen. Technische, natürliche, ökonomische, medizinische, demographische und soziopolitische Risiken werden durch verschiedene Stellen erfasst und bearbeitet. Bei der Bewertung sind dagegen die Akteure für alle Risiken identisch: die betroffenen Personen machen sich ein individuelles Urteil über die Tolerierbarkeit. Die Summe dieser Beurteilungen wird anschliessend aggregiert und in Form von strategischen und operativen Sicherheitszielen dargestellt. Operative Ziele sind in der Schweiz in Gesetzen und Normen festgelegt. Dabei sind folgende Grundlagen von besonderer Bedeutung:

- Eine Menge von «objektiv» messbaren Faktoren, mit denen die (subjektive) Risikowahrnehmung und -bewertung korreliert;
- die Abschätzung der Risikobewertung im Einzelfall als jenes Risikos, das von der Gesamtheit der Betroffenen gerade noch akzeptiert wird;
- die Bestimmung des Spielraumes der Entscheidungsgremien zur prospektiven Beeinflussung der Risikowahrnehmung bzw. -bewertung.

Im Gegensatz zu Analyse und Umsetzung beruht die Theorie der Risikobewertung nicht auf kausalen Modellen. Viele Zusammenhänge sind nur qualitativ bekannt und quantitative Relationen nur empirisch hergeleitet. Die Abschätzung des akzeptierten Risikos, erst recht aber die Bestimmung des Handlungsspielraumes basiert nicht auf Informationen über die Bewertung, sondern auf solchen über externe Steuergrössen. Dies hat vielleicht die Auseinandersetzung mit diesem Teilbereich im kontinentaleuropäischen Raum lange Zeit verzögert. In Nordamerika und Grossbritannien besteht eine längere Tradition der öffentlichen, institutionalisierten Diskussion über die Akzeptierbarkeit von Risiken (vgl. STARR 1969, GREEN ET AL. 1987). Bei der Bewertung von Risiken muss berücksichtigt werden, dass sich das vorliegende Material auf technische Probleme und den angelsächsischen Raum bezieht. In der vorliegenden Arbeit wird vorausgesetzt, dass sich diese Erkenntnisse auf die Schweiz und auf Naturereignisse übertragen lassen.

2.3.3 Risikomanagement: Umgang mit Risiken

Das Risikomanagement ist das Bindeglied zwischen den Resultaten der Analyse und den Vorgaben der Bewertung. Es bestimmt die Zielsetzungen, den Handlungsbedarf, die Strategien und Massnahmen.

Der Vergleich bestehender und akzeptierter Risiken führt zu einem der folgenden Resultate:

$R_{best.} < R_{akz.}$ Sicherheitsüberschuss [1]

$R_{best.} = R_{akz.}$ Sicherheitsgleichgewicht [2]

$R_{best.} > R_{akz.}$ Sicherheitsdefizit [3]

Die Aufgabe des Risikomanagements ist, die bestehenden Risiken auf ein akzeptiertes Mass zu bringen, d.h.

$R_{best.} \quad R_{akz.}$ [4]

und

$R_{best.} \quad R_{akz.}$ [5]

weil

$R_{best.} \ll R_{akz.}$ [6]

zu einem ineffizienten Ressourceneinsatz führt.

Sicherheitsüberschüsse sind kein Anlass für Handlungen im Rahmen des Risikomanagements. Es ist zwar möglich, durch reduzierte Aufwendungen für Sicherheit die bestehenden Risiken soweit ansteigen zu lassen, dass sie gerade noch gutgeheissen werden. In der Praxis ist aber eher anzunehmen ist, dass in diesem Fall die Akzeptanz abnimmt und der Ueberschuss damit verschwindet.

Sicherheitsgleichgewichte sind in der Realität häufig. Sie beruhen aber seltener auf Akzeptanzentscheiden als auf Informationslücken bezüglich der bestehenden Risiken. Wenn letztere explizit dargestellt werden oder wenn ein Schadenereignis eintritt (das isoliert nichts über das Risiko aussagt), so wird im Normalfall der Wunsch nach zusätzlicher Sicherheit folgen.

Sicherheitsdefizite sind also die häufigste Ausgangslage des Risikomanagements. Bestehende Risiken sind zu reduzieren oder die Akzeptanz bzw. Akzeptabilität ist zu erhöhen. Der zweite Ansatz bedingt die Veränderung von Wertsystemen, die nach individuellen und sozialen Präferenzen aufgebaut sind (vgl. zum Beispiel GREEN ET. AL. 1987). Diese Aenderung ist nicht wissenschaftlich-technisch planbar. Konzepte, die nur auf die Akzeptanz abzielen, sind in ihrer Wirkung schwierig abzuschätzen und nur beschränkt operationell anwendbar. Auch die Reduktion der bestehenden Risiken hat aber einen wesentlichen Einfluss auf die Risikobewertung. Der «Stil» wie eine Stelle mit Risiken umgeht, kann für die Akzeptanz wichtiger sein als ihr tatsächliches Ausmass (STARR 1987). Risikomanagement als Verhaltensweise kann bei den Betroffenen ein Gefühl genügender oder mangelnder Sicherheit geben, das unabhängig von der Realität ist. Diese Einschätzung wirkt wiederum auf das Verhalten der Betroffenen und kann so die bestehenden Risiken beeinflussen (siehe LOCHER 1992, S. 65).

Die Reduktion bestehender Risiken beeinflusst also sowohl die Analyse als auch die Bewertung. Sie erfolgt nach physikalisch-technischen Kriterien und wird deshalb am meisten (oft sogar ausschliesslich) angewendet. Folgende generelle Fragen stehen dabei im Vordergrund:

- In welchen Bereichen oder Gebieten sind die bestehenden Risiken so gross, dass Handlungen notwendig sind?
- Welche Strategien und Massnahmen sind am besten geeignet, um die Zielsetzungen zu erfüllen?
- Welche Ressourcen sind zur Realisierung der Strategien und Massnahmen notwendig? Welche organisatorischen Konsequenzen und welche Sekundäreffekte sind damit verbunden?

Risikomanagement ist eine administrative, technische und eventuell politische Aufgabe, welche Rahmenbedingungen aus all diesen Bereichen zu berücksichtigen hat. Im Gegensatz zur Analyse ist ein grosser Teil der Methoden beim Risikomanagement nicht sicherheitswissenschaftlicher Natur. Deshalb war das Interesse an der Umsetzung lange Zeit eher gering. Erst seit einigen Jahren haben Instrumente wie integrale Sicherheitspläne einen festen Platz im sicherheitswissenschaftlichen Gesamtkonzept.

2.4 Integration im Gesamtkonzept

Bis in die 70er Jahre wurden die Teilbereiche bei technischen Anwendungen fast vollständig voneinander getrennt: Anlagenbetreiber führten Risikoanalysen durch, die Legislative nahm die Bewertung vor und die Exekutive war dafür verantwortlich, dass die notwendigen Massnahmen realisiert wurden. Bei Naturereignissen als Gefahrenquelle ist diese Trennung bis heute weitgehend erhalten geblieben, naturwissenschaftliche Experten nehmen anstelle von Planungsingenieuren die Analyse vor.

Ein Nachteil der Trennung ist sofort klar: Die Verantwortlichen verfolgen bei der Erledigung ihrer Teilarbeit jeweils eigene Interessen. Der Betreiber versucht, seine Anlage möglichst sicher darzustellen, die betroffene Bevölkerung ist an restriktiven Sicherheitsvorgaben interessiert und eine Amtsstelle will möglichst einfache Abläufe erreichen. Normalerweise divergieren diese Motive und die Konsensbildung wird erheblich erschwert. Bei wichtigen Grundsatzfragen (Energieversorgung, Gentechnologie) entstehen so unüberbrückbare Differenzen. Das Ziel der Sicherheitsmaximierung kann unter diesen Umständen nicht erreicht werden und das Vertrauen in die übrigen Beteiligten wird gestört: Anlässlich einer Umfrage im Jahre 1991 glaubte zum Beispiel in Basel nur jede vierte Person an die Ehrlichkeit und Offenheit der Firma Ciba-Geigy (LOCHER 1992).

Die Trennung von Risikoanalyse, -bewertung und -management führt zu Schwierigkeiten bei der Sicherheitsmaximierung. Die Integration in ein Gesamtkonzept erlaubt, alle Aspekte der Sicherheit für die Beteiligten verständlich darzustellen und die Sicherheitsbemühungen zu koordinieren.

Methodisch bleibt die Gliederung in Analyse, Bewertung und Umsetzung sinnvoll (SILBERGELD 1991), sie stellt aber dann Teil eines übergeordneten Vorgehens dar, für welches ein Zielkonsens besteht. Zwischen den drei

Tätigkeiten findet ein kontinuierlicher, gegenseitiger Austausch (Kommunikation) statt, während bei getrennter Behandlung nur eine zeitweise, einseitige Information möglich ist. Alle Interessen sind in den Gesamtprozess eingebunden und alle Arbeiten können darauf abgestimmt werden. Insbesondere kann die Risikoanalyse auf die Bedürfnisse der Bewertung und Umsetzung ausgerichtet werden. Dies verbessert das Vertrauen der Betroffenen erheblich (MULVIHILL 1991).

Die Integration von Risikoanalyse, -bewertung und -management liegt also nahe. Bis heute ist sie aber nur ansatzweise erfolgt. Der Grund ist organisatorischer Natur: Sicherheit wird als Attribut von Einrichtungen mit klaren Zuständigkeiten behandelt. Verkehrs-, Arbeits-, Chemiesicherheit etc. werden unterschieden und getrennt voneinander behandelt. So kann bestehendes Wissen über die Gefahren optimal genutzt werden, weil Sicherheitsaspekte durch Leute behandelt werden, die im Fachgebiet tätig sind. Die Schaffung neuer Strukturen und die Lösung der damit verbundenen Probleme (zum Beispiel Kompetenzen, Ressourcen) ist nicht notwendig.

Andererseits ist es unmöglich, verschiedene Risiken zu vergleichen und eine Gesamtoptimierung vorzunehmen. Nicht einmal die gegenseitige Beeinflussung von Gefahrenquellen kann berücksichtigt werden. Je knapper die verfügbaren Ressourcen und je komplexer die Wechselwirkungen im System sind, desto wichtiger werden aber diese Faktoren.

Die Integration von Analyse, Bewertung und Management in ein Gesamtkonzept ging von den USA aus und ist im anglo-amerikanischen Raum am weitesten fortgeschritten. Es war jedoch eine Reihe von Störfällen (allen voran der Reaktorunfall von Three Mile Island) und nicht die Einsicht in die Vorteile dieses Ansatzes, die zu dieser Entwicklung geführt haben. Die Bedeutung des «Freedom of Information Act» darf dabei nicht unterschätzt werden: Er machte es unmöglich, den entstehenden öffentlichen Diskurs über Sicherheitsfragen zu unterdrücken. Das wirtschaftliche Ueberleben einer Branche bedingt, dass sie sich in diesem Diskurs legitimieren kann. Auch die Behörden haben in den USA sehr aktiv an diesem Prozess teilgenommen. Das Department of Energy oder die Environmental Protection Agency verstanden die Risikokommunikation und die Einbindung aller Beteiligten als zentrale Aufgaben im Sicherheitsbereich.

In der Schweiz fehlt bis Mitte der 80er Jahre eine vergleichbare Entwicklung. Die Sicherheitsdiskussion wurde von den Beteiligten unter ihrem eigenen Blickwinkel geführt. Besonders gut zeigt dies das Beispiel KKW Kaiseraugst. In langen, aufwendigen Auseinandersetzungen versuchte jede Seite, ihren Forderungen zum Durchbruch zu verhelfen. Der Kompromiss (Verzicht auf den Bau und Entschädigung der Betreiber) setzte zwar dem Konflikt ein Ende. Wenn man das Problem integral behandelt hätte, wäre das gleiche Resultat wohl früher und zu tieferen Kosten zu erzielen gewesen.

Schritte in Richtung Integration folgten in der Schweiz als Reaktion auf den Brand von Schweizerhalle 1986. In den Kantonen Basel-Stadt und Basel-Landschaft wurden nicht nur Untersuchungskommissionen und Kontrollstellen, sondern auch die sogenannten Risikokommissionen (Risko) gebildet. Jene von Basel-Stadt hat dabei explizit die Funktion einer «Ersatzöffentlichkeit» wahrzunehmen und den Kontakt zur realen Oeffentlichkeit zu pflegen. Ihr gehören auch Risikoanalyseexperten an, womit Fragen der Chemiesicherheit integral diskutiert werden können. Einer der wichtigsten Erfolge war laut ihrem

Präsidenten, dass «...[in der Risko] Vertrauen aufgebaut, ein gutes Gesprächsklima entwickelt und eine gemeinsame Sprache gefunden [werden konnte]...» (LOCHER 1992).

Am integrativsten ist die Sicherheitswissenschaft immer noch in den USA. Das «Office of Integrated Risk Management» im Department of Energy hat den Einbezug aller Interessen und die Verbindung aller Teilarbeiten institutionell sanktioniert. Das Selbstverständnis dieser Behörde kommt in den «Risk Principles» gut zum Ausdruck (IRM 1996). Sie stellen die wohl modernste Gesamtkonzeption dar, die zur Zeit existiert und sind hier auszugsweise wiedergegeben und kommentiert.

Einleitend enthält das Dokument einige «General Principles». Besonders interessant ist der folgende Aspekt (Numerierung gemäss Original):

1. These principles ... provide a general policy framework for evaluating and reducing risks, while recognizing that risk analysis is an evolving process ...

Es handelt sich also um ein umfassendes Rahmenkonzept, in dem nicht nur die Analyse, sondern auch die Bewertung und Reduktion von Risiken Platz finden. Die Gliederung in verschiedene Teilarbeiten wird aber klar beibehalten:

4. ...programs should establish and maintain a clear distinction between the identification, quantification, and characterization of risks, and the selection of methods or mechanisms for managing risks. Such a distinction, however, does not mean separation. Risk management decisions may induce changes in human behaviors that can alter risks ...

Die «Principles of Risk Assessment» umschreiben die Grundwerte, die Gegenstand einer Risikoanalyse sein sollen:

1. Departemental programs should ... assess risks to health, safety, and the environment.

Daneben enthalten sie Hinweise zu allgemeinen Aspekten der Analysetätigkeit, zum Beispiel zur Darstellung der Resultate und zur Qualitätssicherung. Konkreter sind die «Principles for Risk Management». Sie legen fest, nach welchen Kriterien Entscheidungen zu fällen sind und was an Strategien in Frage kommt:

1. In making risk management decisions ... programs should analyze ... risks and the benefits and costs ... associated with the selection or implementation of risk management strategies. Reasonably feasible risk management strategies including regulation, positive and negative economic incentives, and other ways to encourage behavioral changes to reduce risks (e.g., information dissemination), should be evaluated. ...

3. Departemental programs should develop criteria and methods to evaluate the effectiveness of risk management decisions.

Aufschlussreich ist, dass ein eigener Abschnitt über Risikokommunikation enthalten ist und diese nicht als untergeordnete Tätigkeit betrachtet wird. Die «Principles for Risk Communication» legen unter anderem folgendes fest:

1. Risk communication should involve the open, two-way exchange of information between professionals, including both policy makers and «experts» in relevant disciplines, and the public.

2. ... risk assessments and risk management decisions should be communicated... in a meaningful manner.

Risikoanalysen sollen die Grundlage für Prioritätensetzung liefern. Dazu steht in den «Principles for Priority Setting Using Risk Analysis»:

1. ... programs should seek to compare risks ...

2. Programs should set priorities in managing risks. ...

Die skizzierten Grundsätze einer integrativen Sicherheitsbetrachtung sind nicht auf eine bestimmte Aufgabenstellung beschränkt. Das Office of Integrated Risk Management ist zwar primär im technischen Bereich tätig, die Gültigkeit der Ueberlegungen für den Umgang mit Naturrisiken wird aber im Verlauf der vorliegenden Arbeit immer wieder klar.

Leer - Vide - Empty

3. Methodisches Konzept

3.1 Ziele

Mit der vorliegenden Arbeit werden folgende Zielsetzungen verfolgt:

- Erklärung der bisherigen Gesamtschadenentwicklung in der Schweiz: Mittels theoretischer Ueberlegungen und Daten aus der Literatur soll gezeigt werden, welche Faktoren für die Schäden aus Naturereignissen verantwortlich sind.
- Prognose für die mittelfristige Zukunft (50 bis 100 Jahre): Aufgrund einer Extrapolation der massgebenden Faktoren ist die Gesamtschadenentwicklung bis Mitte des 21. Jahrhunderts abzuschätzen, wenn sich keine Aenderungen im sonstigen Umfeld ergeben.
- Uebertragung sicherheitswissenschaftlicher Ansätze auf Naturgefahren: Die in Kapitel 2 skizzierten Konzepte sollen auf geogene gefährliche Prozesse ausgedehnt werden, soweit dies sinnvoll ist.
- Verfahrensvorschlag für eine Naturrisikoanalyse: Eine Methodik ist zu entwickeln, wie bestehende Risiken für alle gefährlichen Prozesse und Wertobjekte prognostisch quantifiziert werden können.
- Informationen zur Bewertung von Naturrisiken erarbeiten: Die soziopolitische Bedeutung von Naturrisiken ist soweit möglich abzuklären, um Grundlagen zur Abschätzung des Handlungsbedarfs zu erhalten.
- Schlüsselelemente des Naturrisikomanagements beschreiben: Die wichtigsten Punkte beim Umgang sind zu bestimmen und mögliche Verbesserungen darzustellen.

Soweit möglich ist eine integrative Betrachtungsweise anzuwenden. Aus den in Abschnitt 2.4 erwähnten Gründen werden aber Analyse, Bewertung und Management getrennt behandelt.

3.2 Vorgehen

Für die verschiedenen Bereiche der Arbeit müssen aufgrund der Zielsetzungen verschiedene methodische Ansätze gewählt werden. Eine geschlossene Behandlung ist nicht möglich.

3.2.1 Rekonstruktion der bisherigen und Prognose der künftigen Entwicklung

Bei der Herleitung eines Modells zur Rekonstruktion der Schadenentwicklung wird die Gültigkeit von vier Annahmen vorausgesetzt:

- Der Verlauf der Gesamtschäden spiegelt Variationen der beiden Aspekte des Risikos, Häufigkeit und Ausmass, wieder. Der bisherige Schadenverlauf entspricht in etwa der Entwicklung des bestehenden Risikos;
- die eingetretenen Schäden hängen einerseits von den gefährlichen Prozessen, andererseits von den Wertobjekten ab;
- die gefährlichen Prozesse variieren kurzfristig sehr stark. Dieses «Rauschen» ist zufällig und nicht kausal begründbar. Ein langfristiger Trend müsste dagegen durch geologische, geomorphologische oder klimatische Veränderungen erklärbar sein;
- bei den Wertobjekten (Art, Menge, Verteilung) ist das «Rauschen» wesentlich weniger ausgeprägt. Sie ändern mehr oder weniger stetig in Funktion der technologischen, demographischen und sozioökonomischen Entwicklung.

Für die Rekonstruktion der Gesamtschadenentwicklung wird folgende *Hypothese* zugrunde gelegt:

$$S = f(K, T, B, O, t) \qquad [7]$$

mit S = Schaden, K = Klimafaktor, T = Technologiefaktor, B = Bevölkerung, O = ökonomische Leistungsfähigkeit, t = Zeit.

Die Technologie ist relevant für die Schutzmassnahmen und die Wertobjekte. Gegen mechanische Einwirkungen sind schon um 1500 Technologien bekannt. Hier ist keine besondere Entwicklung zu erwarten. Besonders empfindliche Objekte (Mikroelektronik) treten erst am Ende der Betrachtungsperiode auf. Der Faktor Technologie wird deshalb aus dem Modellansatz herausgenommen, der sich vereinfacht zu

$$S = f(K, B, O, t) \qquad [8]$$

Die *Validierung* der Hypothese wird aufgrund folgender Datengrundlagen vorgenommen:

Schadenentwicklung S: Für Hochwasser hat RÖTHLISBERGER (1991) über 2200 Schadenereignisse aus der Zeit von 1500 bis 2000 aufgearbeitet. Speziell zu untersuchen ist, ob zwischen der Entwicklung der Todesopfer und jener der Sachschäden ein Unterschied besteht. Ein solcher wäre ein Hinweis auf Veränderungen im Umgang mit Naturgefahren: Wenn die Zahl der Toten sinkt bei steigenden Sachschäden, müssen mehr Ressourcen für den Schutz von Menschenleben verfügbar sein. Trotz der teilweise problematischen Art der Daten (mit steigenden Alter zunehmend lückig, «unwissenschaftlich», verändertes Umfeld) lassen sich daraus alle interessierenden Informationen ableiten. Vereinzelt mussten Daten zusätzlich aufbereitet werden. So wurde zum Beispiel die Zahl der Todesopfer aus den qualitativen Angaben der Chroniken durch eine Delphi-Analyse hergeleitet.

Klima K: Daten zur Klimaentwicklung seit 1500 gehen aus der Zeitreihe von PFISTER (1985) hervor (Anhang B). Damit kann die ordinale Grösse «Schadengünstigkeit» bestimmt werden aufgrund der Temperaturen und Niederschlagssummen. Hohe Schäden sind in Perioden mit Niederschlagsüberschüssen, langen und schneereichen Wintern mit rascher Erwärmung im Frühjahr und «ozeanischer» Prägung zu erwarten.

Bevölkerung B: Demographische Angaben vor 1800 sind abgeleitet aus Feuerstättenzählungen, Sterberegistern und Steuerrodeln oder Rückrechnungen und mit grossen Unsicherheiten verbunden (BICKEL 1947, MATTMÜLLER 1987). Erst ab 1885 sind die Zahlen mit heutigen Volkszählungen vergleichbar. Im Zusammenhang mit Naturgefahren ist die räumliche Verteilung der Bevölkerung ebenso wichtig wie der Gesamtwert. Die verwendeten Quellen lassen aber nur eine Unterscheidung in die Grossräume Alpen und Nichtalpen und Rückschlüsse auf die Siedlungsstruktur zu. Ein direkter Vergleich anhand einer Region ist nicht möglich. Die demographischen Daten sind also mit relativ grossen Unsicherheiten behaftet, obwohl sie als kardinale Grösse vorliegen.

Oekonomische Leistungsfähigkeit O: Sie lässt sich über lange Periode am besten anhand der Wirtschaftssektoren beschreiben. Je geringer der Anteil der Beschäftigten in der Urproduktion, desto grösser ist die Wertschöpfung der gesamten Volkswirtschaft. Eine erhebliche Steigerung der Pro-Kopf-Kennzahlen ist demnach erst zu erwarten, wenn die Industrie eine produktive Phase erreicht hat; in der Schweiz ist dies ab ca. 1850 der Fall (BERGIER 1983, CICUREL 1991). Erst ab dem 20. Jahrhundert liefert die nationale Buchhaltung absolute Zahlen.

Bei der Validierung wird wie folgt vorgegangen:

In Gleichung [8] bestimmt man die Abhängigkeit zwischen S und den Variablen K, B und O. Als erstes nimmt man je 2 Variablen als konstant an und untersucht die Korrelation zwischen S und der verbleibenden. Erst wenn dies keine plausiblen Resultate liefert, ist ein komplexerer Ansatz notwendig (Abschnitt 4.1).

Ergänzend wird untersucht, ob die langfristigen Resultate der Schadenentwicklung auch kurzfristig erkennbar sind. Dazu werden zwei verschiedene Methoden eingesetzt:

- Empirisch untersucht man, welche Entwicklung bei verantwortlichen Institutionen festgestellt wird. Dazu werden kantonale Forst- und Tiefbauämter und mehrere Elementarschadenversicherer mit einem Fragebogen (Anhang A) zur Einschätzung der vergangene und zukünftigen Entwicklung von Naturrisiken befragt. Die Antworten werden mit einem Chi-Quadrat-Test auf Unterschiede untersucht und qualitativ interpretiert (Abschnitt 4.2)
- Analytisch wird untersucht, ob sich in quantitativen Daten der letzten Jahre ein Trend feststellen lässt. Wenn ein solcher existiert, muss er mit der langfristigen Entwicklung im Einklang stehen (d.h. Unterschiede müssen erklärbar sein). Andernfalls ist eine Extrapolation in die Zukunft nicht zulässig, da sich die Entwicklung eventuell qualitativ geändert hat. Als Datenbasis dienen Angaben des Schweizerischen Elementarschadenpools, die einen grossen Teil der Schweiz abdecken und nach einheitlichen Kriterien erhoben werden (Abschnitt 4.3).

Wenn das dargestellte Modell (Gl. [8]) validiert ist, kann eine Zukunftsprognose mit geringem Aufwand erstellt werden. Man muss lediglich die Variablen auf die

kommenden 50 bis 100 Jahre abschätzen. Quantitative Daten liegen für die Bevölkerung vor (BFS 1993), für das Klima und ökonomische Leistungsfähigkeit fehlen sie. Für die Prognose der Gesamtschadenentwicklung kommen deshalb Szenarien zum Einsatz (Abschnitt 4.4).

3.2.2 Verfahrensvorschlag für Naturrisikoanalyse

Als *Hypothese* wird angenommen, dass der sicherheitswissenschaftliche Risikoanalysen auch auf Naturgefahren anwendbar sind.

Eine *Validierung* ist möglich, wenn es gelingt, ein auf sicherheitswissenschaftlichen Methoden basierendes Verfahren zur Analyse von Naturrisiken zu entwicklen. Dies umfasst folgende Schritte:

- Analyse der Besonderheiten von Naturgefahren, die zwingend berücksichtigt werden müssen.

  Die Sichtweise (Emission vs. Immission), die Eigenschaften der gefährlichen Prozesse (Entstehung, Ablauf) und die wesentlichen Wirkungen auf Wertobjekte sind wichtige Aspekte in diesem Zusammenhang (Abschnitt 5.1). Angaben dazu sind in der Literatur vorhanden (vgl. KÖNIG 1984 für geolog., KIENHOLZ 1995 für oberflächennahe Prozesse oder die Zusammenstellung bei NEMEC ET AL. 1993).

- Untersuchung des Vorgehens bei Risikoanalysen für andere Anwendungen.

  Mit von qualitativen Ueberlegungen ist zu untersuchen, ob die grundsätzliche Denkweise der Risikoanalyse (siehe zum Beispiel KRÖGER 1992, BEROGGI ET AL. 1993, IAEA 1992) auf Naturgefahren übertragbar ist und. welche Anpassungen vorzunehmen sind (Abschnitt 5.2).

- Beschreibung einzelner Methoden, die bei der Analyse technischer Risiken eingesetzt werden.

  Anhand einer solchen Beschreibung können ungeeignete Ansätze eventuell bereits ausgeschieden werden. Wenn das Prinzip einer Methode nicht plausibel an Beispielen aus dem Bereich Naturgefahren darstellbar ist, kann man diese Methode nicht sinnvoll übertragen. Die notwendigen Informationen dazu sind in der Literatur zu finden (Abschnitt 5.3).

- Darstellung von Hilfstechniken zur Lösung besonderer Probleme bei Naturrisiken.

  Probleme sind vor allem bei der Datengrundlage zu erwarten. Messwerte sind nur in Ausnahmefällen verfügbar, die Anwendung von Angaben aus anderen Gebieten nur bedingt möglich und viele Daten qualitativ oder subjektiv. Zur Verbesserung der Datenbasis ist eine Aufbereitung mit mathematischen und statistischen Techniken notwendig (Abschnitt 5.4).

- Untersuchen, ob mit den dargestellten Methoden und Hilfstechniken Naturrisiken analysiert werden können.

  Ein allgemein gültiges Mass für die «Eignung» existiert nicht. Die Tauglichkeit kann erst im Rahmen der routinemässigen praktischen Anwendung zweifelsfrei belegt werden. Aufgrund von theoretischen Anforderungen kann man aber für die sicherheitswissenschaftlichen Risikoanalysemethoden einen quantitativen Eignungsindex EI wie folgt berechnen:

$$EI = \sum_i x_i w_i \qquad [9]$$

wobei x_i= Grad der Erfüllung bezüglich Anforderung i (0 x 1), w_i= Gewichtung der Anforderung i. Dies ergibt jene Methoden, die für die Analyse von Naturrisiken am meisten Erfolg versprechen (Abschnitt 5.5).

Durch die Kombination der Methoden, die für bestimmte Teilarbeiten am besten geeignet sind, kann nun ein *optimales Verfahren zur Analyse von Naturrisiken* synthetisiert werden. Dieses Verfahren ist unabhängig von einer konkreten Problemstellung universell anwendbar. Es ist eines der Hauptresultate der vorliegenden Arbeit (Abschnitt 5.6).

Abgeschlossen ist die Validierung, wenn das vorgeschlagene Verfahren an einem *Fallbeispiel* in der Praxis erfolgreich eingesetzt werden kann und die geforderten Verbesserungen gegenüber traditionellen Ansätzen erbringt (Abschnitt 5.7).

Das Resultat dieses Vorgehens ist nicht eine direkt anwendbare «Risikoanalyse für Naturgefahren», sondern ein erster Prototyp dazu. Er muss in jedem Fall durch zusätzliche Beispiele getestet und weiter entwickelt werden (Abbildung 3.1).

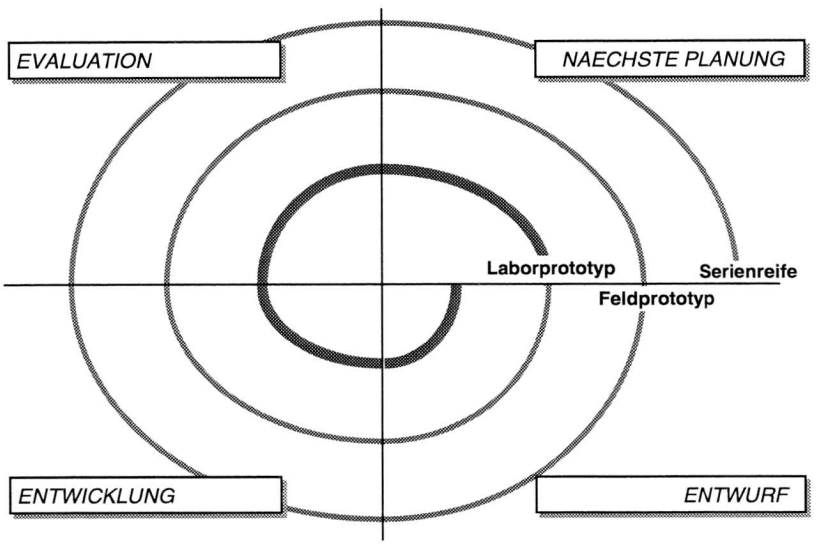


Abb. 3.1 Entwicklungszyklen einer Methodik. Im ersten Zyklus wird lediglich ein Laborprototyp erarbeitet, an dem die grundsätzlichen Möglichkeiten, Vor- und Nachteile untersucht werden können. Aufgrund der Evaluation kann jeweils die Planung der nächsten Stufe vorgenommen werden. Nach BOEHM (1988), modifiziert.

3.2.3 Soziopolitische Bedeutung von Naturrisiken

Die Bewertung von Risiken basiert auf Präferenz- und Wertsystemen. Aussagen über die individuelle und gesellschaftliche Wahrnehmung von Naturrisiken und deren politische Wertung kann man nur empirisch begründen (ROGERS 1985).

Zur Bestimmung der realen Bewertung müssen «im Feld» mit Fragebogen oder Interviews Daten erhoben werden. Für repräsentative Informationen sind breit abgestützte sozialwissenschaftliche Untersuchungen nötig. In der Schweiz fehlen solche Grundlagen bisher. Um mit Fakten operieren zu können, wären eigene Erhebungen notwendig; der damit verbundene Aufwand sprengt aber den Rahmen der vorliegenden Arbeit.

Stattdessen wird folgende *Hypothese* zugrunde gelegt: Die Bewertung von Naturrisiken kann aufgrund von indirekten Informationen über die gefährlichen Prozesse abgeschätzt und durch Beeinflussung der massgebenden Faktoren gesteuert werden.

Zur Prüfung der Hypothese sind folgende Schritte notwendig:

- Analyse der sicherheitswissenschaftlichen Literatur.

  Aus anderen Anwendungsgebieten liegt eine ganze Reihe von empirischen und theoretischen Erkenntnissen zur RisikoBewertung vor. Besonders interessant sind Arbeiten, welche die Faktoren untersuchen, die für die Risikowahrnehmung und die Festlegung von Akzeptanzwerten relevant sind (Abschnitt 6.1).

- Prüfung der Gültigkeit für Naturrisiken.

  Neben den bestehenden Risiken unterscheiden sich auch die Präferenzen und Wertsysteme bei der Beurteilung verschiedener Gefahren. Eine Theorie der Risikobewertung kann nur übertragen werden, wenn ihre Grundannahmen für Naturgefahren ebenfalls gültig sind.

- Abschätzung der Bewertung von Naturrisiken.

  Wenn die theoretische Basis gültig ist, kann man die Einflussfaktoren der Risikobewertung bei Naturgefahren untersuchen und eine Prognose über die soziopolitische Bedeutung machen (Abschnitt 6.2).

- Darstellung von Möglichkeiten zur gezielten Beeinflussung der Risikobewertung.

  Wenn mit dem Modell die Risikobewertung erklärt werden kann, ergeben sich mit dessen unabhängigen Variablen Ansatzpunkte für die Steuerung. Auf die Bedeutung der Risikokommunikation wurde bereits hingewiesen. Anhand von Empfehlungen wird gezeigt, wie die Risikobewertung theoretisch steuerbar ist (Abschnitt 6.3).

Im Gegensatz zur Risikoanalyse ist die Risikobewertung keine formelle Tätigkeit. Eine Validierung der skizzierten Empfehlungen ist nicht möglich, weil ihre Praktikabilität nicht an einem Fallbeispiel belegbar ist. Sie haben also höchstens den Charakter heuristischer Folgerungen.

3.2.4 Möglichkeiten des Risikomanagements bei Naturgefahren

Der materielle Umgang mit Naturgefahren in Form von Massnahmen ist durch bestehende Techniken und Verfahren geprägt. Zur Erhöhung der Sicherheit gibt es meist ein ganzes Spektrum an physischen Lösungen mit bestimmten wirtschaftlichen, politischen, rechtlichen und technischen Eigenschaften.

Die Ueberlegungen zum Umgang mit Naturgefahren gehen von folgender *Hypothese* aus: Beim Risikomanagement werden durch optimierte Entscheidungen jene Lösungen bestimmt, welche am besten für die Erhöhung der Sicherheit geeignet sind.

Eine direkte *Validierung* der Hypothese ist nur durch Untersuchungen in der Praxis möglich. Theoretisch kann nur gezeigt werden, wie man beim Risikomanagement vorgeht, um die Gesamtheit aller relevanten Anforderungen möglichst gut zu erfüllen.

Risikomanagement ist keine genau abgrenzbare Tätigkeit. Die Suche nach optimalen Lösungen ist der prozedurale Teil. Das Umfeld bei der Entscheidungsfindung und der Umsetzung der Lösungen ist stark von Strukturen und Institutionen abhängig. Diese organisatorischen Aspekte müssen ebenfalls berücksichtigt werden, wenn ein «ideales» Vorgehen beim Risikomanagement vorgeschlagen wird. Die vorliegende Arbeit untersucht deshalb folgende Teilbereiche des Umgangs mit Risiken (Abbildung 3.2):

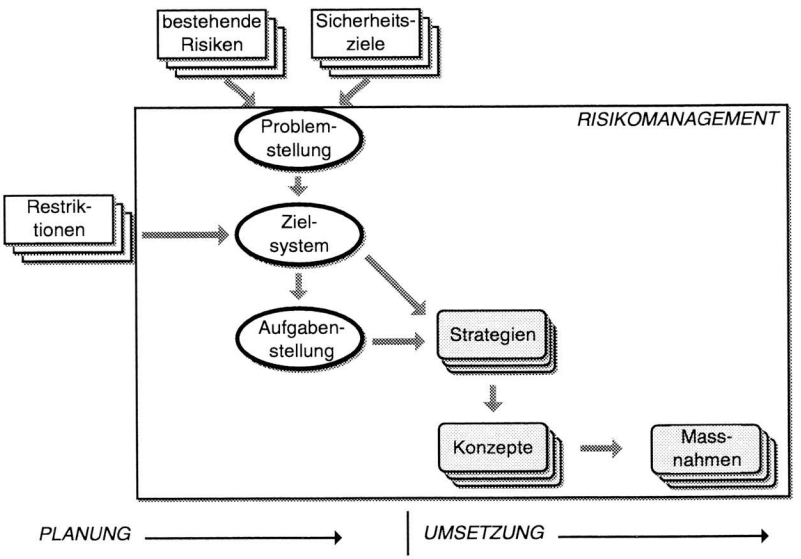


Abb. 3.2 Einflussbereich des Risikomanagements bei Naturgefahren: Bestehende Risiken, Sicherheitsziele und Restriktionen sind nicht beeinflussbar. Das Risikomanagement wirkt über Strategien, Konzepte und Massnahmen.

- Abgrenzung der Problemstellung.

  Sicherheitsdefizite sind der Ausgangspunkt für Handlungen im Rahmen des Risikomanagements (vgl. Abschnitt 2.3.3). Durch den Vergleich von Sicherheitszielen und bestehenden Risiken werden die Problemfelder bestimmt (Abschnitt 7.1).

- Definition von Rahmenbedingungen.

  Bei der Bestimmung möglicher Lösungen sind externe Restriktionen zu beachten, die weder mit dem Problem noch mit der Lösung kausal zusammenhängen, aber für die Zielsetzung massgebend sind (Abschnitt 7.2).

- Festlegen des Zielsystems.

  Als Massstab für die Qualität möglicher Lösungsvarianten muss eine hierarchisches Zielsystem definiert werden. Für die eigentliche Suche nach optimalen Lösungen ist zudem eine Operationalisierung nötig, damit die Zielerreichung messbar ist (Abschnitt 7.3).

- Definition der operationellen Aufgabenstellung.

  Aufgrund der Problemstellung und der Zielsetzung kann man die Leistungen bestimmen, die das Risikomanagement konkret erbringen soll.

- Evaluation möglicher Strategien und Entscheid.

  Die Vor- und Nachteile und die unerwünschten Folgen verschiedener Lösungsansätze sind zueinander in Beziehung zu setzen, um ihre Güte zu abschätzen zu können. Mit diesen Informationen kann in einem klar definierten Verfahren die optimale Lösung bestimmt werden.

- Umsetzung planen und realisieren.

  Das Risikomanagement erzielt erst Wirkungen, wenn Lösungen in Massnahmen (Abschnitt 7.5) umgesetzt werden. Das Risikomanagement zeigt, wie die Realisierung effizient und effektiv gestaltet wird. Die materielle Ausgestaltung ist hingegen Sache der jeweiligen Fachdisziplinen (Abschnitt 7.5).

- Empfehlungen für Verbesserungen entwickeln.

  Die mit der Entscheidungsfindung zusammenhängenden Aspekte des Risikomanagements sind nicht direkt von Zielsetzungen, vom Stand der Technik oder von der Gesetzgebung abhängig. Durch organisatorische Massnahmen und geeignete Instrumente bei der Umsetzung ergeben sich universell gültige Ansatzpunkte für Verbesserungen (Abschnitt 7.6).

4. Vergangene und zukünftige Entwicklung von Schäden durch Naturereignisse

4.1 Langfristige Entwicklung

Nach der aufgestellten Hypothese sollte die bisherige Schadenentwicklung aufgrund klimatischer und sozioökonomischer Variablen zu rekonstruieren sein. Daraus lässt sich die zukünftige Entwicklung prognostizieren.

4.1.1 Klimatische Variationen seit dem 16. Jahrhundert

Zwischen 1525 und 1860 können sieben Perioden mittlerer Dauer unterschieden werden (PFISTER 1985, vgl. Anhang B). Umgesetzt auf deren «Schadengünstigkeit» ergibt sich eine unregelmässige, häufig wechselnde Entwicklung des Klimas (Abbildung 4.1). Eine Periodizität oder eine gerichtete Entwicklung ist aber nicht zu erkennen.

Ein klarer klimatischer Trend bezüglich der «Schadengünstigkeit» ist aus den vorhandenen Daten nicht abzuleiten.

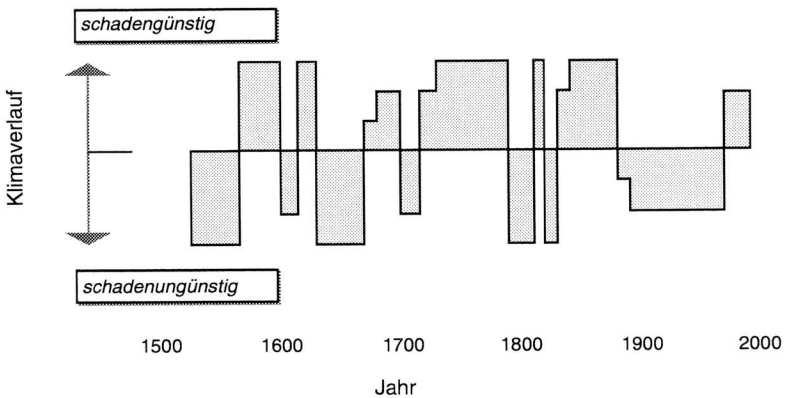


Abb. 4.1: Klimaentwicklung im Hinblick auf Hochwasserschäden ab 1525 (schematisiert). Ein klarer Trend fehlt. Schadengünstige Perioden sind jeweils eher in der zweiten Hälfte eines Jahrhunderts zu finden; daraus auf eine zyklische Veränderung zu schliessen, ist wegen der vielen und z.T. gegenläufigen klimatischen Einflüsse nicht vertretbar.

4.1.2 Bevölkerungsentwicklung in der Schweiz seit dem Mittelalter

Unterschieden nach «Alpen» und «Nichtalpen» ergibt sich die in Tabelle 4.1 dargestellte Entwicklung. Das hohe Wachstum seit ca. 1700 ist auf Veränderungen wirtschaftlicher Art (Industrialisierung) zurückzuführen. Auch der Wandel in der Siedlungsstruktur vollzog sich sehr rasch: 1798 gab es in der Schweiz nur 10 Orte mit über 5'000 Einwohnern. 1850 wohnten in den 8 Schweizer Städten

mit >10'000 Einwohnern total 150'000 Leute, 1910 waren es in den gleichen acht bereits 720'000. Ein grosser Teil des Wachstums entfällt also bis weit ins 20. Jhd. hinein auf die Stadtgebiete des Mittellandes, welche durch Wassergefahren weniger stark bedroht sind.

Jahr	*Alpen*	*Nichtalpen*	*Total*
1300			600'000
1400	150'000 - 200'000	450'000	600'000 - 650'000
1500	150'000 - 200'000	650'000 - 700'000	800'000 - 850'000
1600	200'000	800'000	1'000'000
1700	250'000	1'000'000	1'250'000
1800	350'000	1'350'000	1'700'000
1900	450'000	2'850'000	3'300'000

Tab. 4.1 Bevölkerungsentwicklung in der Schweiz seit 1300. Alpen: Kt. GR, VS, UR, N-TI, GL, S-BE; Nichtalpen: restliche Kantone. Zahlen im wesentlichen nach Bickel 1947

4.1.3 Einkommensentwicklung seit dem 19. Jahrhundert

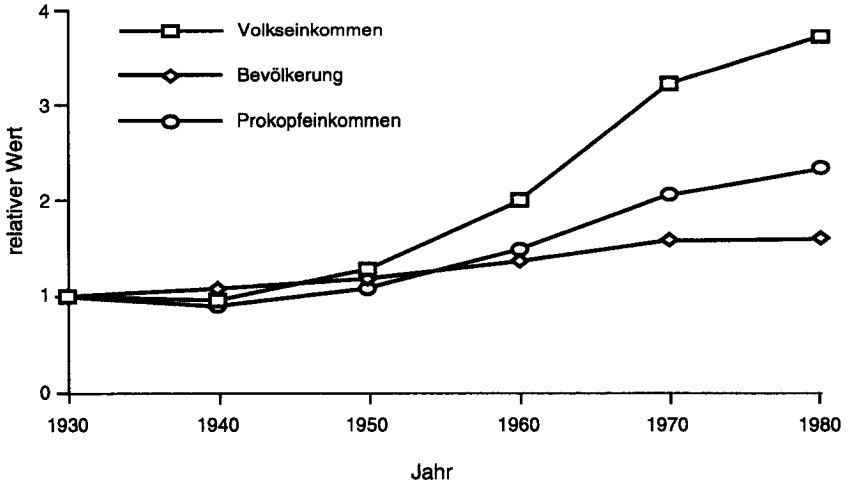


Abb. 4.2 Relative Entwicklung des inflationsbereinigten Volkseinkommens, der Bevölkerung und des Prokopfeinkommens (Basis: 1930=1)

Bis 1850 wird mangels direkter Daten ein konstantes Prokopfeinkommen angenommen. Nach BERGIER (1983) und CICUREL (1991) steigt es danach an durch die Verschiebung der Produktion vom ersten in den zweiten und dritten Wirtschaftssektor. Diese «frei» verfügbaren Mittel können sich hinsichtlich der Schadenentwicklung wie folgt auswirken:

- Zusätzliche Güterkategorien sind potentiell betroffen (schadenerhöhend);
- Ressourcen für Schutzmassnahmen sind vorhanden (schadenmindernd).

Eine quantitative Zeitreihe des Volkseinkommens kann bis 1930 erstellt werden (Abbildung 4.2). Daten aus älterer Zeit sind methodisch zu wenig vergleichbar und ergeben kein genügend zuverlässiges Bild für die vorliegende Aufgabenstellung.

Seit 1930 fand eine Verdoppelung der zur Verfügung stehenden Mittel statt. Ueberproportional ist die Abnahme des Anteils existentieller Aufwände. Während Mitte des letzten Jahrhunderts durchschnittlich 60% des Einkommens für Nahrungsmittel verwendet wurden, ging dieser Satz auf etwa 15 bis 20% im Jahre 1980 zurück (BFS 1991). Der Zuwachs an verfügbaren Mitteln wird primär in nicht lebensnotwendige Konsumgüter investiert.

4.1.4 Die Schadenentwicklung ab dem 15. Jhd.

RÖTHLISBERGER (1991) unterscheidet vier Klassen von Schadenereignissen:

- leicht bis mittelschwer: Schäden, welche geldwertmässig heute nicht den Betrag von 2 Mio Fr. erreichen würden;
- schwer: Schäden von 2 bis 20 Mio Fr., lokal eventuell als sehr schwer anzusehen;
- sehr schwer: Schäden zwischen 20 und 100 Mio Fr., lokal katastrophal wirkend, oft mit Toten;
- katastrophal: meist ein grosses Gebiet betreffende Schäden, welche über 100 Mio Fr. erreichen und mit Todesopfern verbunden sind.

Die Anzahl Ereignisse pro Jahrhundert in der Zeit von 1300 bis 1988 ist in Abbildung 4.3 dargestellt.

Die Zahl der «schweren» Ereignisse steigt stark an. Dieser Effekt wäre noch ausgeprägter bei den Klassen «leicht» und «mittelschwer». Die (naheliegende) Erklärung aufgrund der Quellenlage vermag aus folgenden Ueberlegungen allein nicht zu genügen:

- Ein «Gedächtniseffekt» wäre zumindest qualitativ auch bei den «sehr schweren» und «katastrophalen» Schäden zu erwarten, was aber nicht der Fall ist;
- in den Aufzeichnungen finden sich detaillierte Beschreibungen von kleineren Ereignissen; nicht nur Katastrophen weckten das Interesse der Chronisten;
- bei wachsendem Bestand an Wertobjekten (siehe oben) ist ein Anstieg der Schäden zu erwarten.

Die Anzahl der Schadenereignisse ist im Verlauf der letzten 500 Jahre gestiegen. Ein Anstieg der Schadensumme ist damit wahrscheinlich.

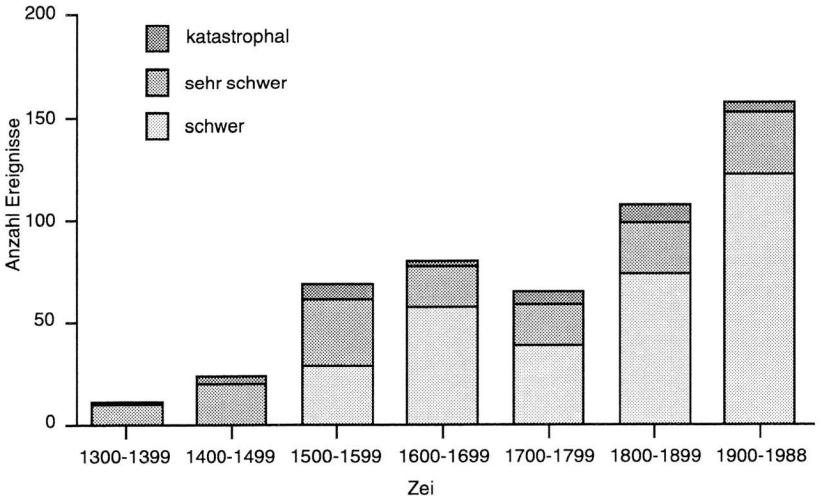


Abb. 4.3 Langfristige Entwicklung der Anzahl Schadenereignisse. Schwer entspricht einem Gegenwartswert von 2 bis 20 Mio Fr., sehr schwer von 20 bis 100 Mio Fr., katastrophal von > 100 Mio Fr. (Quelle: RÖTHLISBERGER 1991).

4.1.5 Ursache der Schadenentwicklung

RÖTHLISBERGER (1991) führt den Anstieg der Anzahl Schadenereignisse auf klimatische und meteorologischen Variationen zurück. Es liegt auf der Hand, dass diese einen starken Einfluss auf die Prozesse ausüben. Trotzdem scheint es angebracht, auch andere Parameter zu betrachten. Eine monokausale Erklärung durch das Klima würde folgendes implizieren:

- Ein langfristiger Trend in der Entwicklung der Schäden hat eine entsprechende Entwicklung der klimatischen Verhältnisse als Ursache;
- unter gleichen Verhältnissen klimatischer Art resultieren gleiche Schadenbilder bezüglich Charakter der Ereignisse sowie Ausmass und Art der Schäden;
- der Anteil der verschiedenen Wertobjektkategorien (Personen- und Sachschäden) ist zeitinvariant.

Ein klarer Trend in der Klimaentwicklung ist nicht ersichtlich (Abbildung 4.1). Schwierig ist, eine Aussage über die qualitativen Schadenbilder in Bezug auf die klimatischen Verhältnisse zu machen. Aufgrund der vielen Einflussfaktoren ist die Definition «gleicher Verhältnisse» problematisch. Zudem liegen über die Schadenbilder meist nur spärliche Informationen vor. Die Gültigkeit dieses Argumentes kann deshalb nicht geprüft werden.

Das dritte Argument trifft dagegen nicht zu. Dies zeigt eine Analyse all jener Ereignisse, bei denen explizit von Todesopfern berichtet wird. Semiquantitative Begriffe (einige, etliche, viele) wurden dazu mit einem delphiähnlichen Verfahren (vgl. Abschnitt 5.4) quantifiziert. Die abgeleitete Entwicklung ist in Abbildung 4.4 graphisch dargestellt.

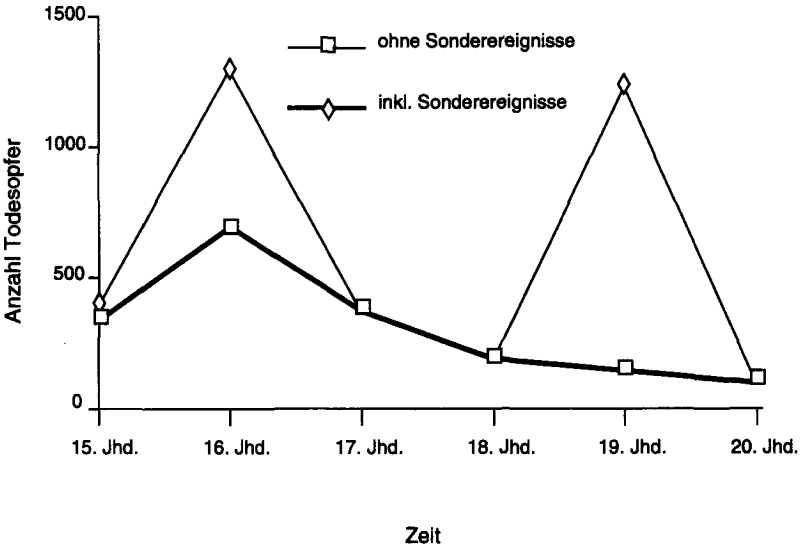


Abb. 4.4: Entwicklung der Anzahl durch Unwetterereignisse umgekommener Personen. Als Sonderereignisse gelten zum Beispiel Ufereinbrüche an Seen, Durchbruch des Sees bei der Büzza di Biasca, Bergstürze Goldau und Elm.

Wenn man berücksichtigt, dass die Zahlen früher eher zu tief liegen (unvollständige Erfassung v. Einzelopfern, Problem der Vermissten) und sich in neuerer Zeit dem wahren Wert nähern, ist eine klare Abnahme der Todesopfer bei steigender Anzahl Schadenereignisse (Abbildung 4.3) festzustellen. Die Exposition und Empfindlichkeit von Wertobjekten müssen stärker als die klimatischen Bedingungen geändert haben. Die Schadenentwicklung sollte näherungsweise durch die Bevölkerung und das Volkseinkommen zu beschreiben sein.

Bis um 1850 ergibt das Modell mit einem linearen Ansatz eine zur Bevölkerung proportionale Schadenentwicklung. Wie sich die Aenderung der wirtschaftlichen Bedingungen seit dieser Zeit bemerkbar macht, lässt sich nicht generell sagen, da neue Mittel verschieden verwendet werden können: zu Schutzzwecken oder zur Vergrösserung der Menge potentieller Wertobjekte.

Dass eine Aenderung eingetreten ist, kann man aus der Anzahl Ereignisse ableiten. Für das 18., 19. und 20. Jahrhundert verhalten sich die Zahlen der leichten bis mittelschweren Ereignisse wie 1:4:16 (RÖTHLISBERGER 1991). Selbst wenn man für früher eine lückenhafte Aufzeichnung unterstellt, kann dieses Wachstum nur durch die grössere Exposition von Sachwerten erklärt werden. Dass die Zahl der Umgekommenen gleichzeitig abnimmt, hat verschiedene Gründe:

- Die wissenschaftlich-technische Entwicklung stellt Methoden und Mittel zur Verfügung, die das Vermeiden von Opfern und eine bessere Rettung von Menschenleben ermöglichen (Vorhersage, Warnung, bessere Kommunikation, Heli).

- Mit steigendem Prokopfeinkommen bzw. -vermögen wird der Wert eines Menschenlebens höher eingeschätzt und dementsprechend mehr für seinen Schutz aufgewendet.
- Gerade beim Schutz von Menschen tragen die getroffenen Massnahmen Früchte.
- Wenn die Schäden zunehmend versichert sind, lohnt sich der gefährliche «Kampf mit den Elementen» nicht mehr; man flüchtet oder bleibt passiv.

Im folgenden wird der Einfluss der beiden Grössen Bevölkerung und Volkseinkommen auf die Entwicklung der Schäden untersucht.

Ein Anhaltspunkt für den Zusammenhang zwischen der Bevölkerung und der Anzahl Schadenereignisse ergibt sich aus der relativen Entwicklung der beiden Grössen (Abbildung 4.5). Abgesehen von der Zeit 1500-1699 stimmen beide Kurven gut überein. Die Abweichungen können durch die auch über lange Zeiten nicht konstanten Ereignishäufigkeiten erklärt werden. Stellt man die gleiche Ueberlegung hingegen nur für die Periode ab 1500 an, so wächst die Bevölkerung schneller als die Anzahl Schadenereignisse. Offenbar kann die Gesamtbevölkerung die Schadenentwicklung für diesen Zeitraum nur begrenzt erklären. Dabei ist zu bedenken, dass die Bevölkerung in den weniger gefährdeten Zonen des Mittellandes rascher anwächst als im Alpenraum (vgl. Tabelle 4.1). Neben der Gesamtbevölkerung ist auch die geographische Verteilung in Betracht zu ziehen.

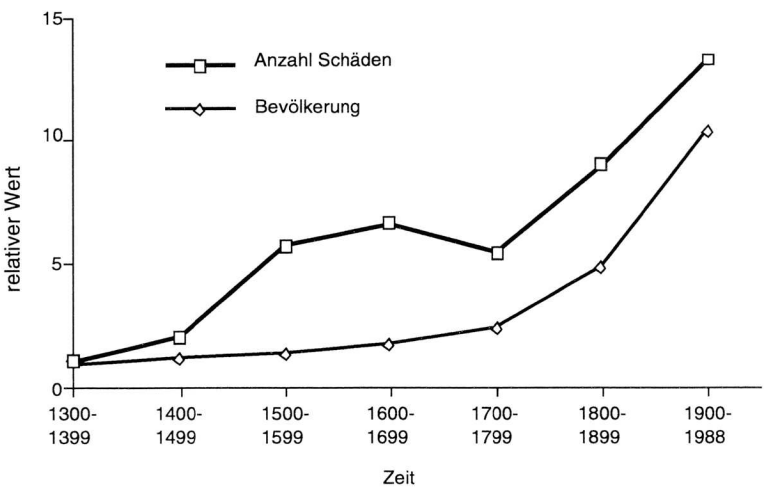


Abb. 4.5 Relative Entwicklung der Anzahl Schadenereignisse und der Bevölkerung seit dem 14. Jahrhundert, gegliedert nach Jahrhundertwerten.

Die Zahl der Schadenereignisse verläuft näherungsweise proportional zur Bevölkerungsentwicklung.

Für den Zusammenhang zwischen dem Vermögen und der Anzahl Schadenereignisse müssen die Schäden nach den Wertobjekten getrennt betrachtet werden. Die zu erwartende negative Korrelation zwischen dem

Prokopfvermögen und der Anzahl und Schwere von Personenschäden kann historisch belegt werden (Abbildung 4.4) und ist bei Grossschäden heute auch räumlich feststellbar (RÜCK 1992).

Anders verhalten sich die Sachschäden. Obwohl es schwierig ist, quantitative Aussagen über Exposition und Empfindlichkeit von Objekten zu machen, können aus der technischen Entwicklung und Verbreitung bestimmter Produkte gewisse Schlüsse gezogen werden. Die Menge hochempfindlicher Geräte (zum Beispiel Computer, Unterhaltungselektronik) und teurer Güter ist positiv korreliert mit dem Vermögen. Mit einiger Sicherheit kann man deshalb annehmen, dass die Sachschäden anzahlmässig im Verlauf der Zeit gestiegen sind.

Sehr schwere und katastrophale Ereignisse haben regionalen Charakter. Seit Mitte des 19. Jahrhunderts wurden im Flussbau grosse Anstrengungen unternommen, um die Zahl dieser Wasserkatastrophen zu reduzieren. Damit gekoppelt ist meist eine Kontrolle aller Ereignisse unter einer Bemessungsgrösse, was zu einer drastischen Abnahme der leichten und mittelschweren Schäden führen müsste. Gerade in diesen Kategorien ist aber der Anstieg am markantesten. Früher war nur in grossen Gebieten eine hohe Summe an Sachwerten vorhanden, heute ist dies bereits punktuell der Fall. Auch ein «kleines» Ereignis führt so rasch zu massiven Schäden.

Schliesslich ist noch zu erklären, weshalb die Anzahl sehr schwerer und katastrophaler Schäden im Verlaufe der Jahrhunderte nur geringfügig ändert. Aus den Daten lässt sich keine zeitliche Entwicklung erkennen, die Stärke eines möglichen Trends ist kleiner als das vorhandene «Rauschen». Hier sind zwei gegenläufige Effekte im Spiel. Einerseits ist aufgrund der wachsenden Bevölkerung der zunehmenden Sachwerte ein Anstieg zu erwarten. Andererseits wurden umfangreiche Schutzmassnahmen (Flussbau) realisiert, was zu einer Abnahme führen müsste. Dass weder das eine noch das andere zutrifft, kann drei Ursachen haben:

- Die getroffenen Massnahmen sind nicht wirksam. Die Schadenanzahl wird durch sie nicht beeinflusst; der Anstieg der Schäden kann aufgrund der Quellenlage nicht rekonstruiert werden;
- der Bestand an Wertobjekten ist derart gestiegen, dass durch Massnahmen nur eine Kompensation (Vermeidung grösserer Schäden) erreicht wurde;
- die hohen Schadenstärken sind das Resultat von Ereignissen, die mit gängigen Sicherheitsvorgaben nicht vermeidbar sind; sie sind Teil des akzeptierten Risikos.

Die erste Erklärung trifft nicht zu. Dies zeigen unter anderem die an der Reuss nach 1987 gemachten Untersuchungen (NAEF ET AL. 1989). Würde sie zutreffen, wäre zudem eine Verschiebung von schweren zu sehr schweren Schäden und damit eine steigende Anzahl zu erwarten; dies ist nicht der Fall.

Ein Grund für die Grossschäden sind Extremereignisse. Aber auch die Akkumulation von riesigen Schadenpotentialen ist sehr wichtig für diese «Konstanz der Katastrophen». Letzteres zeigt der Vergleich von Schäden und Wasserbauaufwendungen (Abbildung 4.6). Eine untere Schadenschwelle kann auch bei dauernden Investitionen in Schutzbauten nicht unterschritten werden. Ein wesentlicher Teil dieser Schäden ist nicht auf extreme Ereignisse zurückzuführen, sondern auf hohe betroffene Werte.

Die Schadenentwicklung kann durch die Einkommenssituation und das Bevölkerungswachstum rekonstruiert werden. Trotz des technischen Fortschritts und umfangreicher eingesetzter Ressourcen ist es unmöglich, Sachschäden durch Naturereignisse beliebig zu reduzieren.

Der Schutz von Menschenleben konnte zwar durch die bisherigen Massnahmen substantiell verbessert werden, bei Sachwerten sind aber rein technische Ansätze offenbar ungeeignet zur Lösung des Problems Naturgefahren.

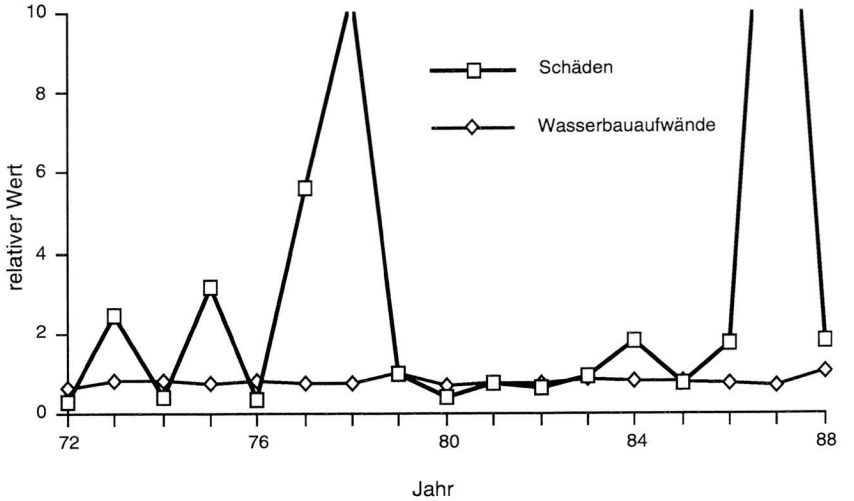


Abb. 4.6 Wasserbauaufwendungen und Hochwasserschäden in der Periode 1972 bis 1988. Die Indexierung erfolgt mit dem Baukostenindex der Kantone BE, ZH (doppelt gewichtet) und LU (einfach gewichtet). Basis: 1979=1.

4.2 Einschätzung der künftigen Entwicklung durch betroffene Institutionen

Die in Zukunft zu erwartende Zunahme der Schäden wird in der Praxis unterschiedlich wahrgenommen. Je traditionsreicher und massnahmenorientierter die Beschäftigung mit Naturgefahren ist, desto eher wird von gleichbleibenden Verhältnissen ausgegangen.

4.2.1 Bemerkungen zur Umfrage und zur Auswertung

Insgesamt wurden im Rahmen einer Umfrage 78 Fragebogen verschickt (je 26 an Forstämter und Tiefbauämter, der Rest an Versicherungen und eine geologische Fachstelle). Rückantworten trafen 56 ein (72%). Trotz unterschiedlicher Quote in den einzelnen Kategorien (Forst, Tiefbau, Versicherungen) kann man davon ausgehen, dass die Antworten überall ein repräsentatives Bild geben. Statistisch geprüft wurde diese Repräsentativität jedoch nicht.

Die Antworten wurden in Kreuztabellen ausgewertet. Für eine Prüfung auf Häufigkeitsunterschiede (mittels Chiquadrat-Test) genügte die Anzahl Nennungen pro Feld teilweise nicht, weshalb ähnliche Antwortkategorien zusammengefasst werden mussten (Reduktion der Anzahl Zeilen und Spalten). Eine quantitative Codierung der Antworten erlaubt die Berechnung von Mittelwert und Streuung. Da es sich bei den ursprünglichen Angaben um ordinal skalierte Grössen handelt, kann nach einer Rücktransformation nur eine ordinale, d.h. qualitative Aussage gemacht werden.

Die quantitative Auswertung liefert zwei Informationen. Einerseits kann daraus geschlossen werden, wie eine bestimmte Gruppe oder die Gesamtheit eine Frage einschätzt (Mittelwert) und wie einheitlich die Beurteilung ausfällt (Varianz). Andererseits kann mit dem Chi-Quadrat-Test untersucht werden, ob sich das Antwortverhalten verschiedener Gruppen unterscheidet.

Probleme ergeben sich vor allem durch die geringe Anzahl Antworten pro Gruppe (meist 10 bis 20). Jede Antwort erhält ein grosses Gewicht, was bei nicht sehr trennscharfen Vorgaben («gross» vs. «sehr gross») die Aussagekraft des Mittelwerts relativiert. Zudem stammen die Antworten von sehr heterogenen Institutionen bezüglich Organisation, Tätigkeitsfeld (thematisch und geographisch) und Grösse. Grundsätzlich müsste man untersuchen, ob diese Faktoren einen Einfluss auf das Antwortverhalten haben. Diese Prüfung ist aber aufgrund der Datenmenge nicht durchführbar.

4.2.2 Entwicklung in den letzten 20 Jahren

Die Antworten werden aufgrund von vier Kriterien untersucht: nach Institutionen (Forst-, Tiefbauämter, Versicherung), nach der Region (Alpen, Voralpen, Mittelland, Jura), nach Art der Tätigkeit (Forschung, Planung etc.) und nach der aufwandmässigen Bedeutung der Naturrisiken für die Befragten (Hauptaufgabe, Teilbereich, Nebenaufgabe, untergeordnet).

In allen Fällen ist die Mehrheit (im Schnitt fast 80%) der Antwortenden der Meinung, dass die Bedeutung von Naturrisiken in den letzten 20 Jahren zugenommen hat. Die Einschätzung hängt nicht von der Art der Institutionen oder der geographischen Region ab; ebensowenig ist die Art der Beschäftigung entscheidend. Dagegen kommt es offensichtlich darauf an, welchen Stellenwert der Bereich Naturrisiken in der Arbeit der Befragten einnimmt: je grösser der relative Aufwand für diese Thematik ist, desto eher kommt man zur Einschätzung, dass ihre Bedeutung in den letzten 20 Jahren zugenommen habe.

4.2.3 Erwartete zukünftige Entwicklung

Als zusätzliches Unterscheidungskriterium neben Institution, Region, Art der Beschäftigung und Stellenwert der Thematik wurde auch die Einschätzung der vergangenen 20 Jahre als unabhängige Variable betrachtet.

Für die Zukunft wird mehrheitlich mit steigender Bedeutung der Thematik Naturrisiken gerechnet. Allerdings ist der Anteil an gegenteiligen Antworten (d.h. gleichbleibende oder abnehmende Bedeutung) um rund die Hälfte höher als bei der gleichen Frage über die Vergangenheit, und nicht mehr in allen Gruppen ist eine Mehrheit dieser Meinung. Die Einschätzung unterscheidet sich nicht

zwischen den verschiedenen Institutionen und Regionen, sie hängt auch nicht von der Art der Beschäftigung mit Naturrisiken ab.

Im Gegensatz zur Frage nach der vergangenen Entwicklung spielt für die Einschätzung der Zukunft keine Rolle, in welchem Masse sich die Befragten mit Naturrisiken auseinanderzusetzen haben. Einen entscheidenden Einfluss für die Beantwortung dieser Frage hat dagegen, wie die vergangene Entwicklung wahrgenommen wurde: Gruppen, die hier einen Anstieg verzeichneten, schätzen die künftige Entwicklung pessimistischer ein als der Rest.

4.2.4 Bedeutung von Naturrisiken im Vergleich zu anderen Risiken

Es wurde untersucht, wie diese Variable von der Institution, der Region und der Einschätzung der vergangenen Entwicklung abhängt.

Alle Institutionen schätzen die Bedeutung von Naturrisiken als geringer oder höchstens gleich gross ein im Vergleich zu anderen, zum Beispiel technischen Risiken. Dies hängt auch nicht davon ab, wie die Entwicklung in den letzten 20 Jahren wahrgenommen wurde.

In den Alpen sind Naturrisiken für die Befragten von grösserer bis vergleichbarer, im Mittelland und Jura von eher vernachlässigbarer bis geringerer Bedeutung als andere Risiken. Das Gebiet der Voralpen widerspiegelt in etwa das Antwortverhalten der Grundgesamtheit.

4.2.5 Relative Bedeutung einzelner gefährlicher Prozesse

In Abhängigkeit von Institution und Region wurde geprüft, ob die Antwortenden damit rechnen, dass sich unter veränderten Umweltbedingungen (Treibhauseffekt) Verschiebungen in der Wichtigkeit der gefährlichen Prozesse ergeben werden (zum Beispiel weniger Lawinen, mehr Murgänge).

In allen Fällen geht die Mehrheit der Antwortenden davon aus, dass die Wichtigkeit der Prozesse ändert. Während sich bei der Gliederung nach Institutionen ein homogenes Bild ergibt, unterscheidet sich das Antwortverhalten zwischen den Regionen signifikant: In den Alpen gehen alle Befragten davon aus, dass sich diese Gewichte verschieben, während im Jura nur die Hälfte dieser Ansicht ist.

4.2.6 Beurteilung des Kenntnisstandes

In Abhängigkeit von Institution, Region und der Einschätzung der vergangenen und zukünftigen Entwicklung sowie vom Stellenwert in der Arbeit der Befragten wird untersucht, wie der heutige Kenntnisstand (Prozesswissen und Folgeabschätzung) beurteilt wird.

Die Mehrheit der Befragten ist der Ansicht, dass der gegenwärtige Kenntnisstand verbesserungsbedürftig sei. Lediglich für die Gruppe der Tiefbauämter und für jene, die weder in der Vergangenheit noch in der Zukunft mit zunehmender Bedeutung der Thematik rechnen, ergeben sich andere Mehrheiten. Bei letzteren sind die Unterschiede zu den Gruppen, die mit steigender Bedeutung rechnen, signifikant.

4.3 Kurzfristige Entwicklungstendenz

Mit quantitativen Daten zu Sach- und Personenschäden über einen Zeitraum von 20 Jahren wird untersucht, ob sich allenfalls Unterschiede zur qualitativen Prognose der langfristigen Entwicklung ergeben.

4.3.1 Daten des Schweizerischen Elementarschadenpools ESP

Der ESP ist eine Institution privater Sachversicherer zur Abwicklung von Elementarschäden. Die einzelne Versicherung zahlt einen ihrem Marktanteil entsprechenden Beitrag in den Pool und kann umgekehrt für die zu entrichtenden Leistungen darauf zurückgreifen. Der Pool übernimmt in 7 Kantonen, die über keine staatliche Gebäudeversicherung verfügen, deren Rolle (Deckung von Elementarschäden an Gebäuden) und ist für die Abwicklung von Fahrhabe-Schäden in 24 Kantonen verantwortlich. Aufgrund der räumlichen Deckung ergeben die ESP-Daten ein repräsentatives Bild für die gesamte Schweiz.

Untersucht werden Gebäude- und Fahrhabeschäden im Zeitraum von 1971 bis 1991. Die nominellen Werte werden mit dem Baukostenindex der Kantone Zürich und Bern (Gebäude) bzw. dem Konsumentenpreisindex (Fahrhabe) indexiert. Wie sich die inflationsbereinigte Schadensumme entwickelt hat, zeigt Abbildung 4.7.

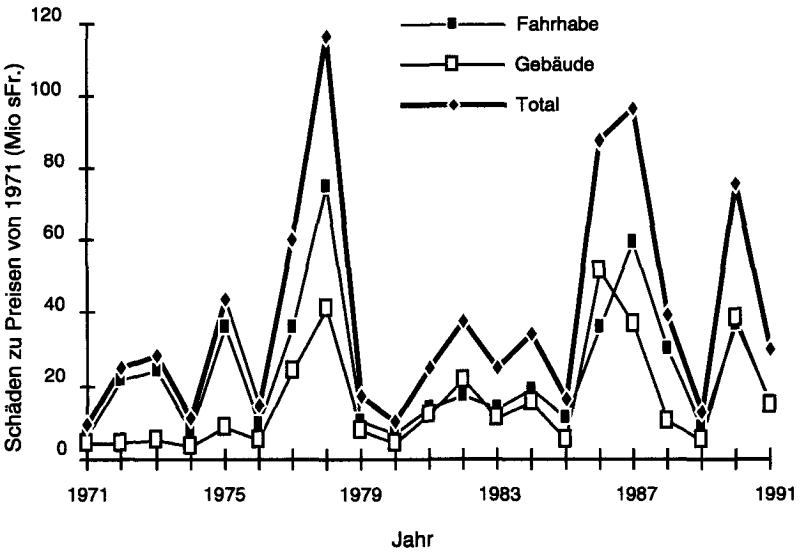


Abb. 4.7 Inflationsbereinigte Schadensumme des Schweizerischen Elementarschadenpools in Mio Fr., Preisbasis 1971. Die Werte variieren z.T. von Jahr zu Jahr über mehr als eine Grössenordnung. Diese Ausschläge sind das Bild einzelner Grossereignisse (1978 Ueberschwemmung Tessin, 1987 Ueberschwemmung Uri, 1990 Sturm Vivian).

Die Zeitreihe weist starke Schwankungen auf; ein Trend ist nicht auszumachen. Der Einfluss der Extrema kann mittels einer log-linearen Transformation oder durch Anwendung von gleitenden Mittelwerten gedämpft werden. Eine eventuell vorhandene Abhängigkeit der Schadensumme von der Zeit kommt so klarer zum Ausdruck. In Tabelle 4.2 sind statistische Kenngrössen für Regressionsgeraden zu verschiedenen Zeitreihen zusammengestellt.

Der Steigungsparameter a ergibt für den gleitenden 5-Jahres-Mittelwert eine theoretische Zunahme der Schäden um 31 % (Fahrhabe) resp. 367% (Gebäude). Nimmt man statt der Rohdaten die log-linear transformierten 5-Jahres-Mittelwerte, so beträgt die Zunahme 52% (Fahrhabe) bzw. 313% (Gebäude). Allein daraus auf einen wesentlichen Anstieg der Schäden zu schliessen ist wegen der nicht bekannten Zusammensetzung des jeweiligen Portfolios schwierig. Ausserdem ist der so hergeleitete Trend höchst unsicher (vgl. r^2-Werte). Nach Angaben eines Vertreters des ESP konnte in der betrachteten Periode denn auch keine klare Zunahme der Elementarschadensumme festgestellt werden.

Datenreihe	*Objektklasse*	*Steigung a*	*Y-Achsen-abschnitt b*	*Bestimmtheits-mass r^2*
Rohdaten indexiert	Fahrhabe	3.856 E05	1.950 E07	0,017
	Gebäude	9.646 E05	5.900 E06	0,167
	Total	1.350 E06	2.540 E07	0,073
log-linear transformierte Daten	Fahrhabe	1.070 E-02	1.480 E-01	0,043
	Gebäude	3.160 E-02	-2.929 E-01	0,257
	Total	1.759 E-02	2.938 E-01	0,109
Rohdaten 3-Jahres-Gleitmittel	Fahrhabe	3.044 E05	2.101 E07	0,029
	Gebäude	9.744 E05	6.073 E06	0,393
	Total	1.279 E06	2.708 E07	0,166
Rohdaten 5-Jahres-Gleitmittel	Fahrhabe	3.338 E05	2.128 E07	0,055
	Gebäude	1.067 E06	5.819 E06	0,651
	Total	1.401 E06	2.710 E07	0,313
log-linear, 3-Jahres-Gleitmittel	Fahrhabe	7.477 E-03	1.937 E-01	0,069
	Gebäude	2.981 E-02	-2.659 E-01	0,477
	Total	1.476 E-02	3.337 E-01	0,238
log-linear, 5-Jahres-Gleitmittel	Fahrhabe	9.027 E-03	1.856 E-01	0,159
	Gebäude	3.082 E-02	-2.522 E-01	0,712
	Total	1.643 E-02	3.293 E-01	0,472

Tab. 4.2 Kenngrössen von Regressionsgeraden zur Schadenentwicklung beim Elementarschadenpool in der Periode 1971 bis 1991. Mit der Methode der kleinsten Quadrate wird eine Gerade $y = ax + b$ gerechnet. Für die log-linear transformierte Variable gilt $x' = (10\log x)-7$.

Ueber die künftig zu erwartende Entwicklung kann aufgrund des vorliegenden Datenmaterials keine direkte Aussage gemacht werden. Aus dem beschriebenen Trend und aufgrund der Erfahrungen von Brig bei der Saltina-Ueberschwemmung 1993 ist aber mit einem weiteren, wenn auch nicht drastischen Anstieg der Schäden zu rechnen. Eine Abkehr von der langfristigen Schadenentwicklung ist nicht in Sicht.

4.3.2 Daten zu Personenschäden

In den Jahren 1972 bis 1992 kamen in der Schweiz durch Wassergefahren (Hochwasser und Murgänge) nach einer Zusammenstellung von EGLI (1996) insgesamt 33 Personen ums Leben. Eine Tendenz kann in dieser Periode nicht ausgemacht werden, die Ereignisse haben zufälligen Charakter. Interessanter als die zeitliche Entwicklung ist das aus Naturgefahren resultierende Risiko: Bei einer Bevölkerung von 6,5 Mio Menschen ergibt sich ein individuelles Todesfallrisiko von $2{,}5*10^{-7}a^{-1}$. Verglichen mit Quellen wie dem Strassenverkehr sind die Beiträge von Naturereignissen an das gesamte Risikoprofil der Bevölkerung vernachlässigbar. In gewissen Regionen dürften sich diese Werte zwar um mehr als eine Grössenordnung nach oben verschieben; dennoch stellen Naturgefahren aus der Sicht der Gefährdung von Menschenleben in der Schweiz heute keine wichtige Risikoquelle dar.

4.4 Interpretation und Prognose

Die langfristige Schadenentwicklung (Abschnitt 4.1) in der Schweiz zeigt, dass bei steigender Menge potentieller Wertobjekte ein Anstieg der Sachschäden zu erwarten ist. Wenn genügend Ressourcen verfügbar sind, ist gleichzeitig mit einer Reduktion der individuelle Todesfallwahrscheinlichkeit bis auf ein vernachlässigbar tiefes Niveau zu rechnen.

Aufgrund der Einschätzung durch direkt betroffene Institutionen (Abschnitt 4.2) sind in Zukunft ebenfalls zunehmende Schäden durch Naturereignisse wahrscheinlich. Wie diese Entwicklung aussehen wird und wie man ihr am besten begegnet, scheint aber im Moment noch unklar. Generell gehen die Verantwortlichen davon aus, dass verbesserte Kenntnisse über Naturrisiken wünschbar sind, ihr Stellenwert aber nicht grösser sei als der anderer Risiken.

Die Analyse der Schadenentwicklung in den letzten 20 Jahren ergibt weder bei den Sach- noch bei den Personenschäden klare Hinweise auf die Zukunft. Immerhin zeigt sich, dass die qualitativ hergeleitete Zunahme von Schäden durch Daten nicht widerlegt, sondern eher bestätigt wird.

Alle untersuchten Ansätze deuten darauf hin, dass Naturgefahren künftig zu einer steigenden wirtschaftlichen Belastung führen werden. Wesentlich dafür verantwortlich sind die zunehmende Bevölkerung und das verfügbare Vermögen.

Das Modell zur Rekonstruktion (Gleichung [8]) kann nun für die Abschätzung der künftigen Entwicklung herangezogen werden. Von den drei Parametern liegen lediglich für die Bevölkerung mehr oder weniger gesicherte Prognosen bis zum Jahr 2050 vor. Klima und Vermögen können nur über Szenarien abgeschätzt werden.

Szenario 1: Schadenentwicklung bei gleich hohem oder steigendem verfügbaren Vermögen: Die erwartete Zunahme der Bevölkerung um 10% (BFS 1991) verursacht einen Anstieg der Sachschäden um mindestens 10%. Klimatische Veränderungen führen zu selteneren, aber heftigeren Ereignissen. Total resultiert eine Zunahme der Sachschäden um mindestens 25% bis ins Jahr 2050 (Abbildung 4.8). Die Personenschäden werden etwa proportional zur Bevölkerung steigen, da die technischen Möglichkeiten zur Vermeidung mehr oder weniger ausgeschöpft sind.

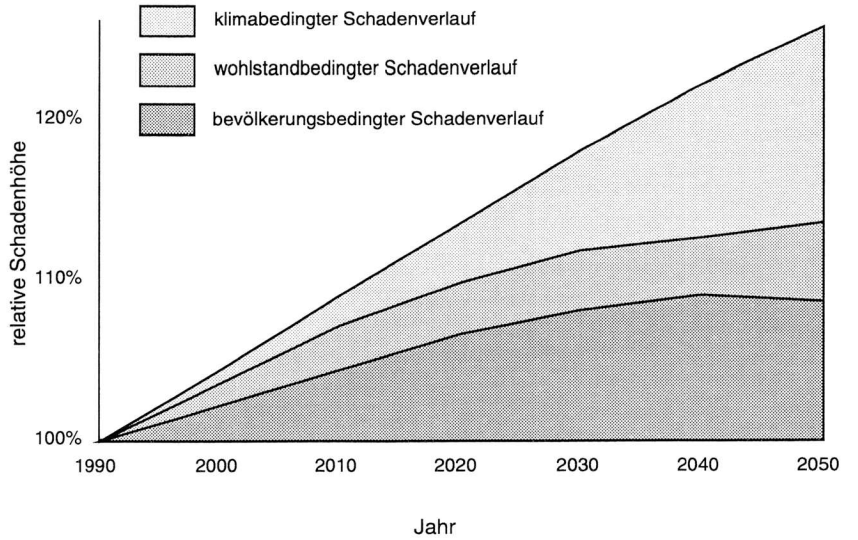


Abb. 4.8 Szenario für die Schadenentwicklung bei mindestens gleichbleibendem verfügbaren Vermögen.

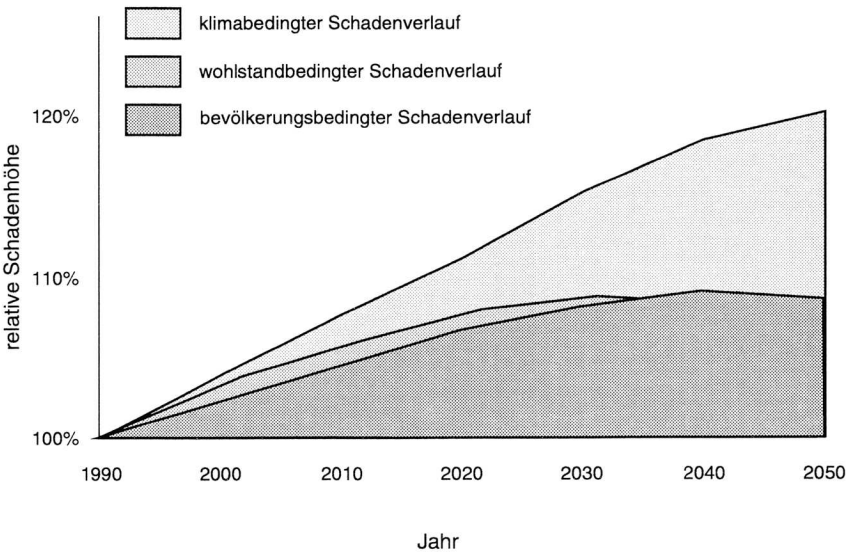


Abb. 4.9 Szenario für die Schadenentwicklung bei abnehmendem verfügbaren Vermögen.

Szenario 2: Schadenentwicklung bei abnehmendem verfügbaren Vermögen: Die Zunahme der Bevölkerung führt auch hier zu einer Zunahme der Sachschäden um mindestens 10%. Kurzfristig nehmen die Sachschäden auch aufgrund der Einkommensentwicklung zu, da weniger Aufwendungen zum Schutz von Gütern getroffen werden. Mittelfristig führt die Verminderung des Einkommens zur Reduktion der Gütermenge (vor allem im Bereich der Luxusgüter). Mittelfristig ist deshalb ein unter der Bevölkerungszunahme liegendes Sachschadenwachstum zu erwarten. Die klimatische Entwicklung resultiert wiederum in einer Zunahme der Sachschäden um 15%. Die Gesamtschadensumme bei den Sachwerten nimmt bis zum Jahr 2050 um 20% zu (Abbildung 4.9). Bezüglich Personenschäden gilt das bereits gesagte, wobei nun noch zusätzliche finanzielle Restriktionen greifen (Wert eines Menschenlebens wird geringer eingeschätzt).

Diese Szenarien zeigen, dass mit den bisherigen Ansätzen zur Bekämpfung von Naturgefahren zunehmend Schwierigkeiten zu erwarten sind. Rein technische Massnahmen sind nicht geeignet, sozioökonomische Probleme zu lösen. Der integrale Ansatz der Sicherheitswissenschaft (vgl. Kap. 2) stellt eine Möglichkeit dar, wie problemorientierter mit Naturgefahren umgegangen werden kann.

Leer - Vide - Empty

5. Risikoanalyse bei Naturgefahren

Naturrisiken sind mit sicherheitswissenschaftlichen Methoden analysierbar. Ihre Besonderheiten müssen dabei durch die Wahl geeigneter Methoden für die einzelnen Teilarbeiten berücksichtigt werden.

5.1 Besonderheiten von Naturrisiken

Naturgefahren sind Störungen aus der natürlichen Umwelt, welche der Mensch nur beschränkt beeinflussen kann. Sie sind ohne sein Zutun vorhanden, stellen also äussere Rahmenbedingungen dar. Wenn sie einer Risikoanalyse unterzogen werden sollen, muss berücksichtigt werden, dass sie sich in folgenden Punkten von anderen Gefahrenarten unterscheiden:

- Naturgefahren sind oft schwierig abzugrenzen, weil es sich um dauernd vorhandene Prozesse handelt, bei denen nur die Intensität oder das Ausmass aussergewöhnlich ist.
- Die gefährlichen Prozesse sind fast ausnahmslos das Produkt einer räumlichen Entwicklung (Konzentration von Wasser in Bacheinzugsgebieten, Verschiebung tektonischer Platten). Oft ist es zwar möglich, an bestimmten Stellen die Entwicklung zu überwachen (Abfluss-, Verschiebungsmessung). Eine direkte Kontrolle der Ursachen «in situ» (zum Beispiel Messung von Grundwasserströmen) und damit eventuell eine Steuerung ist selten realisierbar.
- In einer technischen Anlage kann eine Gefahr lokalisiert und als Emission behandelt werden. Bei Naturgefahren, besonders bei flächigen Prozessen wie Stürmen, gibt es keine klare «Quelle». Es muss untersucht werden, welche Wirkungen von aussen auf ein bestimmtes Raumelement einwirken; die Gefahr ist eine Immission.
- Die primär mechanischen Wirkungen von natürlichen gefährlichen Prozessen scheinen zwar vordergründig einfach zu erklären. Die Folgen von dynamischen und langfristigen Belastungen sind aber für die meisten Wertobjekte bisher nur ungenau bekannt.
- Jedes Raumelement ist einzigartig. Aehnlichkeit als Grundlage für die Anwendung von Analogieschlüssen ist bei den Untersuchungsobjekten von Naturrisikoanalysen nur beschränkt gegeben.

Diese Besonderheiten haben dazu beigetragen, dass Naturgefahren bis heute nur selten Gegenstand sicherheitswissenschaftlicher Betrachtungen waren. Während beispielsweise die Störfallverordnung StFV (SR 814.012) die Begriffe «Risiko» und «Risikoermittlung» enthält, fehlt eine vergleichbare gesetzliche Grundlage bei Naturgefahren bisher. Weder das neue Wasserbaugesetz (WBauG, SR 721.100) noch das Waldgesetz (WaG, SR 921.0) oder die zugehörigen Verordnungen kennen die Termini «Risiko» oder «Risikoanalyse».

Trotzdem besteht ein Bedarf für Risikoanalysen bei Naturgefahren. WaV (Art. 15) und WBauG (Art. 6) verpflichten die Kantone und z.T. den Bund, Grundlagen für den Schutz vor Hochwasser, Lawinen, Murgänge, Rutschungen und Steinschlag bereitzustellen und entsprechende Massnahmen zu treffen. Beides wird

vom Bund unterstützt. Nach Art. 1 des Subventionsgesetzes (SR 616) dürfen «...Finanzhilfen und Abgeltungen ... nur gewährt werden, wenn sie ausreichend begründet sind und ihren Zweck auf wirtschaftliche und wirkungsvolle Art erreichen». Die Gefährdung und die Effizienz und Effektivität möglicher Schutzmassnahmen müssen belegbar sein. Diese Informationen liefert die Risikoanalyse. Auch in der Raumplanung ist Sicherheit ein wichtiger Aspekt. In der Richtplanung muss entschieden werden, wie durch Naturereignisse gefährdete Flächen genutzt werden sollen. In der Nutzungsplanung bietet die Risikoanalyse eine Grundlage für Eingriffe ins Eigentum.

5.2 Vorgehen bei einer sicherheitswissenschaftlichen Risikoanalyse

Das Vorgehen bei einer Risikoanalyse hängt nicht vom Gegenstand oder vom Umfang der Untersuchung ab. Die eigentlichen Analysemethoden (Abschnitt 5.3) beeinflussen das Prozedere nicht.

Eine Risikoanalyse umfasst vier Arbeitsschritte:
1. Systemabgrenzung und -beschreibung
2. Gefahrenabschätzung
3. Erfassung und Quantifizierung der exponierten Wertobjekte
4. Abschätzung der zu erwartenden Folgen

Diese Schritte werden in diesem Abschnitt unabhängig von Analyse- und Hilfstechniken beschrieben.

5.2.1 Systemabgrenzung und -beschreibung

Die Systemabgrenzung ergibt den sachlichen Rahmen der Analyse. Sie erfordert fundierte Kenntnissen des untersuchten Objektes.

Das Ergebnis der Systemabgrenzung und -beschreibung ist eine funktional vollständige, vereinfachte Abbildung der Realität. Wichtige Grundlagen liefert die allgemeine Systemtheorie (siehe zum Beispiel VON BERTALANFFY 1973, MESAROVIC 1975, TELLER 1975, RAPOPORT 1986).

Vollständigkeit bedeutet, dass alle relevanten Komponenten, Sub- und Teilsysteme und deren Interaktionen in Modellen abgebildet werden. Bei natürlichen Systemen sind dies Raumelemente, Kompartimente, Energie- und Stoffflüsse. Auch «weiche» Komponenten (Folgen menschlicher Handlungen) müssen berücksichtigt werden: Erfahrungen aus dem technischen Bereich zeigen, dass sie das Risiko wesentlich beeinflussen können (DAHLGREN 1991, MARCUS ET AL 1991, WREATHALL ET AL. 1991). Bei Naturereignissen beschränkt sich der Einfluss primär auf die Exposition und die Folgen.

Für die Abgrenzung und Beschreibung natürlicher Systeme sind vor allem folgende Charakteristiken von Bedeutung (CZICHOS 1991):

- Kausalität: einer Wirkung liegt immer eine Ursache zugrunde;
- stochastischer Aufbau: das Verhalten ist meistens nur mit Wahrscheinlichkeit zu beschreiben;

- verteilter Aufbau: Parameter sind nicht Punktwerte, sondern räumliche Kontinua;
- zeitliche Variabilität: Aufbau und Verhalten des Systems können zeitlich ändern;
- Stetigkeit: endliche Ursachen können nur endliche Wirkungen hervorrufen.

Diese Eigenschaften erfordern, dass das System nicht nur räumlich, sondern auch zeitlich und hinsichtlich der Bedingungen in der Systemumwelt definiert wird. Die Aufgabenstellung der Analyse ergibt eine (willkürliche) thematische Abgrenzung (Tabelle 5.1).

Die räumliche Systemgrenze kann am einfachsten festgelegt werden. Sie besteht aus dreidimensionalen geometrischen Elementen und hängt von den betrachteten Prozessen ab. Prozessräume sind oft durch hydrologische Einheiten (Einzugsgebiete), geomorphologische Gliederungselemente (Lawinenzüge) oder tektonische Platten (im Falle von Erdbeben) begrenzt. Schwierig abzugrenzen sind Systeme für die Analyse von meteorologischen und klimatischen Risiken (Stürme, Dürren). Bei ihnen spielen die die Systemgrenze überschreitenden Einflüsse eine zentrale Rolle.

Aus folgenden Gründen kann trotz zeitlicher Variabilität auf eine zeitliche Systemgrenze verzichtet werden:

- Aenderungen des Systemverhaltens sind zeitlich selten prognostizierbar, weil Ausmass und Richtung der Veränderungsgeschwindigkeit unbekannt sind. Die «zweite Ableitung» der Systementwicklung hängt meist von einer unbekannten Variablenkombination ab.
- Natürliche Systeme sind nichtrekursiv, sie haben kein «Erinnerungsvermögen». Ihre Entwicklung hängt nur vom gegenwärtigen Zustand und den gegenwärtigen und zukünftigen Inputs ab. Diese Grössen sind durch die systeminternen und externen Bedingungen vollständig definiert.

Die Zustandsbedingungen ersetzen somit die zeitliche Abgrenzung. Sie werden als Intervalle von Parametern im mehrdimensionalen Vektorraum dargestellt.

räumliche Begrenzung	*konditionelle Begrenzung*	*thematische Begrenzung*
Wildbacheinzugsgebiet X bis zur Wasserscheide	Niederschlagssumme / saisonale Verteilung konstant	gefährliche Prozesse: Hochwasser und Murgang
ganzer Kegel b. Vorfluter	Vegetation maximal ±10%	nur Menschenleben und
Inputs: Niederschläge	Temperatur max. +3°C	Immobilien als Wertobjekte
Outputs: Speisung Vorfluter	Bevölkerung, Siedlungsfläche, Verkehr max. ±20%	nur Akutschäden, keine
mit Wasser und Feststoffen		Sekundär- / Langzeiteffekte

Tab. 5.1 Die Systemabgrenzung hat das Analyseobjekt in den drei Dimensionen Raum, Zustand und Thematik klar von der Systemumwelt zu trennen.

Die Systembeschreibung ist die Grundlage der Modellbildung und damit die Basis der gesamten weiteren Analysetätigkeit. Um Fehler zu vermeiden und die Unsicherheit zu reduzieren, muss sie mit grösster Sorgfalt durchgeführt werden.

Bei der Systembeschreibung wird zuerst qualitativ beschrieben, wie die einzelnen Teile des Systems (Komponenten, Teil- und Subsysteme) miteinander in Beziehung stehen. In einem zweiten Schritt wird untersucht, wie sich diese Relationen quantitativ beschreiben lassen (Abbildung 5.2).

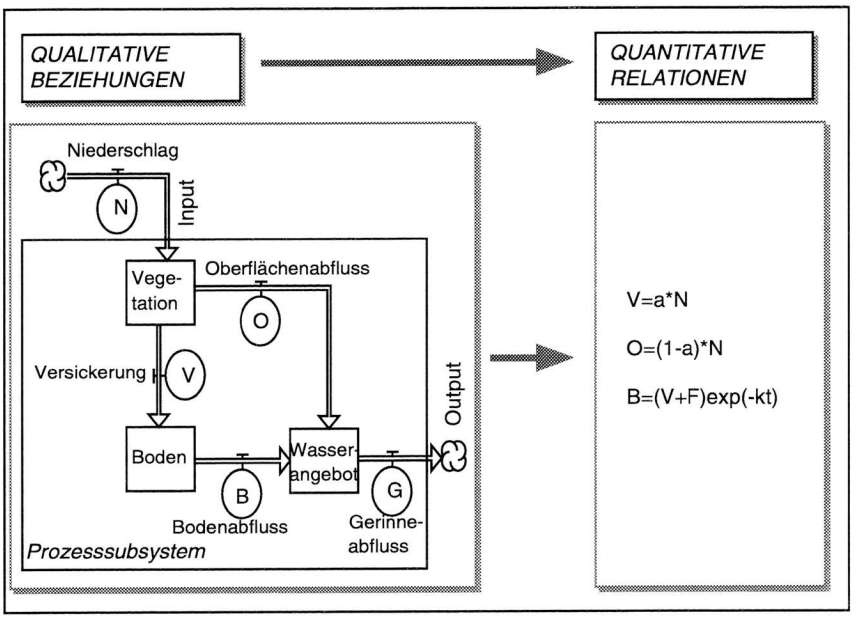


Abb. 5.1 Die Systembeschreibung stellt das Gefüge und die Art der Beziehung zwischen verschiedenen Systembestandteilen dar. Zur Quantifizierung werden die physikalischen Beziehungen mathematisch umgesetzt. Die Graphik zeigt einen vereinfachten Ansatz für die Beschreibung eines Wildbachprozess-Subsystems. N, V, O, B gemäss Bezeichnung links, a, k = const., t = Zeit, F = Bodenwassergehalt).

Die Systembeschreibung umfasst alles, was bei traditionellen Abklärungen über Naturgefahren als «Beschreibung des Untersuchungsperimeters» bezeichnet wird. Sie geht aber darüber hinaus: die Funktionalität der einzelnen Teile des Systems und die Wechselwirkung von Prozess und Wertobjekten stehen bei ihr im Zentrum.

5.2.2 Gefahrenabschätzung

Die Gefahrenabschätzung ergibt die massgebenden Gefährdungsbilder (vgl. SCHNEIDER 1996) hinsichtlich Ausmass und Eintrittswahrscheinlichkeit. Sie umfasst die Gefahrenidentifikation und die Ereignisabschätzung.

5.2.2.1 Gefahrenidentifikation

Die Gefahrenidentifikation zeigt, welche Zustände und Vorgänge innerhalb des Untersuchungssystems als Gefährdungen wirken.

Die Gefahrenidentifikation umfasst alle im System möglichen Wirkungen unabhängig von ihrer Wahrscheinlichkeit. Sie basiert auf

- Aufzeichnungen über das bisherige Systemverhalten;
- Modellen für die (vereinfachte) Abbildung des Systems;
- Daten als Grundlage für die Eichung und Anwendung der Modelle.

Die Identifikation ist bei Naturgefahren meist unproblematisch. Viele Prozesse sind aufgrund früherer Ereignisse oder indirekter Hinweise (stumme Zeugen, Analogieschlüsse aus anderen Gebieten) rasch erkennbar. KIENHOLZ (1995) spricht von erwiesenen bzw. vermuteten Gefahren. Wenn keine solchen Angaben vorliegen, muss die Disposition auf synthetischem Weg geklärt werden. Dies liefert Informationen über potentielle Prozesse.

Diese Dispositionsmodelle unterscheiden sich durch ihre Komplexität (HOWARD ET AL. 1991). Am einfachsten sind jene, die von Systemelementen ausgehen, die isoliert gefährlich sein können (zum Beispiel Wasser). Komplexere Ansätze berücksichtigen Interaktionen zwischen Elementen (zum Beispiel zwischen Wasser und Erdmassen) und Einwirkungen von aussen. Am weitesten gehen die statistisch-probabilistischen Mehrparametermodelle. Entsprechend variieren die angewandten Methoden von einfachen Checklisten bis hin zu numerischen Simulationen. Einige Beispiele von Dispositionsmodellen für Naturgefahren sind in Tabelle 5.2 zusammengestellt.

Prozess	*Modell*	*Art des Modells*
Lawine	MEARS 1976	Hangneigungsmodell
	PERLA 1980	Hangneigungsmodell
	SALM ET AL. 1990	Hangneigungsmodell
	ONESTI 1987	morphologische Klassierung
Murgang	TAKAHASHI 1981	geomorpholog. Klassierung
Rutschungen	CARRARA ET AL. 1991	Indikatoransatz

Tab. 5.2 Beispiele von Dispositionsmodellen für Naturgefahren

Der Schritt der Identifikation gehört zur Routine bei der bisherigen Praxis der Behandlung von Naturgefahren. Die Aufgaben im Rahmen der Risikoanalyse gehen nicht über jene der traditionellen Gefahrenerfassung hinaus.

5.2.2.2 Ereignisablaufanalyse und -abschätzung

Eine Gefahr verursacht nur Risiken, wenn der Prozess mit einer Wahrscheinlichkeit p > 0 eintritt und auf Wertobjekte einwirkt.

Viele Systeme sind in einem gleichgewichtsähnlichen Zustand: die Parameter pendeln um einen «stabilen» häufigsten Wert, Extrema sind selten. Technische Systeme sind darauf ausgelegt, innerhalb gewisser Rahmenbedingungen zu funktionieren. Dieser definierte «Normalzustand» fehlt bei natürlichen Systemen. Dennoch besteht ein Zusammenhang zwischen Wahrscheinlichkeit und Ausmass: je grösser eine Abweichung vom häufigsten Wert ist, desto weniger wahrscheinlich ist ihre Realisierung (vgl. Abbildung 5.2).

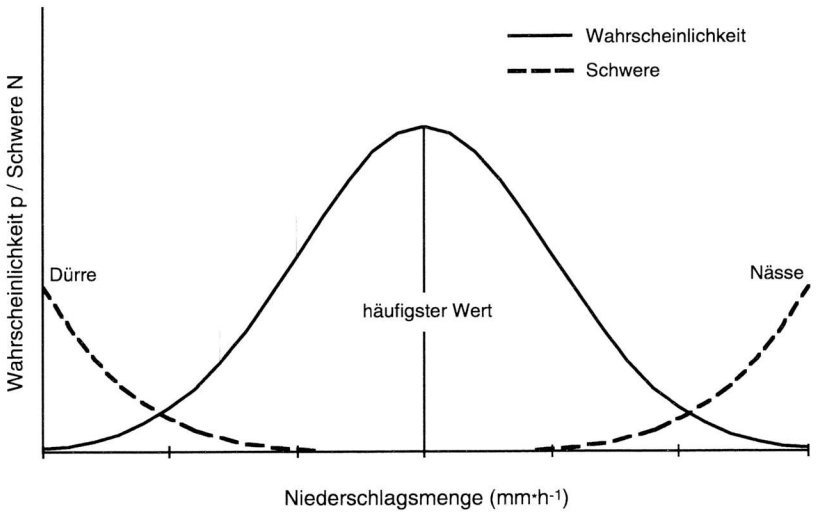


Abb. 5.2 Relation Ereignisausmass - Häufigkeit: Innerhalb einer Bandbreite ist das System gegenüber Abweichungen von der «normalen» Niederschlagsmenge tolerant. Je grösser die Abweichung wird, desto schwerer sind die Folgen. Gleichzeitig nimmt die Wahrscheinlichkeit ab, dass dieser Wert realisiert wird.

Die Ereignisabschätzung hat die Aufgabe, diese Beziehung zu quantifizieren. Dabei ist ein statistisches (deskriptives) oder ein probabilistisches (induktives) Vorgehen möglich.

5.2.2.2.1 Statistische Ereignisabschätzung

Bei der statistischen Abschätzung werden Ausmass und Häufigkeit von Ereignissen aufgrund von früheren Beobachtungen direkt bestimmt.

Der Ansatz findet vor allem Anwendung bei oft auftretenden Ereignissen oder wenn sich das Ereignis lediglich ein extremer Wert eines dauernd beobachtbaren Parameters ist. Ein Beispiel ist die Pegelmessung an einem Gewässer: der Pegelstand ist das Merkmal, Wasserführung über dem Hochwasserwert das Ereignis.

Zur Abschätzung wird aus Daten eine Abbildung der Form

$F: X \rightarrow p(x\,X)$ Verteilungsfunktion [10]

$f: x \rightarrow p(x)$ Verteilungsdichte [11]

konstruiert, die die gesuchten Grössen direkt ergibt. Wichtig bei Naturereignissen sind vor allem folgende Verteilungen (vgl. zum Beispiel DYCK ET AL. 1989, SCHNEIDER 1996):

Normalverteilung:
$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} exp\left(-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2\right) \quad [12]$$

$$F(x) = \int_{-\infty}^{x} \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} exp\left(-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2\right) \quad [13]$$

Log-Normalverteilung:
$$f(x) = \frac{1}{\zeta x\sqrt{2\pi}} exp\left(-\frac{1}{2}\left(\frac{lnx-\lambda}{\zeta}\right)^2\right) \quad [14]$$

$$F(x) = \int_{0}^{x} \frac{1}{\zeta x\sqrt{2\pi}} exp\left(-\frac{1}{2}\left(\frac{lnx-\lambda}{\zeta}\right)^2\right) \quad [15]$$

Gumbelverteilung
$$f(x) = \alpha \bullet exp\left(-\alpha(x-u) - exp\left(-\alpha(x-u)\right)\right) \quad [16]$$

$$F(x) = exp\left(-exp\left(-\alpha(x-u)\right)\right) \quad [17]$$

Weibullverteilung
$$f(x) = \frac{k}{u-\varepsilon}\left(\frac{x-\varepsilon}{u-\varepsilon}\right)^{k-1} \bullet exp\left(-\left(\frac{x-\varepsilon}{u-\varepsilon}\right)^k\right) \quad [18]$$

$$F(x) = 1 - exp\left(-\left(\frac{x-\varepsilon}{u-\varepsilon}\right)^k\right) \quad [19]$$

Die Gumbelverteilung wird auch als erste, die Weibullverteilung als dritte Extremwertverteilung bezeichnet. Mögliche Anwendungen der Verteilungen zur Abschätzung von Naturereignissen sind in Tabelle 5.3 dargestellt.

Verteilung	*Anwendung zur Beschreibung von*
Normalverteilung	Streuung von Parametern
Log-Normalverteilungen	Niederschlagsmengen
Gumbelverteilung	Schneehöhen, Niederschlagsmengen, Abflussmengen
Weibullverteilung	Festigkeiten

Tab. 5.3 Beispiele statistischer Verteilungen und möglicher Anwendungen bei der Abschätzung von Naturereignissen

Der statistische Ansatz beschreibt direkt das interessierende Systemmerkmal. Bei genügender Datenmenge wird die Unsicherheit der Aussage sehr klein. Ein weiterer Vorteil ist, dass die Abschätzung auch bei Unkenntnis über den Systemaufbau möglich ist, solange das Merkmal beobachtbar bleibt.

Für die Analyse von Naturrisiken weist der statistische Ansatz dennoch Nachteile auf. Die aus Messreihen gewonnenen Informationen sind nicht auf andere Objekte übertragbar; sie sind damit nicht als sog. «generische» Daten verwendbar. Zur Konstruktion der Verteilungen stehen nur wenige Daten über extreme Ausmasse zur Verfügung, was zu grossen Unsicherheiten führt. Die längsten Messperioden bei Naturereignissen umfassen rund 100 Jahre, Extrapolationen auf kleine Wahrscheinlichkeiten (0,001) sind sehr gewagt. Zudem kann sich das System in der langen Beobachtungzeit verändert haben. Prognosen für sehr seltene Extremereignisse sind somit sehr unsicher. Die Abschätzung dieser Katastrophen ist aber wichtig, da die gängigen Schutzkonzepte meist nicht darauf ausgelegt sind.

Der statistische Ansatz eignet sich also vor allem für «wahrscheinliche» Ereignisse mit Wiederkehrperioden von Jahren bis Jahrzehnten. Wenn nur wenige Beobachtungen vorliegen, kann die Datenbasis durch Experimente erweitert werden (vgl. zum Beispiel ARMANINI ET AL. 1992).

5.2.2.2.2 Probabilistische Ereignisabschätzung

Probabilistisch werden Ereignisausmass und Wahrscheinlichkeit durch Kenngrössen von Komponenten und Subsystemen berechnet.

Sehr gute Informationen über den Systemaufbau sind Voraussetzung für die Anwendung des probabilistischen Ansatzes. Bei technischen Anlagen ist dies erfüllt (Pläne), bei natürlichen Systeme liegen oft nur vage Angaben qualitativer Art vor. Quantitativ genauere Resultate als beim statistischen Ansatz sind also nicht zu erwarten. Der Hauptvorteil des probabilistischen Vorgehens ist die Unabhängigkeit von vergangenen Ereignissen. Angaben über Ausmass und Häufigkeit sind also vor dem Eintritt von Schäden möglich. Zur Abschätzungen in neuen oder neuartigen Systemen sind nur Informationen über die einzelnen Teile nötig. Naturereignisse als Kombination bekannter physikalischer Abläufe können so mit generischen Daten (zum Beispiel Festigkeitswerte von Materialien) und Informationen über Teilprozesse (zum Beispiel Abflussbildung im Hang) abgeschätzt werden. Damit kann auch über die normalen

Beobachtungszeiträume hinaus extrapoliert werden. Die Wahrscheinlichkeit ersetzt dabei die Häufigkeit.

Ein Nachteil des probabilistischen Ansatzes ist die Fortpflanzung von Unsicherheiten. Die Kombination vieler nicht genau bekannter Grössen und Verteilungen ergibt als Resultat oft nicht mehr als die Grössenordnung für Ereignisausmass und Wahrscheinlichkeit (DAVIS 1991). Selbst für gut bekannte Systeme kann die Streuung einer Variable grösser sein als ihr absoluter Wert selbst (Abbildung 5.3).

Trotzdem sind probabilistische Abschätzungen für Naturgefahren interessant. Oft steht nämlich nicht der absolute Wert einer Grösse im Vordergrund, sondern ihre relative Bedeutung. Mit dem probabilistischen Vorgehen sind quantitative Sensitivitätsanalysen möglich. Es erlaubt überdies, hochentwickelte Modelle für einzelne Teilprozesse (zum Beispiel Niederschlag, Abflussbildung, Abflussverlauf) miteinander zu kombinieren und halb- oder vollautomatisch zu verarbeiten. Einige Modelle zur Simulation und Abschätzung von natürlichen Prozessen basieren auf derartigen Ansätzen, darunter auch «klassische» Anwendungen wie Lawinen- oder Hochwassermodelle (vgl. zum Beispiel BAKKEHOI ET AL. 1981, HUTTER ET AL. 1987, KASHYAP ET AL. 1976, DYCK ET AL. 1989).

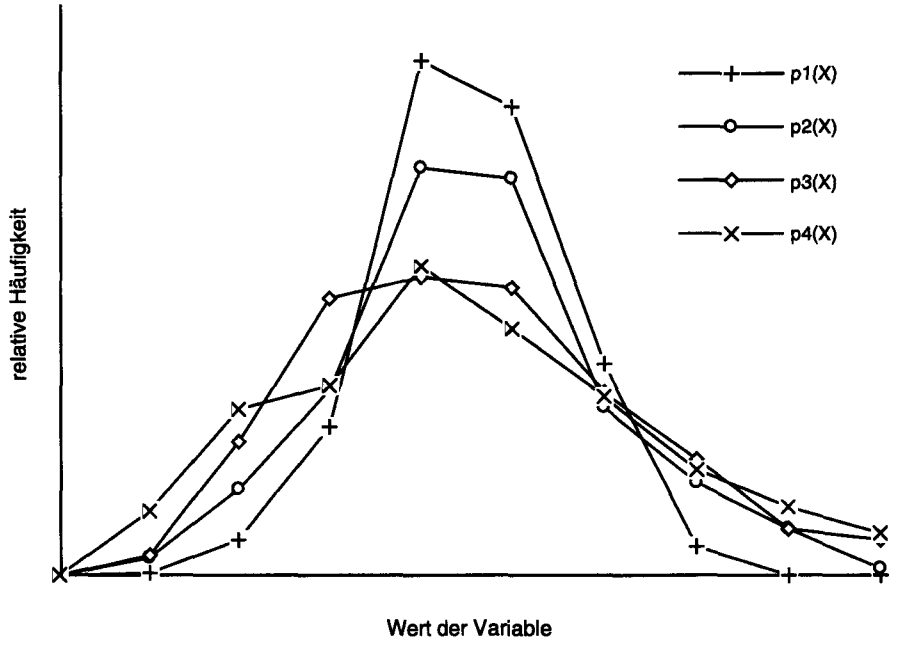


Abb. 5.3 Fortpflanzung von Unsicherheiten: pn(X) ist die Verteilung des Produktes von n normalverteilten Zufallsvariablen mit μ=1, σ=0,2 (numerische Simulation). Je mehr Faktoren kombiniert werden, desto breiter streuen die Werte.

Wie die Identifikation ist auch die Abschätzung Teil der traditionellen Naturgefahrenbetrachtung. Für die Bedürfnisse der Risikoanalyse muss sie nur erweitert werden, sofern die Relation Ausmass-Wahrscheinlichkeit bisher nicht berück-

sichtigt wurde (wenn zum Beispiel nur undifferenzierte «Gefahrenzonen» ausgeschieden wurden).

5.2.3 Expositionsanalyse

Die Expositionsanalyse erfasst die Wertobjekte, auf welche die untersuchten gefährlichen Prozesse potentiell einwirken können.

Bevor die Exposition bestimmt werden kann, müssen die schadenrelevanten Wirkungen der gefährlichen Prozesse definiert werden. Bei Naturgefahren sind dies:

- temporäre statische Einwirkungen;
- dauernde statische Einwirkungen;
- einmalige dynamische Einwirkungen (Stösse);
- zyklische dynamische Einwirkungen (Resonanz);
- elektrochemische Einwirkungen;
- toxische Einwirkungen.

Für verschiedene Objekte und Zustände sind unterschiedliche Einwirkungen massgebend. Sie ergeben sich aus den Eigenschaften des Wertobjektes, die beeinträchtigt werden können. Die bei Naturgefahren häufige Kombination verschiedener mechanischer Einwirkungen kann durch das in der SIA-Norm 160 (SIA 1989) dargestellte Konzept von Leit- und Begleiteinwirkungen berücksichtigt werden (vgl. Tabelle 5.4).

Objekt	*Leiteinwirkung*	*Begleiteinwirkung(en)*	*beeinträchtigte Eigenschaft*
Wohnhaus	dynamische. Windlast	statische Schneelast	Tragsicherheit
	statische Schneelast	dynamische Windlast	Tragsicherheit, Form
	toxische Einwirkung	Geruch	Bewohnbarkeit
	ionisierende Strahlung	–	Bewohnbarkeit
Fahrzeug	Schleppkraft (Wasser)	stat. Last (Feststoffe)	Brauchbarkeit
	elektrochem. Einw.	–	Betriebsbereitschaft
Lebensmittel	chemische Einwirkung	–	Dauerhaftigkeit
	toxische Einwirkung	–	Geniessbarkeit

Tab. 5.4 Für verschiedene Wertobjekte können massgebende Leit- und Begleiteinwirkungen definiert und die dadurch beeinträchtigten Eigenschaften bestimmt werden.

Als nächstes ist festzulegen, wie das Ausmass der möglichen Beeinträchtigungen gemessen werden soll. Dazu stehen zwei völlig unterschiedliche Konzepte zur Verfügung:

- Die Objekte werden, eventuell zusammengefasst zu grösseren Gruppen, direkt als Messgrössen verwendet. Dies führt zum sog. Kategorien-Ansatz, der sich bisher besonders bei Naturgefahren durchgesetzt hat.
- Die Beeinträchtigung der Funktion des Wertobjektes wird als Messgrösse herangezogen, was dem sog. Indikatoren-Ansatz entspricht.

Tabelle 5.5 verdeutlicht den Unterschied zwischen den beiden Ansätzen.

Je besser der Wirkungsbereich der Prozesse aus der Gefahrenabschätzung bekannt ist, desto genauer sind die potentiellen Wertobjekte zu bestimmen. Da sie teilweise nicht ortsgebunden und nur temporär bedroht sind, stellt die Exposition eine Funktion der Zeit dar. Dies ist bei Naturgefahren besonders wichtig: in Gebiete mit heftigen Einwirkungen sind unter Umständen zur massgebenden Zeit keine Wertobjekte vorhanden (Lawinenzüge im Winter).

Die möglichen Wertobjekte lassen sich im Gelände oder aufgrund von Daten bestimmen. Viele Angaben sind in der Schweiz bereits verfügbar, z.T. sogar flächendeckend und georeferenziert (Tabelle 5.6). Damit ist eine partielle Automatisierung der Expositionsanalyse möglich.

Art der Wertobjekte	*mögliche Kategorien*	*mögliche Indikatoren*
Menschen	Dorf, Stadt, Streusiedlung etc.	Anzahl Personen
Gewässer	Bach, Fluss, See	km, km^2
Biotope	Landwirtschaftsland, Wald, Ruderalstandort	km^2, Biotopwert
Strassen	Hauptverkehrsstrasse, Nebenstrasse	km, Fahrzeugdichte, Personenbelegung
Elekrizitätsversorgung	Hauptversorgungsleitung, Sekundärleitung	versorgte Bevölkerung, kVA, Baukosten
Gebäude	Wohnbauten, Gewerbebauten, Dorf, Stadt etc.	Personen im Gebäude., Bauwerkswert, Bauwerksinhalt
Kommunikationsinfrastruktur	Hauptnetz, Sekundärnetz	Transferraten, Bandbreiten

Tab. 5.5 Bei der Bestimmung des Schadenpotentials nach Kategorien wird mit den Objekten selbst, bei jener nach Indikatoren mit ihrer Funktion gemessen.

Quelle	*enthält Angaben zu*	*Daten*
Karten, Grundbuchpläne	Bauwerke	Anzahl, räumliche Verteilung
Gebäudeversicherungen	Bauwerke	Wert, ev. räumliche Verteilung
Einwohnerregister	Bevölkerung	Anzahl
Geostat-Datenbank	Bevölkerung	räumliche Verteilung
Versicherungen	Bauwerksinhalte	Wert, ev. Zusammensetzung
Gemeinden, Kantone	Notstandsdienste	Funktion, räumliche Verteilung
Stellen für Chemiesicherheit	sekundäre Gefahrenpotentiale	Stoffmenge, räumliche Verteil.
Anlagenbetreiber	Sonderobjekte	Wert, räumliche Verteilung

Tab. 5.6 Mögliche Datenquellen, Datenbereiche und Art der Daten bei der Expositionsanalyse

Die Expositionsanalyse stellt eine grundsätzliche Erweiterung der bisherigen Praxis dar. Die Wertobjekte werden nicht mehr isoliert von den Gefahren behandelt, sondern als integraler Teil der Betrachtung.

5.2.4 Folgenanalyse

Die Folgenanalyse ergibt das Risiko. Mit den Daten der Gefahrenabschätzung und der Expositionsanalyse wird bestimmt, welche Schäden an den Objekten durch die Einwirkungen entstehen.

Zwischen der Intensität einer Einwirkung und ihren Auswirkungen auf ein Wertobjekt besteht eine quantitative Beziehung. Sie wird in einem Modell abgebildet (in der Medizin als Dose-Response-Model bekannt).

Drei Bereiche eines solchen Modells sind zu unterscheiden (Abbildung 5.4):

- Bis zu einem Schwellenwert A ruft die Einwirkung keine Schäden hervor, das Objekt ist tolerant;
- bei weiter zunehmender Intensität der Einwirkung treten zunehmende Schäden auf;
- ab einer oberen Grenze B rufen verstärkte Einwirkungen keinen Anstieg der Schäden mehr hervor, weil das Wertobjekt völlig zerstört ist.

Dies entspricht dem Konzept von Beanspruchung (Stress S) und Widerstand (Resistance R) (vgl. SCHNEIDER 1996). Es ist zwar ursprünglich für konstruktive Elemente entwickelt worden, aber auch auf andere Wertobjekte anwendbar. Schaden tritt ein, wenn

$$R - S < 0 \qquad [20]$$

wird. R ergibt also die Toleranz.

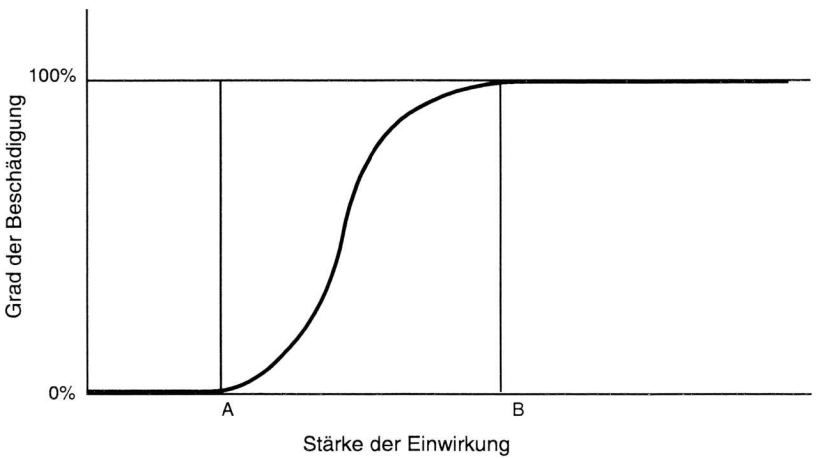


Abb. 5.4 Zusammenhang Einwirkung-Schadengrad: Bis zu einer unteren Stärke A wird das Wertobjekt durch die Einwirkung nicht geschädigt (Toleranz), ab einer oberen Stärke B nimmt der Schaden nicht mehr zu (Objekt vollständig zerstört).

Das Problem der Folgenanalyse bei Naturereignissen ist, dass für die wichtigsten Einwirkungen nur stark vereinfachte Modelle bestehen. Besonders die Effekte dynamischer Einwirkungen sind nur mit grossem Rechenaufwand zu bestimmen (SCHIFF 1990, KRÄTZIG 1991). Statische Ersatzlasten, die in vielen Bauwerksnormen enthalten sind, sind für die Bemessung entwickelt worden. Zur Analyse von Folgen sind sie wenig geeignet. Spezifische Berechnungsgrundlagen gibt es zur Zeit für Erdbeben und Windeinwirkungen (siehe zum Beispiel BACHMANN 1995, COOK 1993). Für Stösse, die bei Lawinen, Rutschungen, Felsstürzen oder Murgängen massgebend sind, fehlen entsprechende Modelle.

Zur Darstellung des Risikos kommen wieder der Kategorien- und Indikatorenansatz in Frage. Letzterer ist besonders zur Quantifizierung geeignet. Im Handbuch zur Störfallverordnung ist für technische Risiken ein Klassierungsschema für Schäden erarbeitet worden (Abbildung 5.5). Dessen Indikatoren sind auch auf Naturrisiken anwendbar. Für die Vergleichbarkeit verschiedener Risiken ist es sinnvoll, sich an dieser Grundlage zu orientieren.

Die prognostische Bestimmung der zu erwartenden Folgen fehlt bei der traditionellen, prozessorienterten Betrachtungsweise. Hier geht die Risikoanalyse wesentlich weiter als die bisherige Praxis.

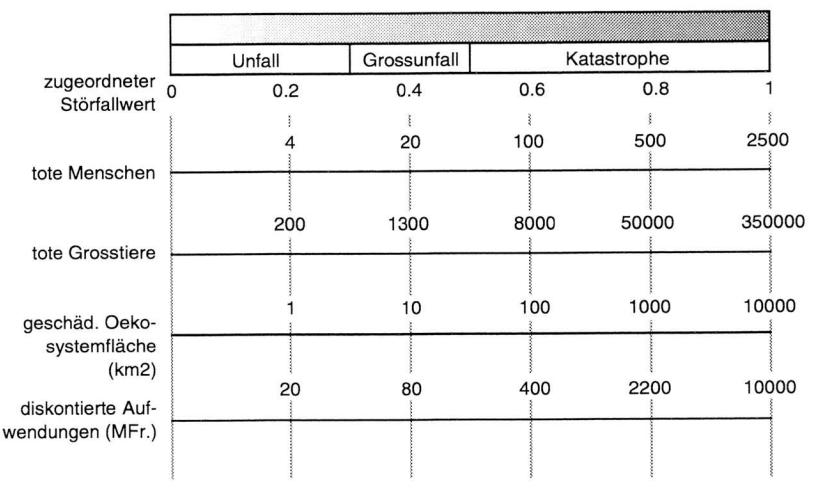


Abb. 5.5 Für Naturereignisse relevante Störfallwerte nach Handbuch zur Störfallverordnung: Die Skalierung erlaubt, die Bedeutung verschiedener Schäden zu vergleichen.

5.2.5 Vorbereitungs- und Abschlussarbeiten der Risikoanalyse

Die meisten dieser Arbeiten sind Teil des «normalen» Projektmanagements (bzw. einer vergleichbaren Tätigkeit, wenn die Analyse nicht als Projekt organisiert ist).

Die Vorbereitung umfasst folgende Aspekte:

- Zielformulierung und Aufgabenstellung;
- personelle, zeitliche und organisatorische Ablaufplanung;
- Vorgaben zur Qualitätssicherung;
- Bereitstellung der Ressourcen.

Die Zielformulierung definiert den Zweck und die operationelle Aufgabenstellung der Analyse. Die Personalplanung betrifft primär die Analyseteams. Optimal ist eine Grösse von 5 bis 7 Personen (KLETZ 1983). Bei Analysen mit mehreren gefährlichen Prozessen drängt sich oft die Gliederung in Fachteams auf (Tabelle 5.7).

Bereich	*Fachteam*	*mögliche Zusammensetzung*
Erdmassen-bewegungen	geologische Risiken	Geologe, Geomorphologe, Geograph, Bauingenieur, Forstingenieur, Raumplaner, Versicherungsfachmann
Wasser-gefahren	hydrologische Risiken	Hydrologe, Hydrogeologe, Hydraulik-Ingenieur, Bauingenieur, Forstingenieur, Raumplaner, Versicherungsfachmann
meteorolog. Prozesse	meteorolog. Risiken	Klimatologe, Atmosphärenphysiker, Geograph, Agronom, Bauingenieur, Forstingenieur

Tab. 5.7 Die Gliederung in Fachteams erlaubt, mehrere gefährliche Prozesse zu untersuchen, ohne dass die ideale Grösse von 5 bis max. 7 Personen überschritten wird.

Weiter sind Verantwortlichkeiten, Kompetenzen und das Informationswesen zu regeln. Das Analyseobjekt und die Zielsetzung ergeben den zeitlichen und finanziellen Rahmen.

Die Qualitätssicherung (QS) basiert auf dem Vergleich von Realität und Planung und der Review der Arbeiten (SUOKAS 1993, ROUHIAINEN 1993). Drei Aspekte sind dabei besonders wichtig (vgl. Abbildung 5.6):

- Organisation: Erfahrung und Ausgewogenheit des Teams, Integration aller relevanter Stellen, optimale Kommunikation und klare Regelung der Verantwortlichkeiten;
- technische Arbeiten: Vollständigkeit (Prozesse, Wertobjekte und Grundlagen), Genauigkeit (Daten und Modelle), Quantifizierung der Unsicherheiten, Verifikation der Resultate (Plausibilität, Parametersensitivität), methodische Konsistenz;
- Dokumentation: Klarheit und Aussagekraft der Resultate, Nachvollziehbarkeit aller Schritte.

Wichtige Abschlussarbeiten der Analyse sind:

- Aufbereitung / Verbreitung der Resultate;
- Erstellen der Dokumentation;
- Festlegung eines Konzeptes für die Werterhaltung.

Die Aufbereitung und Verbreitung der Resultate dient der zielgruppengerechten Information. Neben der Reduktion der Datenmenge (zum Beispiel durch Bildung von Risikoklassen) sind vor allem die Kommunikationsmittel wichtig. Karten sind zur Darstellung von räumlichen Naturrisiken am besten geeignet (Abbildung 5.7).

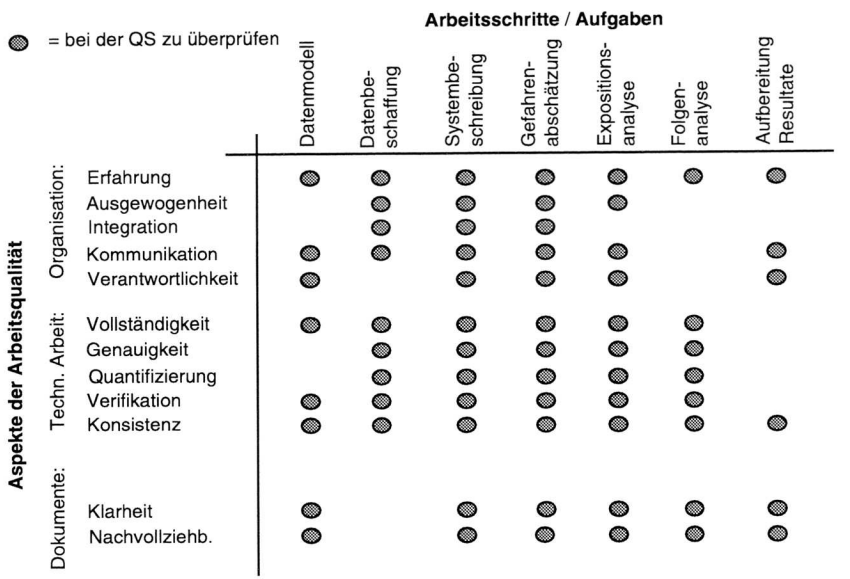


Abb. 5.6 Die Qualitätssicherungsmatrix zeigt, welche Arbeitsschritte der Risikoanalyse einer Review zu unterziehen sind (in Anlehnung an IAEA 1992).

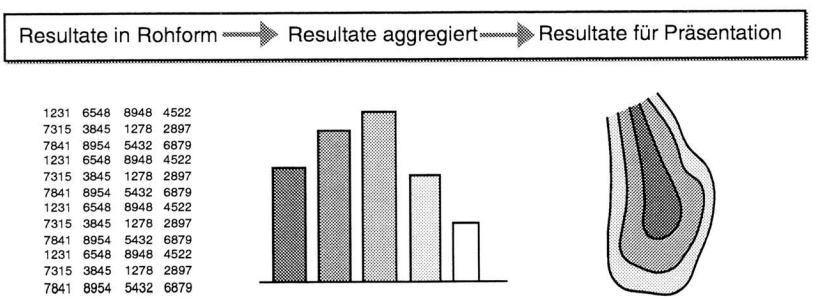


Abb. 5.7 Die bei der Risikoanalyse anfallenden Rohinformationen müssen soweit wie möglich aggregiert und in verständlicher Form präsentiert werden.

Eine abgeschlossene Risikoanalyse ist eine Momentaufnahme. Angesichts des hohen Aufwandes ist die Werterhaltung wichtig. Ideal ist eine kontinuierliche Nachführung, weil sie wenig Aufwand verursacht. Die meisten natürlichen gefährlichen Prozesse ändern langsam. Die Exposition ändert zwar rasch, sie ist aber einfach nachzuführen (aufgrund von Karten, Grundbuchplänen etc.). Wenn die Qualität der Wertobjekte nicht ändert, kann die Entwicklung des Risikos anhand der Exposition abgeschätzt werden, wenn entsprechende Daten der «Erstanalyse» verfügbar sind. Tabelle 5.8 zeigt, welche Aspekte für die Werterhaltung wichtig sind.

Art d. Schnittstelle	*Bereich*	*Aufgabe*	*Ansatz*
technisch	Daten	Datenzugriff sichern	Datenmodell und Datenbankverwaltungssystem erhalten
naturwissenschaftlich	Modelle	Prüfung und Anpassung erlauben	verwendete Daten verfügbar halten / sicher archivieren
technisch	Methode	Anpassung erlauben	Methode klar dokumentieren (verwendete Checklisten etc.)
organisatorisch	Personal	Personalorganisation	Liste aller beteiligten Leute / Strukturen dokumentieren
organisatorisch	Resultat	Darstellung d. Resultate	reproduzierbare Formate für Darstellung benutzen
organisatorisch	Resultat	Verwaltung	klare Kompetenzzuweisung / Pflichtenheft ausarbeiten

Tab 5.8 Schnittstellen für die Werterhaltung der Analyse. Der Aufwand für eine Aktualisierung, Revision, Ergänzung oder Integration in übergeordnete Abklärungen hängt wesentlich von der Gestaltung der Schnittstellen ab. Informationsverluste sind i.d.R. irreversibel.

Das skizzierte Vorgehen bei einer Risikoanalyse stellt primär eine Erweiterung der bisherigen Praxis um Expositions- und Folgenanalyse dar. Die Denkweise technischer Analysen kann somit unverändert auf Naturgefahren übertragen werden.

5.3 Methoden der technischen Risikoanalyse

Nachfolgend geht es darum, die wichtigsten Methoden der Risikoanalyse aus dem technischen Anwendungsbereich vorzustellen. Dabei sind folgende Punkte zu beachten:

- Die vorgestellten Methoden sind grundsätzlich nicht an bestimmte Analyseobjekte gebunden, sondern universell anwendbar;
- die verschiedenen Methoden können miteinander kombiniert werden, was unter Umständen zu besonders gut angepassten Lösungen führen kann;
- die Methoden sind Formalismen, Resultate ergeben erst, wenn Informationen über das Untersuchungsobjekt vorliegen.

Die Methoden dienen dazu, durch strukturierte Betrachtung Risiken zu ermitteln. Sie liefern keine Angaben, die anders nicht zu gewinnen sind. Sie stellen damit ein abstraktes Hilfsmittel zur Lösung von konkreten Problemen dar.

Risikoanalysemethoden stellen ein Verfahren zur Verarbeitung von Informationen über das Untersuchsobjekt zur Verfügung, sie stellen aber keinen Ersatz für gute Systemkenntnisse und die richtige Modellierung des Objektes dar.

Die bestehenden Verfahren können in qualitative, semiquantitative und quantitative Methoden gegliedert werden. Detaillierte Angaben zu allen beschriebenen Verfahren sind in der Literatur zu finden (zum Beispiel IAEA 1992, KRÖGER 1992, SCHNEIDER 1996).

5.3.1 Qualitative Methoden

Qualitative Methoden zeigen risikorelevante Ereignisketten innerhalb eines Systems auf.

Qualitative Methoden erlauben höchstens Schätzungen über die Bedeutung verschiedener Einzelrisiken. Ihr absolutes Ausmass oder ihr relativer Beitrag zum Gesamtrisiko kann nicht bestimmt werden. Die Resultate sind nur beschränkt als Entscheidungsgrundlage verwendbar.

Qualitative Methoden kommen (weitgehend) ohne statistische Daten aus. Sie erfordern wenig Aufwand und Systemkenntnisse. Damit eignen sie sich besonders für die Analyse von neuartigen Objekten. Häufig verwendet werden Checklisten und die Preliminary Hazard Analysis PHA.

5.3.1.1 Checklistenverfahren

Das Checklistenverfahrem ist eine empirische, intuitive Methode. Zuerst wird das System definiert und funktional untersucht. Darauf folgt die Gefahrenidentifikation anhand von Leit- oder Schlüsselwörtern, die Abweichungen von einem definierten Sollzustand beschreiben. Diesen Zustand gibt es zwar in natürlichen Systemen nicht; der Ansatz kann aber trotzdem Hinweise auf mögliche Gefahren geben (Tabelle 5.9).

Eine Liste von allgemeinen Gefahrenquellen und von gefährlichen Komponenten (vgl. Tabelle 5.10) dient dann zur Bestimmung kritischer Systemzustände. Bei Naturgefahren ist die Definition von Komponenten wesentlich schwieriger als in technischen Systemen.

Resultat des Checklistenverfahrens ist eine Aufzählung von Gefährdungen. Seine Vorteile sind der einfache Aufbau, die breite Anwendungsmöglichkeit und die rasche Handhabung. Nachteilig ist die Anfälligkeit für Lücken, die völlige Abhängigkeit vom Wissen der Personen, die die Analyse durchführen, und die fehlende Quantifizierbarkeit der Ergebnisse.

Leitwort	*mögliche Anwendung bei Natursystemen*
mehr als / weniger als	mehr Wasserabfluss als 1000 m^3s^{-1}
keiner von	kein Rückhalteraum verfügbar
Teil von	ein Teil des Abflusses verlegt
grösser als / kleiner als	Grösstkorn im Geschiebe grösser al Durchlass
anders als	Niederschlagsverteilung anders als normal
später als / früher als	Schneeschmelze früher als im Mittel

Tab. 5.9 Beispiele für Leit- und Schlüsselwörter und ihre Anwendung zur Identifikation von Gefahren in natürlichen Systemen

allgemeine Gefahrenquellen	*Komponenten*
Druck	lose Felsmassen
statische Lasten	gestaute Wassermassen
dynamische Beanspruchungen	brennbare Stoffe
Kälte	Geschiebekörner
Hitze	giftige Gase
Feuchtigkeit	
Trockenheit	
Giftigkeit	

Tab. 5.10 Ausschnitt aus einer Liste mit Gefahrenquellen und gefährlichen Komponenten, wie sie beim Checklistenverfahren angewandt wird.

5.3.1.2 Preliminary Hazard Analysis PHA

Die induktive PHA ist eine Erweiterung des Checklistenverfahrens. Sie wird oft in frühen Stadien von Projekten angewandt. Basis der PHA ist die grobe Beschreibung des Systems mit allen wesentlich Subsystemen und Stoffflüssen. Mit einer Checkliste werden Ausfallmechanismen und die resultierenden Gefahrenpotentiale bestimmt und mit einer Tabelle qualitativ und wenn möglich ordinal untersucht (Tabelle 5.11).

Im Unterschied zur Checkliste untersucht die PHA nicht nur Systembestandteile, sondern auch Zustände und mögliche Korrekturmassnahmen. Dies erlaubt bei technischen Projekten, Schwachstellen früh zu entdecken und zu eliminieren. Diese Prognosemöglichkeit ist bei natürlichen Systemen zum Beispiel ein Vorteil, wenn zukünftige Raumnutzungen zu analysieren sind. Die Anfälligkeit auf Lücken, der grösste Nachteil der Checkliste, kann hingegen auch durch die PHA nicht behoben werden.

unters. Teil	*Betriebs-zustand*	*gefährl. Element*	*auslös. Ereignis*	*gefährl. Zustand*	*Störfall-ursache*	*möglicher Störfall*	*mögliche Auswirk.*	*getroff. Massn.*
Steue-rung	normal	Stromver-sorgung	Stromaus-fall	Regelung unmöglich	Hoch-wasser	Rückhalt fällt aus	Ueberflu-tung Dorf	Einbau Batterie
Steue-rung	normal	Software	Laufzeit-fehler	falsche Regelung	Code-fehler	zu grosser Abfluss	Ueberflu-tung Dorf	Software-tests

Tab. 5.11 Ausschnitt einer Preliminary Hazard Analysis (PHA) für eine Anlage zur Regelung des Wasserabflusses (zum Beispiel Dotierschütz einer Wasserfassung).

5.3.2 Methoden mit beschränkten Quantifizierungsmöglichkeiten

Halbquantitative Ansätze beschreiben Risiken anhand einer willkürlich festgelegten Skala. Die Skalierung kann rein verbal, numerisch (Intervalle) oder gemischt erfolgen.

Die wichtigsten Vertreter der Gruppe der semiquantitativen Methoden sind die Failure Mode and Effect Analysis FMEA, die Hazard and Operability Study HAZOP und die Zürich Hazard Analysis ZHA.

5.3.2.1 Failure Mode and Effect Analysis FMEA

Die FMEA ist eine induktive Methode auf Komponenten -bzw. Subsystemstufe. Sie untersucht, wie eine Betrachtungseinheit ausfallen kann und welche Auswirkungen auf andere Bestandteile daraus resultieren. Daraus können kritische Komponenten bestimmt werden, welche zu einem Systemversagen führen. Anders als Checkliste und PHA werden auch Wechselwirkungen mit der Umwelt betrachtet. Eine FMEA erlaubt zudem die Berücksichtigung von Umwelts- und systeminternen Einflüssen (Arbeitsbedingungen etc.).

Die FMEA ist eine detaillierte und aufwendige Methodik. Innerhalb des Systems werden alle Betrachtungseinheiten erfasst, die Gesamtheit der jeweils möglichen Versagensmodi identifiziert und die Auswirkungen auf andere Systemteile, Systemzustände, das Gesamtsystem und die Umwelt abgeschätzt. Die Resultate der FMEA sind primär qualitativ. Die Zuordnung der Ausfallarten zu Häufigkeitsklassen bzw. der Auswirkungen zu Schwereklassen erlaubt Aussagen über die ordinale Bedeutung verschiedener Risiken.

Die Ergebnisse der Analyse werden bei der FMEA in einer Tabelle dargestellt (Tabelle 5.12).

Der Vorteil der FMEA liegt in der expliziten Betrachtung der Effekte. Es wird nicht nur untersucht, unter welchen Umständen das System noch funktioniert, sondern welches die möglichen Folgen von Ausfällen sind. Nachteilig ist die Notwendigkeit der Definition von Versagensmechanismen (failures), die es in natürlichen Systemen eigentlich nicht gibt.

Betr.-Einheit	*Ausfallart*	*Häufigkeit*	*Auswirkung*	*Schwere*	*Folgen*	*Massnahme*
Böschung eines Rutschhanges an einem Vorfluter	hydraul. Grundbruch	sehr selten	Destabilisierung Hang, Materialfreisetzung	sehr schwer, kritisch	spontaner grosser Murgang	Sickerwasser ableiten
	stat. Grundbruch	selten	Destabilisierung Hang, Materialfreisetzung	schwer	spontaner Murgang	Hangfuss entlasten
	Kriechen	ziemlich wahrsch.	reduz. Terrainstabilität	gering	Geschiebefracht erhöht	Drainage
	Unterspülen	sicher	Destabilisierung Hang	gering	Geschiebefracht erhöht	Rollierung einbringen

Tab. 5.12 Ausschnitt aus einer FMEA-Ergebnistabelle

5.3.2.2 Hazard and Operability study HAZOP

Beim induktiven HAZOP-Verfahren wird mit Leitwörtern festgestellt, wie ein System unter abnormalen Bedingungen reagiert. Die HAZOP ist auf die Optimierung der Zuverlässigkeit von Produktionssystemen ausgelegt. Eingangsgrösse sind an kritischen Knoten angenommene Abweichungen (qualitativ), mit denen das weitere Verhalten des Systems bestimmt wird.

Ursprünglich wurde die HAZOP-Methodik für kontinuierliche Prozesse entwickelt (KRÖGER ET AL. 1992). Sie ist aber auch auf diskontinuierliche Abläufe anwendbar, wobei unter Umständen andere Leitwörter zur Anwendung kommen (vgl. Tabelle 5.13).

Leitworte für kontinuierlichen Prozess	*Anwendung bei natürlichen Systemen*	*Leitworte für diskontinuierlichen Prozess*	*Anwendung bei natürlichen Systemen*
kein	kein Feststofftransport bei Pt. x	keine	keine Feststoffdeposition
geringer, weniger	weniger Feststofftransport	zuviel	zuviel Feststoffdeposition
höher, mehr	mehr Feststofftransport	zuwenig	zuwenig Feststoffdeposition
anders	Feststofftransport ist anders	andere	andere Feststoffdeposition

Tab. 5.13 HAZOP-Studien gehen von Leitwörtern aus, mit denen abnormale Systembedingungen charakterisiert werden können. Je nach Charakter des Prozesses werden andere Leitwörter verwendet.

Die HAZOP basiert auf individuellem Wissen. Bei der Analyse ist es wichtig, dass die Mitglieder des Analyseteams mit dem Untersuchungssystem gut vertraut sind.

Im Unterschied zur FMEA liegt der Schwerpunkt bei der HAZOP in der Betrachtung von Abläufen anstelle von Komponenten. Es interessiert nicht die Art des Ausfalls sondern die Art der Störung und der möglichen Massnahmen. Die Ergebnisse sind qualitativer Natur. Quantifizierungen in beschränktem Mass sind möglich, wenn Actio–reactio–Beziehungen des Systems quantifizierbar sind.

Ein Vorteil der HAZOP sind die einfachen Fragestellungen. Damit besteht aber besonders bei grossen Systemen die Gefahr, dass komplexe Ereignisketten unerkannt bleiben. Zudem werden meist nur systeminterne Einflüsse berücksichtigt.

5.3.2.3 Zürich Hazard Analysis ZHA

Die ZHA (Name kommt von der Versicherung) ist eine induktive, halbquantitative Methode, bei der die Folgenanalyse explizit eingeschlossen ist. Aufgrund der Systembeschreibung werden alle denkbaren Ereignisse ermittelt und nach einem Raster bezüglich Häufigkeit (sehr häufig bis unmöglich) und Schwere (vernachlässigbar bis katastrophal) klassiert (Tabelle 5.14). Damit ist eine Ordnung verschiedener Risiken möglich, ohne dass die absoluten Grössen bekannt sind.

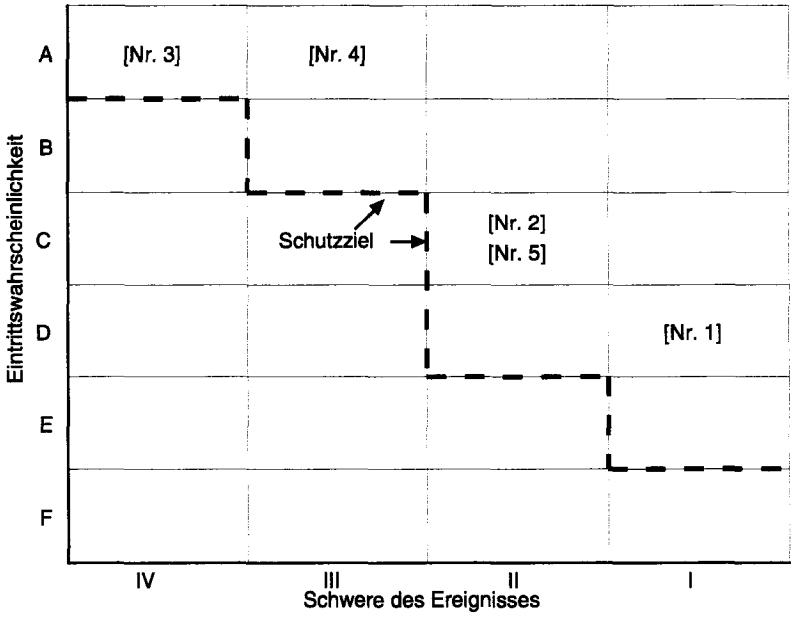


Abb. 5.8 Raster der ZHA-Methode mit Einordnung der Ereignisse von Tab. 5.14. Keines der Ereignisse verletzt das willkürlich festgelegt Schutzziel.

Bei der ZHA wird mit einer möglichst engen Systemdefinition gearbeitet und die Menge der Information auf das Minimum beschränkt. Andererseits wird durch den Beizug von externen Personen (im Gegensatz zur HAZOP) die Sichtweise erweitert. So ist die Technikfolgenabschätzung explizit Teil der ZHA. Ausserdem

wird mit der Prüfung bestehender Risiken anhand vorher definierter Sicherheitsziele bereits ein Teil der Risikobewertung vorgenommen und Handlungsbedarf für das Risikomanagement ermittelt (Abbildung 5.8).

Nr	*Gefahr*	*Ursache*	*Häufigkeit*	*Auswirkung*	*Schwere*
1	grosse Sturzmasse	Kluftwasserdruck	D	Tote, Verletzte	I
2	geringe Sturzmasse	Kluftwasserdruck	C	Verletzte	II
3	einzelne Blöcke	Frost	A	Beschädigung Verbau	IV
4	Verschlammung	Starkniederschlag	A	Beschäd. Kanalisation	III
5	Bodenvernässung	Ueberschwemmung	C	Ernteausfall	II

Tab. 5.14 Darstellung von Gefahren und Auswirkungen bei der ZHA.

5.3.3 Quantitative Methoden

Die Stärke der quantitativen Ansätze liegt in der Abbildung des Systemverhaltens und der Genauigkeit der Resultate. Sie ergeben gute Grundlagen für das Risikomanagements.

Daten- und Modellunsicherheiten schränken zwar die praktisch erreichbare Genauigkeit auch bei quantitativen Methoden stark ein. Dennoch liefern sie bessere Angaben über die relativen und absoluten Werte einzelner Risiken als andere Methoden. Gleichzeitig ergibt sich wegen der hohen Anforderungen an die Systembeschreibung ein sehr guter Einblick in das Analyseobjekt. Die grosse Zahl der zu untersuchenden Kausalketten und die Beschaffung der Datenbasis verursachen andererseits einen hohen Aufwand. Dies dürfte ein Grund sein, weshalb sie bisher noch fast nie zur Analyse von Naturrisiken eingesetzt wurden.

Quantitative Methoden lassen sich auch rein qualitativ anwenden, ein Teil ihrer Vorteile geht dabei aber verloren.

Die beschriebenen Methoden basieren auf logischen Verknüpfungen von Systembestandteilen und -zuständen. Solche Operationen sind mathematisch genau und mit geringem Aufwand berechenbar. Die Zahl der verschiedenen Operationen ist klein, lediglich drei elementare Verknüpfungen (UND, ODER, NICHT) werden benötigt. Diese Methoden eignen sich deshalb besonders für computergestützte Berechnungen und Simulationen.

Die graphische Darstellung der aussagenlogischen Strukturen erfolgt mit Bäumen, aus denen die möglichen Pfade von oder zu einem bestimmten Zustand ersichtlich sind. Unterschieden werden die Fault-Tree- und die Event-Tree-Analyse.

5.3.3.1 Fault Tree Analysis FTA

Das reale System wird bei der FTA in ein logisches Modell transformiert. Für ein vorher festgelegtes «Ereignis» (sog. «top-event») zeigt man analytisch auf, durch welche Interaktionen es entstehen kann (d.h. die FTA ist ein sog. «top-down»-Verfahren). Das bedeutet, dass alle möglichen Systemkonstellationen,

die zu Versagen führen können, dargestellt werden. Mittels den Verknüpfungen der Aussagenlogik entwickelt man daraus den Fehlerbaum (Abbildung 5.9).

In komplexen Systemen ist es oft nötig, den Baum in Teile zu zerlegen, um seine Bearbeitung einfacher zu machen. Eine Reduktion der Komplexität kann auch dadurch erreicht werden, dass man Betrachtungseinheiten zusammenfasst.

Der grosse Vorteil der FTA ist, dass quantitative Angaben über die Wahrscheinlichkeit verschiedener Versagen bestimmt werden können, selbst wenn keine direkten (d.h. statistischen) Informationen vorliegen. Die so berechneten Werte können dann zum Beispiel in Ereignisbäumen (vgl. unten) eingesetzt werden. Nachteilig ist bei der FTA vor allem der Aufwand für die Entwicklung der Baumstruktur.

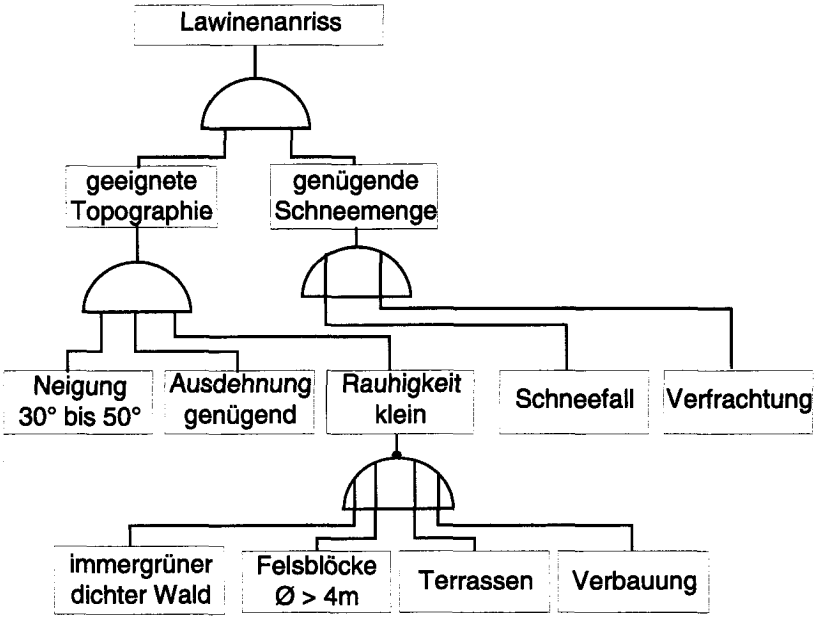


Abb. 5.9 Darstellung eines Lawinenanrisses mittels Fehlerbaum. Zur Symbolik des Fehlerbaumes und zur Quantifizierung siehe zum Beispiel KRÖGER (1992) oder SCHNEIDER (1996).

5.3.3.2 Event Tree Analysis ETA

Die ETA wendet einen ähnlichen, wenn auch anders gerichteten Ansatz («bottom-up») an wie die FTA. Ausgehend von «auslösenden Ereignissen» AE werden alle möglichen Entwicklungen des Systems kaskadenartig untersucht und die möglichen Folgen bestimmt. Die ausschliessende ODER-Verknüpfung ist der einzige Operator der ETA (eine bestimmte Entwicklung tritt ein oder nicht). Dies ist in Abbildung 5.10 sofort zu erkennen.

Sofern über die Eintrittswahrscheinlichkeit einer Ereignisfolge Zahlen vorliegen (zum Beispiel aus einer FTA), ist es möglich, quantitative Aussagen über die aus einem AE zu erwartenden Folgen zu machen.

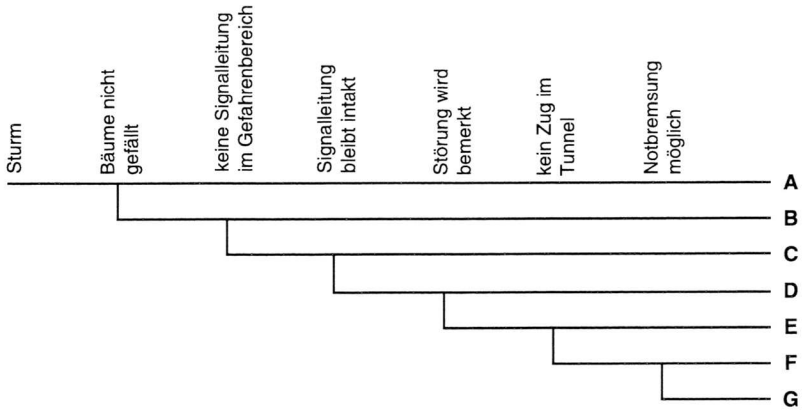


Abb. 5.10 Event Tree ET: Die Darstellung zeigt anhand eines real eingetretenen Unfalls, wie Risiken mit einem Ereignisbaum analysiert werden können.

Ein Vorteil der ETA ist ihre gute Eignung zur Analyse von Ereignisabläufen, wobei theoretisch unendlich viele Ursache-Folge-Relationen in einer einzigen Baumstruktur untersucht werden können. Die einfachen mathematischen Operationen erlauben eine computergestützte Berechnung. Ein wesentlicher Nachteil ist die Komplexität, die schon bei einfachen Problemstellungen eine manuelle Bearbeitung schwierig und unübersichtlich macht.

5.3.4 Ergänzende Methoden

Neben eigentlichen Risikoanalysemethoden gibt es für Teilbereiche Verfahren, die Zusatzinformationen über das Verhalten von Komponenten oder Subsystemen liefern, welche zur Berechnung von Wahrscheinlichkeiten bei quantitativen Risikoanalysen dienen.

Ein wichtiges Hilfsmittel bei technischen Anwendungen ist die Precursor study (KRÖGER 1992). Sie untersucht real eingetretene Ereignisse, welche zu einem Störfall geführt hätten, wenn sie nicht abgefangen worden wären. Basierend auf den «Störfallbeginnern» wird untersucht, welche Ereignisabläufe dadurch ermöglicht werden (mit einer ETA) und wie gross die Wahrscheinlichkeit für das Ausbleiben der jeweiligen Abfangmechanismen ist.

In vielen Systemen sind Elemente vorhanden, die ein Ereignis nicht verhindern, aber die Dauer oder das Ausmass schädigender Auswirkungen vermindern können (zum Beispiel Wehrdienste). Der zeitliche Verlauf des Ereignisses und menschliche Handlungen sind für ihre Wirksamkeit von erstrangiger Bedeutung. Sie lassen sich nur bedingt in die oben genannten Methoden einbauen und werden deshalb im Rahmen von Risikoanalysen oft gesondert betrachtet (MOIENI 1991).

Um die Wirkung von Interventionen abzuschätzen, muss man das menschliche Verhalten möglichst gut prognostizieren (WELLS 1991, ROTH ET AL. 1992, INAGAKI 1991). Dazu sind Dutzende von Methoden jeglichen Komplexitäts-

grades und für eine Vielfalt von Situationen entwickelt worden. Die meisten dieser Techniken basieren auf sog. «Performance-shaping-Factors» PSF, einem Satz von Umweltbedingungen, welche die Leistungsfähigkeit des Menschen beeinflussen (CACCIABUE 1991, HOLLNAGEL 1991). Die verfügbare Zeit ist der wichtigste PSF. Andere Konzepte gehen davon aus, dass die Gestaltung von Schnittstellen eine entscheidende Rolle für die Zuverlässigkeit hat (BAGNARA 1991, BLACKMAN 1991). Untersuchungen (vgl. zum Beispiel SPURGIN 1991) zeigen aber, dass die bestehenden Ansätze zur Modellierung der «human reliability» gravierende Mängel aufweisen und nur grobe Anhaltspunkte ergeben.

Die menschliche Zuverlässigkeit ist in der Technik sehr wichtig, weil vielen Abläufen festen Handlungsvorgaben zugrunde liegen (WILLIAMS 1991, WAHLSTRÖM 1991). Bei einem bestimmten Systemverhalten (zum Beispiel Ueberhitzung von Anlageteilen) wird angenommen, dass der Mensch eingreift (Aktivierung von Kühlsystemen, Abschaltung). Bei Naturgefahren fehlen solche Prozeduren oft. Trotzdem ist die menschliche Zuverlässigkeit auch bei Naturereignissen wichtig: in seiner Funktion als Teil eines MMU-Systems (Mensch-Maschine-Umwelt) kann der Mensch durch richtiges Reagieren (zum Beispiel durch Schliessung von Wehren zum Wasserrückhalt) Schäden verhindern.

5.4 Hilfstechniken zur Durchführung einer Risikoanalyse

In einer Naturrisikoanalyse werden räumliche, mit grossen Unsicherheiten behaftete, objektspezifische, qualitative und oft auch subjektive Informationen verarbeitet. Um eine möglichst breite und gleichzeitig konsistente Datenbasis zu erhalten, ist eine Aufbereitung nötig. Damit werden drei Ziele verfolgt:

- Erweiterung der Datenbasis durch Beizug «externer» (nicht direkt am Objekt messbarer) Informationen, insbesondere Expertenmeinungen;
- Verwertung «unscharfer» Information, vor allem von qualitativen Grössen;
- Eichung (Kalibrierung) und Aggregation (Poolen) subjektiver Einschätzungen.

Bayes'sche Statistik, Fuzzy-Logik und Delphi-Analyse sind Methoden, die sich zur Lösung dieser Aufgaben bewährt haben.

5.4.1 Erweiterung der Datenbasis mittels Bayes'scher Statistik

Statistische Angaben über das Verhalten natürlicher Systeme in der Vergangenheit müssen in der Regel durch zusätzliche (d.h. neuere oder andere) Daten ergänzt werden. Besonders wichtig ist dies, wenn über das Analyseobjekt nur wenig spezifische Informationen vorliegen. Dies ist bei natürlichen Systemen oft der Fall.

Für eine Variable y soll also aus der Verteilung der Messwerte f(y) und einer Menge von Zusatzinformationen (meist Schätzwerte) p*(y) eine neue Verteilungsfunktion f'(y) konstruiert werden, die eine bessere Anpassung an das reale Verhalten ergibt als die ursprüngliche Funktion f(y). Ein Ansatz wäre die Konstruktion einer neuen Verteilung aus allen verfügbaren Informationen. Wenn vorhandene Datenbestände nicht vom Analyseobjekt selber stammen und

Informationen mit unterschiedlichem Charakter umfassen (Messung vs. Expertenurteil), ist dieses Vorgehen nicht brauchbar. Eine Gewichtung der Information ist nicht möglich, was zu verzerrten Resultaten führt.

Neben bekannten Daten müssen auch zusätzliche Informationen wie Gutachten oder Expertenmeinungen in Risikoanalysen berücksichtigt werden. Das Theorem von Bayes liefert die theoretische Basis dazu.

Die Integration von bestehenden und neuen Informationen erfolgt nach dem Theorem von Bayes. Es lautet (vgl. zum Beispiel SCHNEIDER 1996):

$$P(A_i|B) = \frac{P(A_i) \cdot P(B|A_i)}{P(B)} \qquad [21]$$

mit

$P(A_i)$	Wahrscheinlichkeit von A_i vor Eintreffen der Information B
$P(B\|A_i)$	Wahrscheinlichkeit von B unter der Bedingung, dass A_i zutrifft
$P(B)$	Wahrscheinlichkeit von B
$P(A_i\|B)$	Wahrscheinlichkeit von A_i unter der Bedingung, dass B zutrifft

$P(A_i)$ entspricht zum Beispiel dem Expertenurteil über die Wahrscheinlichkeitsverteilung eines Ereignisses A_i. Für die aus Daten gewonnenen Informationen P(B) kann nun untersucht werden, wie wahrscheinlich (bei Annahme der Richtigkeit des Expertenurteils) das Zustandekommen dieser Information ist; dies entspricht dem Term $P(B|A_i)$. Kombiniert ergibt sich daraus die sog. a-posteriori-Wahrscheinlichkeit $P(A_i|B)$, welche beide Informationen beinhält (vgl. Abbildung 5.11).

Ueber die Bayes'sche Statistik liegt umfangreiche Literatur vor (zum Beispiel WICKMANN 1990). Zur Bestimmung von sehr kleinen, nicht allein durch Daten abzusichernden Wahrscheinlichkeiten stellt sie ein leistungsfähiges Instrument dar. Sie wird deshalb bei Risikoanalysen immer mehr verwendet (siehe zum Beispiel SANDER 1991, KAPLAN 1991, MOSLEH 1991, CLAROTTI 1993, CAZZOLI 1993). Gerade die Nutzung «generischer» (nicht vom Objekt selbst stammender) Daten ist oft nur durch eine Anpassung an die spezifischen Bedingungen des Analyseobjektes möglich. Bei Naturgefahren kann die Kombination von Gutachten und bestehenden «objektiven» Fakten (Messwerten) eine Datenbeschaffung im Rahmen der Risikoanalyse unnötig machen.

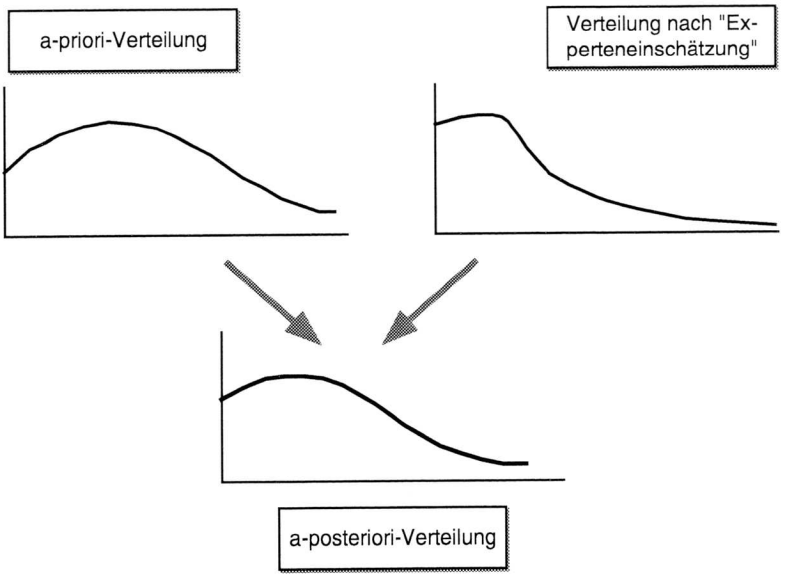


Abb. 5.11 Bayes' Theorem: Die Informationen aus Daten und einer Expertenschätzung werden zu einer a-posteriori-Verteilung kombiniert.

5.4.2 Behandlung unscharfer Grössen durch Fuzzy-Logik

Qualitative Informationen haben keine scharfe Abgrenzung. Die numerische Bedeutung eines Adjektivs wie «gross» oder «heiss» ist subjektiv verschieden und eventuell zeitvariant. Die ganze Sprache zeichnet sich durch solche «Unschärfen» aus. Wenn Informationen für quantitative Risikoanalysen nur in qualitativer Form vorliegen oder eine «Uebersetzung» von numerischen in verbale Grössen (zum Beispiel zur Beschreibung von Risiken) erfolgt, sind also Regeln für diese Transformation nötig.

Ein mathematischer Formalismus zur Transformation qualitativer und quantitativer Grössen ist die Fuzzy-Logik.

Die Grundlagen der Fuzzy-Logik wurden durch ZADEH (1968) entwickelt. Sie ordnet unscharfen Grössen eine Wahrscheinlichkeitsverteilung zu. So wäre eine Temperatur T = 15° C mit p=0 und eine T 30° C mit p=1 «heiss». Die Zuordnung der Wahrscheinlichkeiten erfolgt mit der Zugehörigkeitsfunktion μ (Abbildung 5.12). Daraus ergibt sich ein Fuzzy-Set als geordnete Menge von Paaren

$$A = \{(x, \mu_A(x)) \mid x \in X\} \quad [22]$$

Ein Fuzzy-Set, bei welchem

$$\mu_A(x) \quad 1 \quad [23]$$

für alle x ist, wird als normal bezeichnet. Nicht normale Sets lassen sich normalisieren. Auf dem Fuzzy-Set lassen sich nun analog zur «scharfen» Logik Verknüpfungsoperatoren definieren. Im Gegensatz zu den bekannten Operatoren «und», «oder» und «nicht» gibt es bei Fuzzy-Sets wesentlich mehr Verknüpfungen. Eine Zusammenstellung wichtiger Operatoren und Ueberlegungen zu ihrer Auswahl sind zum Beispiel in TILLI (1991) enthalten. Neben den Aggregationsoperatoren existieren auch noch Abbildungen, die die Form eines Fuzzy-Sets verändern, die Modifikatoren. Solche werden zum Beispiel zur Normalisierung verwendet (vgl. TILLI 1991).

Mögliche Anwendungen der Fuzzy-Logik bei der Risikoanalyse sind beispielsweise die Nutzung von historischen Daten oder Augenzeugenberichten. Analysemethoden wie die ZHA (Abschn. 5.3) basieren ebenfalls auf der Fuzzy-Logik (WYLER 1991), sie sind aber auch anwendbar, ohne den Formalismus explizit zu berücksichtigen. Weiter bietet die Fuzzy-Logik im reaktiven Risikomanagement Ansätze zur Regelung komplexer Systeme.

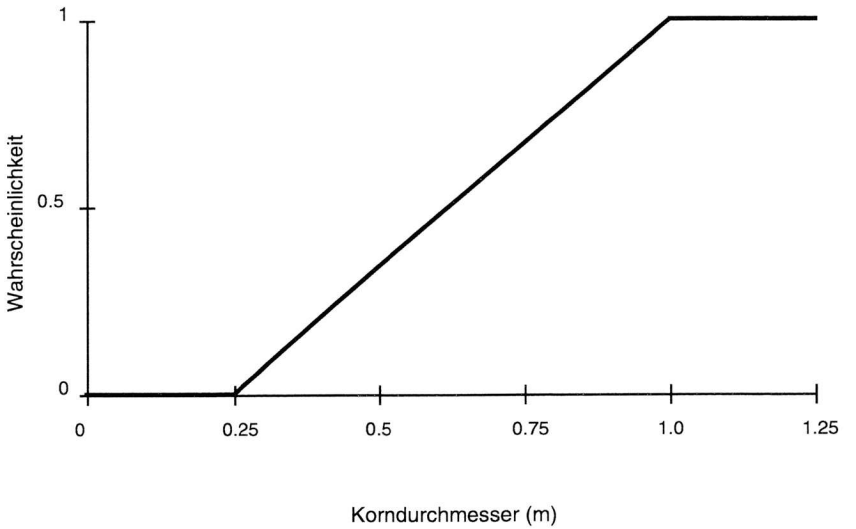


Abb. 5.12 Zuordnung von Steinen zum Adjektiv gross: Die Zugehörigkeitsfunktion μ von d zu «gross» besagt, dass Steine mit $d < 0.25$ m mit Wahrscheinlichkeit $p = 0$, solche mit $d > 1$ m mit $p = 1$ als «gross» bezeichnet werden. Dazwischen nimmt p linear zu: Ein Stein von 0.75 m Durchmesser wird zum Beispiel mit p=0,67 als gross bezeichnet.

5.4.3 Poolen und Kalibrieren von subjektiven Einschätzungen

Zur Verwendung von subjektiven Informationen kann es notwendig sein, Streuungen zwischen einzelnen Einschätzungen durch einen Eichungsprozess zu reduzieren oder sogar zu eliminieren.

Das Poolen von Information ist die Vereinheitlichung verschiedener Schätzungen auf einen Wert. Das Kalibrieren besteht in der Anpassung einer Einschätzung aufgrund von anderen Schätzungen, ohne dass die Anzahl der Werte verändert wird (VON WINTERFELDT 1991).

Verschiedene Einschätzungen kommen durch unterschiedliche Erfahrungen und Informationsgrundlagen zustande. Verfahren zum Poolen bzw. zur Kalibrierung müssen also folgendes erlauben:

- Abgleichen der Informationsbasis durch Ergänzung und Aufzeigen von Lücken;
- Erhaltung des auf Erfahrung beruhenden Teils der Einschätzung.

Ob im Einzelfall besser gepoolt oder kalibriert wird, hängt von der Problemstellung und den Schätzwerten selbst ab.

Eine Methode sowohl für das Poolen als auch die Kalibrierung ist das Delphi-Verfahren, welches aus einem gleichnamigen Projekt hervorging. Es wurde in den 50er Jahren durch die RAND Corporation in den USA entwickelt und findet in der Vorhersage (technology forecasting) und der Policy-Analyse Verwendung (COOKE 1991).

Grundsätzlich handelt es sich um eine rekursive Approximation von Schätzungen bzw. Meinungen (Abbildung 5.13). Experten, die sich gegenseitig nicht kennen, geben ihre Einschätzung zu bestimmten Fragen ab. Die Antworten werden gesammelt, deren Verteilung (meist Mittelwert und Quartile) bestimmt und den Experten erneut vorgelegt. Diese können nun aufgrund der neuen Information ihre Einschätzung revidieren oder bestätigen. Für Werte ausserhalb der Quartile wird oft eine Begründung gefordert. Die neuen Einschätzungen werden gleich verarbeitet. Normalerweise ergeben drei bis vier Durchgänge auch bei komplexen Problemen eine genügende Anpassung .

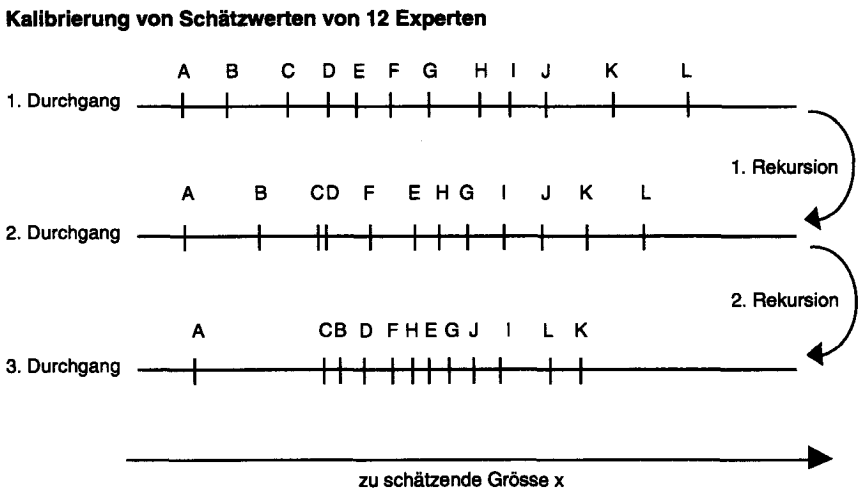


Abb. 5.13 Vorgehen bei der Delphi-Analyse: Mit jeder Rekursionsstufe rücken in diesem Beispiel die Einschätzungen näher zusammen.

Das Delphi-Verfahren ist verschiedentlich modifiziert worden mit dem Ziel, raschere und präzisere Daten zu generieren. Das grundsätzliche Vorgehen ist aber allen Varianten gemeinsam. COOKE (1991) stellt in seinem Buch die Problematik subjektiver Einschätzungen bzw. subjektiver Wahrscheinlichkeiten

umfassend dar. Danach genügt bis heute kein Verfahren allen theoretischen (d.h. mathematischen) Anforderungen, welche zur Erhaltung der Konsistenz eigentlich gestellt werden müssen. Somit scheint es gerechtfertigt, bei der Analyse von Naturrisiken das Delphi-Verfahren einzusetzen, obwohl es konzeptionell verschiedene Mängel aufweist (zum Beispiel Gewichtung, Gefahr von Verzerrungen). Es ist einfach durchzuführen und leicht verständlich. Andere Ansätze erfordern einen grösseren Rechenaufwand und liefern z.T. nur Rangierungen, die erst mit Messdaten quantifizierbar werden; sie bieten aber keine wesentlichen Vorteile.

Das Delphi-Verfahren kann besonders in der Folgenabschätzung sehr nützlich sein, da dafür meist nur wenige gesicherte Daten vorliegen und gleichzeitig die subjektiven Einschätzungen sehr stark variieren. Interessant sind Pool- und Kalibriermethoden bei Risikoanalysen, wenn verschiedene Einschätzungen zur Weiterverarbeitung auf einen Wert reduziert werden müssen (mehrere Gutachten zum gleichen Objekt) oder eine «Eichung» zwischen mehreren Personen nötig ist, die unterschiedliche Bereiche mit gleichartigen Fragestellungen bearbeiten (zum Beispiel bei kombinierten Analysen für verschiedene Risikoquellen).

Die Einschränkung der verwertbaren Datenbasis aufgrund der Besonderheiten der gefährlichen Prozesse (vgl. Abschnitt 5.1) kann mit den dargestellten Hilfstechniken teilweise behoben werden. Aus Datengründen steht der Anwendung der in Abschnitt 5.3 dargestellten Methoden nichts im Weg.

5.5 Eignung bestehender Methoden zur Analyse von Naturrisiken

Neben der grundsätzlichen Anwendbarkeit interessiert für die Entwicklung eines Verfahrensvorschlages, wie leistungsfähig die bestehenden Methoden beim Einsatz zur Analyse von Naturrisiken sind.

5.5.1 Vorgehen bei der Eignungsprüfung

Wie in Kapitel 3 bereits erwähnt wurde, gibt es keine Standardmessgrösse für die Eignung der verschiedenen Methoden. Mit dem skizzierten Ansatz des gewichteten Eignungsindexes EI

$$EI = \sum_i x_i w_i \qquad [24]$$

(mit x_i= Erfüllungsgrad, w_i= Gewicht der Anforderung i) kann aber zumindest eine grobe Aussage über die theoretische Leistungsfähigkeit gemacht werden. Dabei geht man wie folgt vor:

- Festlegen der Menge I der Anforderungen, die das Verfahren erfüllen soll
- Bestimmen der ordinalen Wichtigkeit der verschiedenen Anforderungen durch paarweisen Vergleich. Daraus ergibt sich eine Menge von Relationen zwischen jeweils 2 Anforderungen.
- Zusammenfassung der Paarvergleiche in einer Matrix, Prüfung auf Konsistenz. Als Mass dafür dient die Anzahl logischer Widersprüche (trianguläre Schlüsse der Form A<B, B<C, C<A). Die Prüfung wird nicht

aufgrund von statistischen Tests (vgl. COOKE 1991), sondern gutachtlich durchgeführt. Ist die Matrix konsistent, so lässt sich daraus eine ordinale Rangierung über alle Anforderungen ableiten.

- Festlegen der Gewichtungen auf gutachtliche Art. Eine theoretisch fundierte Verankerung der numerischen Werte, wie sie COOKE (1991) beschreibt, ist nicht möglich, weil diese Methoden auf Mehrpersonen-Einschätzungen beruhen.

Die für EI berechneten Werte sind also subjektiv gefärbt.

5.5.2 Anforderungen an die Methoden

Folgende Ueberlegungen sind bei der Definition des Anforderungskatalogs zu berücksichtigen:

- Risikoanalysen sind Datenverarbeitungsprozeduren. Ihre Leistungsfähigkeit hängt davon ab, ob sie die verfügbaren Informationen optimal ausnützen.
- Die Güte einer Analyse steigt bei vergleichbarer Qualität subproportional zur Menge der Information. Ideal sind Methoden, die bezüglich Datenmenge möglichst flexibel sind: zusätzliche Quellen sollen leicht integrierbar, Resultate aber auch mit wenig Information zu erhalten sein.
- Die wichtigste Aussage einer Risikoanalyse sind Schäden. Eine gute Methode ist sowohl zur Analyse des gefährlichen Prozesses als auch seiner Auswirkungen auf Wertobjekte gleichermassen geeignet.
- Risikoanalysen sind nicht isolierte Produkte, sondern Bestandteil einer integrativen Sicherheitsbetrachtung. Ein Verfahren muss deshalb Resultate liefern, die direkt im Risikomanagement umsetzbar sind.
- Weil Kosten und Ressourcenverbrauch von der Routine, Häufigkeit und Organisation abhängen, dürfen diese Faktoren nicht zu stark gewichtet werden.

Daraus leiten sich die operationellen Anforderungen ab. Sie lassen sich in die Bereiche Datenverarbeitung, Resultate und Generelles gliedern.

5.5.2.1 Anforderungen an die Datenverarbeitung

Die Abkürzungen in Klammern (KOMB etc.) werden teilweise in Abbildungen und Tabellen verwendet.

- Kombination (KOMB) von Informationen: Statistische und probabilistische Informationen müssen methodisch sauber (d.h. nach den Grundsätzen der Wahrscheinlichkeitstheorie) verarbeitbar sein. Besonders für die Folgenanalyse ist bei Naturrisiken eine probabilistische Ergänzung der Datenbasis notwendig.
- Integration (INTE) unterschiedlicher Informationsquellen nach Bedarf: Das Verfahren muss objektive Informationen und subjektive Einschätzungen (Expertenurteile, Gutachten) verarbeiten können. Gutachten sind bei Naturrisiken eine wichtige Informationsquelle, die systematisch mit Beobachtungen und Messungen verknüpft werden muss.
- Stochastische (STOC) Systemelemente müssen abgebildet werden können: Im Gegensatz zu technischen Systemen sind solche Elemente bei

Naturereignissen häufig. Sie müssen mathematisch berücksichtigt werden können.

- Qualitative (QUAL) Informationen müssen bei quantitativen Abklärungen berücksichtig werden können: Viele der bestehenden Informationen zu Naturrisiken sind qualitativ. Sie müssen quantifiziert ebenfalls verwendbar sein, ohne dass die Nachvollziehbarkeit in Frage gestellt wird.
- Räumliche (RAUM) Systemelemente müssen abbildbar sein: Neben der zeitlichen Variation soll das Verfahren auch der räumliche Verteilung von Parameterwerten Rechnung tragen.
- Unvollständige (UNVO) Information darf die Anwendung nicht in Frage stellen: Die wesentlichen Resultate sollen auch erhalten werden können, wenn man mit stark vereinfachten Modellen arbeitet.
- Verteilungen (VERT) von Parameterwerten müssen integrierbar sein: Viele Sachverhalte in einer Risikoanalyse sind nicht eindeutig «wahr» oder «falsch», sondern treffen mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit zu. Dies muss in den Resultaten zu erkennen sein.
- Neue (NEUE) Informationen müssen gleichwertig zu bestehenden integriert und verarbeitet werden: Eine laufende Aktualisierung des Wissensstandes muss möglich sein.
- Modelle (MODE) für die Prozessanalyse (Dispositions und Ereignisablauf) müssen in das Verfahren integrierbar sein: Zur Prognose der gefährlichen Prozesse bestehen verschiedene physikalische und mathematische Modelle. Ihre Auswahl darf durch das Verfahren nicht präjudiziert werden.

5.5.2.2 Anforderungen an die Resultate

- Gefahrenabschätzung (GEFA): Die Resultate der Gefahrenabschätzung, d.h. die Beziehung zwischen Ausmass und Wahrscheinlichkeit von Ereignissen, sollen einfach zu verarbeiten sein. Da die Folgenanalyse oft auf komplexen Modellen aufbaut, muss die Gefahrenabschätzung in geschlossener Form dargestellt werden, um den Aufwand gering zu halten Geeignet ist das Ausmass-Häufigkeitsdiagramm für die wichtigsten relevanten Parameter.
- Vergleiche (VERG) mit Risikoanalysen für andere Gefahren (Technik) müssen möglich sein: Für eine integrative Sicherheitsbetrachtung ist es notwendig verschiedene Risiken quantitativ in Beziehung zu setzen, was Kompatibilität der Darstellung (gleiche Messgrössen) erfordert.
- Managemententscheidungen (MANA) müssen auf der Analyse aufbauen können: Um den Handlungsbedarf und die Prioritäten festlegen zu können, sind Aussagen über die Bedeutung einzelner Teilrisiken notwendig.

5.5.2.3 Generelle Anforderungen

- Kosten (KOST): Die praktische Realisierbarkeit von Risikoanalysen hängt davon ab, dass die Anfangsinvestitionen klein sind im Vergleich zu den erwarteten Einsparungen durch reduzierte Schäden.
- Aufwand (AUFW): Die personellen und zeitlichen Zusatzaufwände, die durch die umfangreichere Aufgabenstellung (verglichen mit der bisherigen Praxis)

verursacht werden, sollen durch Mehrnutzen oder Einsparungen in anderen Bereichen kompensiert werden.

- Nachführung (NACH) der Risikoanalyse: Um den Nutzen einer Analyse längerfristig sicherzustellen, muss das Verfahren die Nachvollziehbarkeit, Revidierbarkeit und Aktualisierbarkeit aller Teilarbeiten erlauben.

Ein Verfahren zur Naturrisikoanalyse kann nicht alle Anforderungen erfüllen. Es stellt ein Optimum aufgrund von Prioritäten dar. Seine Eignung kann nur in Abhängigkeit der Zielsetzung geklärt werden.

5.5.3 Gewichtung der verschiedenen Anforderungen

Aufgrund des paarweisen Vergleichs ergibt sich mit der im Anhang aufgeführten Matrix eine ordinale Aussage über die Wichtigkeit der Anforderungen. Sie kann graphisch dargestellt werden als Anordnung auf einem Strahl (Abbildung 5.14).

Für die Berechnung des Eignungindexes müssen aber die Gewichtungen als kardinale Werte vorliegen. Die Transformation erfolgt auf graphischem Weg, wobei

$$\frac{w_{imax}}{w_{imin}} = 5 \qquad [25]$$

und

$$w_{imax} = 1 \qquad [26]$$

angenommen wird. Aus Abbildung 5.14 können nun graphisch Zahlenwerte für w_i herausgelesen werden. Die Ergebnisse sind in Tabelle 5.15 dargestellt.

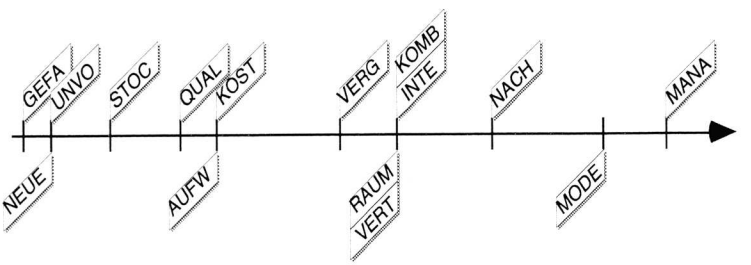


Abb. 5.14 Ordinale Wichtigkeit der einzelnen Anforderungen.

Anforderung i	*Gewicht w_i*	*Anforderung i*	*Gewicht w_i*	*Anforderung i*	*Gewicht w_i*
Kombination	0.67	unvollständige Inf.	0.24	Vergleichbarkeit	0.59
Integration	0.67	Verteilungen	0.67	Management-GL	1.00
stoch. Elemente	0.31	neue Information	0.24	Kosten	0.44
qualitative Inform.	0.40	Modellneutralität	0.92	Aufwand	0.44
räuml. Inform.	0.67	einf. Gef.-Absch.	0.20	Nachführung	0.79

Tab. 5.15 Gewichtung w_i der verschiedenen Anforderungen i (vgl. Abschn. 5.5.2) bei der Eignungsprüfung.

5.5.4 Resultate der Eignungsprüfung

Im Anhang sind für die Methoden von Abschnitt 5.3 die Erfüllungsgrade x_i der einzelnen Anforderungen tabellarisch aufgeführt. Es handelt sich dabei um subjektive Einschätzungen. Da aus der Literatur keine vergleichbaren Angaben vorliegen, ist keine Analyse eventueller der Verzerrungen möglich.

Die x_i-Werte werden mit den Gewichten w_i multipliziert und die Produkte über die 15 verschiedenen Anforderungen aufsummiert. Daraus ergibt sich als Summe der Eignungsindex. Die entsprechenden Werte sind in Tabelle 5.16 zusammengefasst und als Wertprofile in Abbildung 5.15 bis 5.17 dargestellt.

Neben der numerischen Eignung sind auch andere Punkte für die Leistungsfähigkeit wichtig, vor allem die bisherige Verwendung für Naturereignisse (Erfahrung) oder die Automatisierbarkeit (Rationalisierung). Sie werden aber nicht in die Berechnung von EI einbezogen. Sie ändern auch nichts an der Rangierung (vgl. Anhang D).

Die auf logischen Bäumen aufbauenden Methoden der Risikoanalyse sind am besten für die Anwendung auf Naturgefahren geeignet.

Für den zu entwickelnden Verfahrensvorschlag wird im folgenden auf die Methoden des Fehler- und des Ereignisbaumes abgestellt. Für spezielle Aufgaben kann es sinnvoll sein, andere Ansätze (ergänzend oder ersetzend) anzuwenden. Da hier eine möglichst universell einsetzbare Methodik angestrebt wird, werden solche Spezialfälle nicht weiter betrachtet.

		CHKL		*PHA*		*FMEA*		*HAZOP*		*ZHA*		*FTA*		*ETA*	
Anf. i	w_i	x_i	w_ix_i	x_i	w_ix_i	x_i	w_ix_i	x_i	w_ix_i	x_i	w_ix_i	x_i	w_ix_i	x_i	w_ix_i
KOMB	.67	0.15	0.10	0.15	0.10	0.25	0.17	0.25	0.17	0.30	0.20	0.85	0.57	0.90	0.60
INTE	.67	0.30	0.20	0.30	0.20	0.20	0.13	0.20	0.13	0.15	0.10	0.65	0.44	0.55	0.37
STOC	.31	0.25	0.08	0.20	0.06	0.15	0.05	0.20	0.06	0.25	0.08	0.65	0.20	0.50	0.16
QUAL	.40	0.10	0.04	0.30	0.12	0.30	0.12	0.35	0.14	0.35	0.14	0.70	0.28	0.60	0.24
RAUM	.67	0.15	0.10	0.35	0.23	0.45	0.30	0.10	0.07	0.80	0.54	0.35	0.23	0.80	0.54
UNVO	.24	0.40	0.10	0.50	0.12	0.10	0.02	0.20	0.05	0.10	0.02	0.50	0.12	0.45	0.11
VERT	.67	0.05	0.03	0.35	0.23	0.05	0.03	0.10	0.07	0.15	0.10	0.75	0.50	0.95	0.64
NEUE	.24	0.15	0.04	0.40	0.10	0.35	0.08	0.70	0.17	0.75	0.18	0.65	0.16	0.55	0.13
MODE	.92	0.90	0.83	0.95	0.87	0.60	0.55	0.55	0.51	0.75	0.69	0.90	0.83	0.95	0.87
GEFA	.20	0.50	0.10	0.40	0.08	0.75	0.15	0.75	0.15	0.50	0.10	0.35	0.07	0.35	0.07
VERG	.59	0.20	0.12	0.30	0.18	0.10	0.06	0.35	0.21	0.90	0.53	0.55	0.32	0.95	0.56
MANA	.00	0.05	0.05	0.20	0.20	0.50	0.50	0.25	0.25	0.50	0.50	0.75	0.75	0.80	0.80
KOST	.44	0.90	0.40	0.85	0.37	0.50	0.22	0.50	0.22	0.35	0.15	0.30	0.13	0.15	0.07
AUFW	.44	0.95	0.42	0.85	0.37	0.50	0.22	0.40	0.18	0.35	0.15	0.40	0.18	0.35	0.15
NACH	.79	0.40	0.32	0.80	0.63	0.50	0.40	0.85	0.67	0.85	0.67	0.85	0.67	0.80	0.63
Summe			2.91		3.88		3.01		3.03		4.16		5.45		5.94

Tab. 5.16 Eignung verschiedener Methoden zur Naturrisikoanalyse (Abkürzungen im Text).

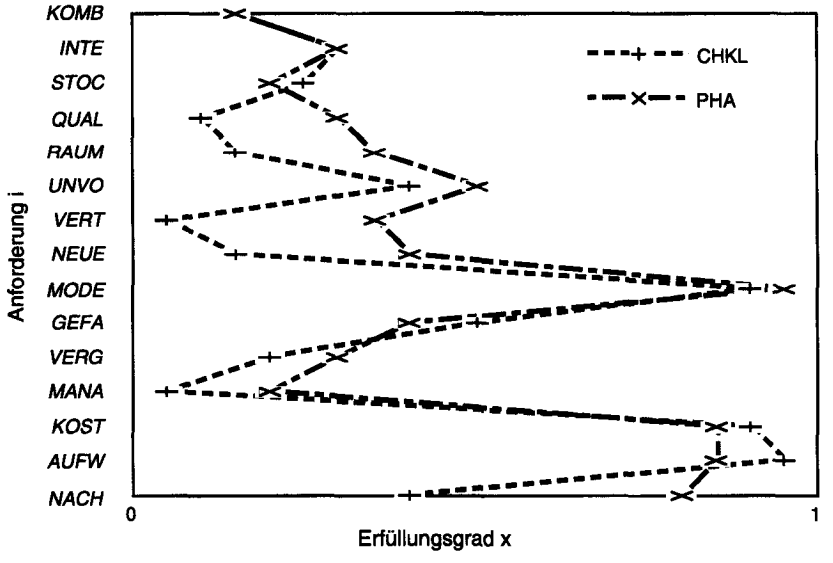


Abb. 5.15 Eignungsprofil des Checklisten- (CHKL) und des Preliminary-Hazard-Analysis-Verfahrens (PHA). Beide Verfahren weisen Schwächen im Bereich der Datenverarbeitung auf.

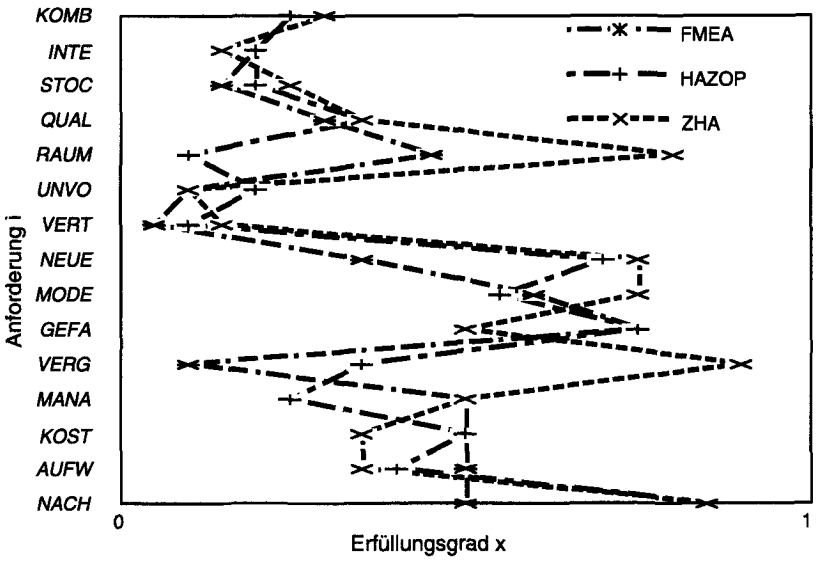


Abb. 5.16 Eignungsprofil des Failure-Mode-and-Effect-Analysis- (FMEA), des Hazard-and-Operability- (HAZOP) und des Zurich-Hazard-Analysis-Verfahrens (ZHA). Alle drei Verfahren zeigen Mängel beim Umgang mit statistischen Grössen (zum Beispiel Verteilungen).

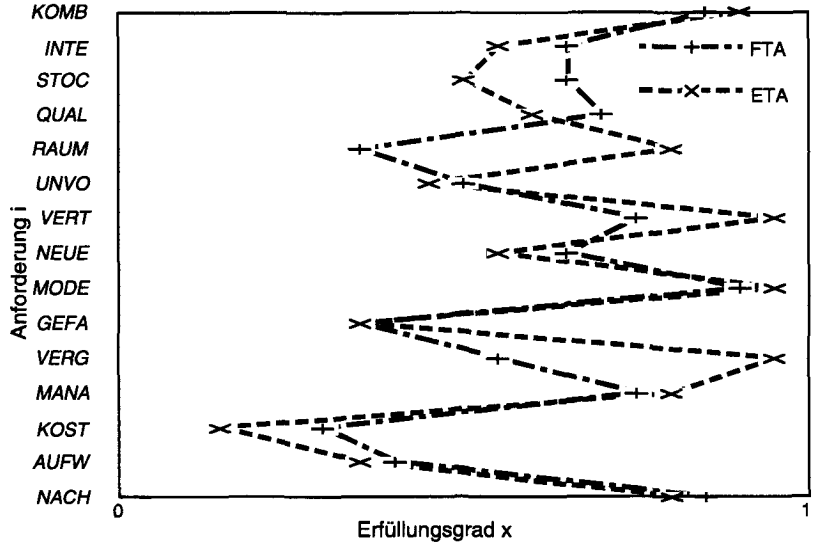


Abb. 5.17 Eignungsprofil des Fault-Tree- (FTA) und des Event-Tree-Verfahrens (ETA). Der Umgang mit statistischen Grössen ist wesentlich besser, dafür ist mit höheren Kosten zu rechnen.

5.6 Modulares Verfahren zur Analyse von Naturrisiken

Das vorgeschlagene Verfahren entspricht dem Vorgehen einer Risikoanalyse, das in Abschnitt 5.2 dargestellt wurde. Die Methoden des Fehler- und Ereignisbaumes kommen dabei für die Gefahrenabschätzung, die Expositionsanalyse und die Folgenabschätzung zur Anwendung (Abbildung 5.18). Die Systemabgrenzung und -beschreibung wird dadurch nicht beeinflusst, da sie die Grundlage aller Methoden nach Abschnitt 5.3 darstellt und vorgängig erfolgen muss.

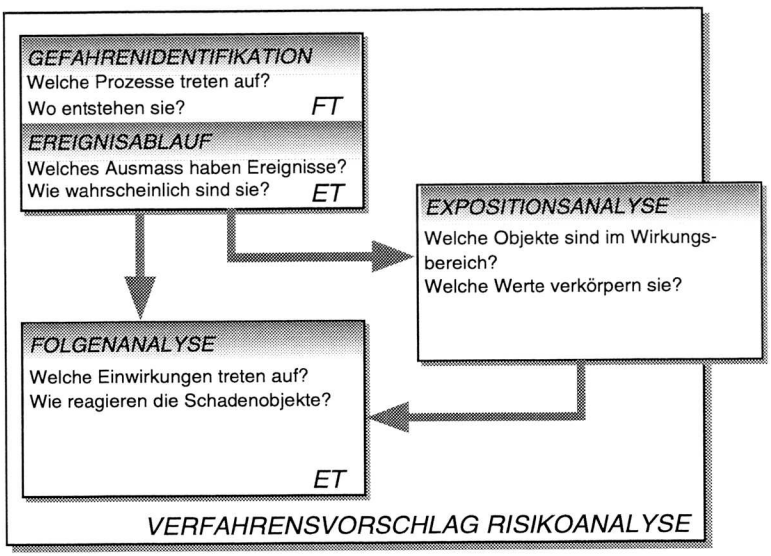


Abb. 5.18 Umfang und Stellung des vorgeschlagenen Verfahrens zur Naturrisikoanalyse. Es umfasst die Gefahrenabschätzung und die Folgenanalyse und definiert den Rahmen der Expositionsanalyse. FT bezeichnet die Fehlerbaum-, ET die Ereignisbaummethodik.

Basierend auf der Aufgabenstellung und der Systemdefinition werden zuerst die Gefahren identifiziert (bei Naturgefahren als Dispositionsanalyse bezeichnet). Die Fehlerbaummethodik ist aufgrund der Fragestellung (Wie kann ein Ereignis entstehen?) besonders geeignet, da die meisten Dispositionsmodelle auf derartigen Ueberlegungen basieren.

Sobald ein Ereignis eintritt, ändert die Sichtweise. Statt der Ursache steht nun die Wirkung im Zentrum (Wie läuft das Ereignis ab?). Zur Untersuchung dieser vorwärtsgerichteten Fragen ist der Ereignisbaum besser geeignet.

Die Expositionsanalyse wird in Funktion des Ereignisablaufs durchgeführt. Sie kann sowohl nach dem Kategorien- als auch nach dem Indikatorenansatz (vgl. Abschnitt 5.2) erfolgen: Aufgrund der zu erwartenden Ereignisausmasse wird die Menge der potentiell betroffenen Wertobjekte bestimmt und wertmässig beschrieben. Eine spezifische sicherheitswissenschaftliche Methode dafür existiert nicht.

Die beiden Risikoanalysemethoden Fehler- und Ereignisbaum, werden beim vorgeschlagenen Verfahren nicht an der Schnittstelle zur Folgenanalyse, sondern innerhalb der Gefahrenabschätzung kombiniert. Dies mag auf den ersten Blick seltsam anmuten. Grundsätzlich wäre es auch möglich, die gesamte Gefahrenabschätzung mit der FT-Methodik durchzuführen. Dagegen spricht aber die Immissionssichtweise bei Naturrisiken: die Gefahr ist ein Prozess, der aufgrund bestimmter Systemkonstellationen entsteht und dann als Ereignis «von aussen» auf die Wertobjekte einwirkt. Die interessierenden Wechselwirkungen beginnen also mit dem Eintritt des Ereignisses, was bei der Gliederung des Verfahrens in Module zu berücksichtigen ist (Abbildung 5.19).

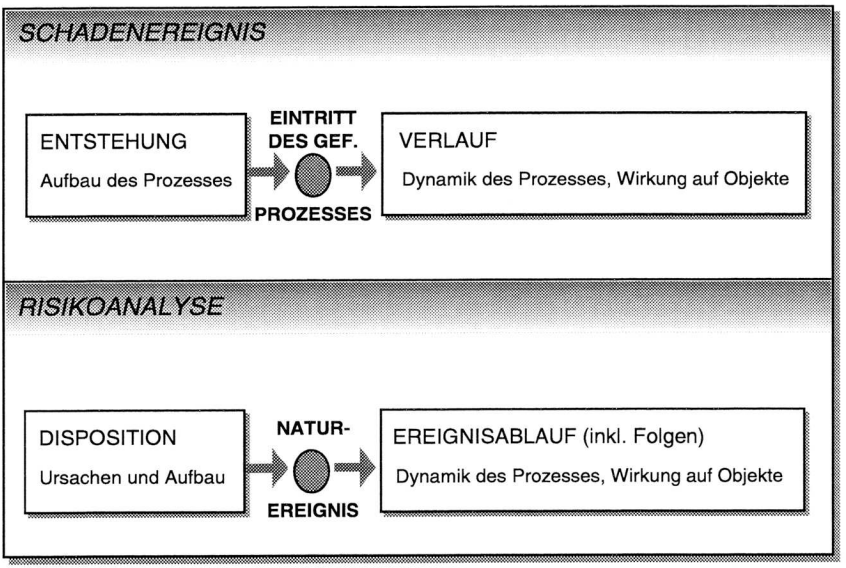


Abb. 5.19 Modulares Verfahren für die Risikoanalyse bei Naturereignissen. Der Eintritt des gefährlichen Prozesses stellt die Schnittstelle zwischen Entstehung und Verlauf eines Schadenereignisses dar. Analog dazu ist die Gliederung bei der Risikoanalyse.

Die retrospektive Dispositionsanalyse wird mittels Fehlerbaum, die prospektive Ereignisablauf- und Folgenanalyse mittels Ereignisbaum durchgeführt.

5.6.1 Dispositionsanalyse mit Fehlerbaumverfahren

Das «Top-Event» (vgl. Abschnitt 5.3) bei der Dispositionsanalyse mit Fehlerbaum ist der Eintritt des zu untersuchenden gefährlichen Prozesses. Man untersucht, welche Bedingungen erfüllt sein müssen, damit es zum Ereignis kommt und wie die einzelnen Faktoren zueinander in Beziehung stehen. Dieser Aufbau erlaubt die Verwendung bestehender physikalischer Modelle. Die FT-Methodik bietet dazu eine einheitliche und übersichtliche Darstellungsart. Wenn keine eigentlichen Modelle existieren, kann der Fehlerbaum zur Untersuchung von Hypothesen und Faktorenkombinationen benutzt werden. Er ermöglicht

quantitative Abschätzungen und Sensitivitätsanalysen und liefert zumindest Anhaltspunkte für die Disposition.

Die Hauptarbeit besteht in der Konstruktion des Baumes, der das Subsystem «Entstehungsgebiet» gemäss in einer aussagenlogischen Struktur abbildet. Für die Verknüpfung der Elemente kommen folgende Operatoren in Frage:

- AND: logischer Durchschnitt (alle Argumente nötig für den Output)
- OR: logische Vereinigung (Output entsteht, wenn mind. ein Argument zutrifft)
- NOT: logischer Ausschluss (Output entsteht, wenn das Argument nicht zutrifft)
- NAND: Not And
- NOR: Not Or

Daneben gibt es noch weitere Boole'sche Operatoren, die aber bei FTAs fast bedeutungslos sind. Durch geeignete Formulierung der Elemente können oft auch die NOT-, NAND- und NOR-Verknüpfung eliminiert werden. Uebersichten über weitere Verknüpfungen und die Rechenregeln der Boole'schen Algebra sind in Lehrbüchern und Nachschlagewerken enthalten (vgl. zum Beispiel CZICHOS 1991, STÖCKER 1993).

Als Elemente eines FT können materielle Teile (zum Beispiel Materialspeicher und -flüsse), physikalische und logische Eigenschaften (Variablenwerte, Systemzustände, ordinale Grössen) auftreten. Nicht genau bekannte Sub- und Teilsysteme können als Blackbox abgebildet und die Komplexität des Baumes durch Zusammenfassung ganzer Bereiche in einem Systemelement reduziert werden.

Die Bedeutung der Verknüpfungen, die Schreibweise und die Kombination von verschiedenartigen Systemelementen werden in Abbildung 5.20 dargestellt.

Die Quantifizierung des Fehlerbaumes liefert die Wahrscheinlichkeit, dass das «Top-Event», also ein bestimmter gefährlicher Prozess, überhaupt eintreten kann. Sie ergibt aber keine Informationen über Ausmass und Häufigkeit von Naturereignissen. Wenn die einzelnen Elemente des Baumes voneinander unabhängig sind, reduziert sich die Berechnung auf einfache Multiplikationen; ansonsten muss mit bedingten Wahrscheinlichkeiten operiert werden. Ueber die Summe der Wahrscheinlichkeiten an einem Knoten ist beim Fehlerbaum keine Aussage möglich (im Gegensatz zum ET, vgl. Abschnitt 5.6.2).

Der Fehlerbaum erlaubt die Berechnung der Disposition mit universell gültigen und einfachen Regeln. Die Berechnung lässt sich leicht automatisieren.

Folgende Rechenoperationen erlauben die Berechnung des Fehlerbaumes:

$$p(A \wedge B) = p(A) \bullet p(B) \qquad \text{AND, unabhäng. Ereign.} \quad [27]$$

$$p(A \wedge B) = p(A) \bullet p(B|A) \qquad \text{AND, abhäng. Ereign.} \quad [28]$$

$$p(A \vee B) = 1 - p(\overline{A} \wedge \overline{B}) = 1 - p(\overline{A}) \bullet p(\overline{B}) \qquad \text{OR, unabhäng. Ereign.} \quad [29]$$

$$p(A \vee B) = 1 - p(\overline{A} \wedge \overline{B}) = 1 - p(\overline{A}) \bullet p(\overline{B}|\overline{A}) \qquad \text{OR, abhäng. Ereign.} \quad [30]$$

wobei $\bar{A}$ das Ereignis «NOT_A» (Komplementärereignis) bezeichnet und es gilt:

$$p(\bar{A}) = 1 - p(A) \qquad [31]$$

Abbildung 5.21 demonstriert den Berechnungsvorgang am gezeigten Fehlerbaum.

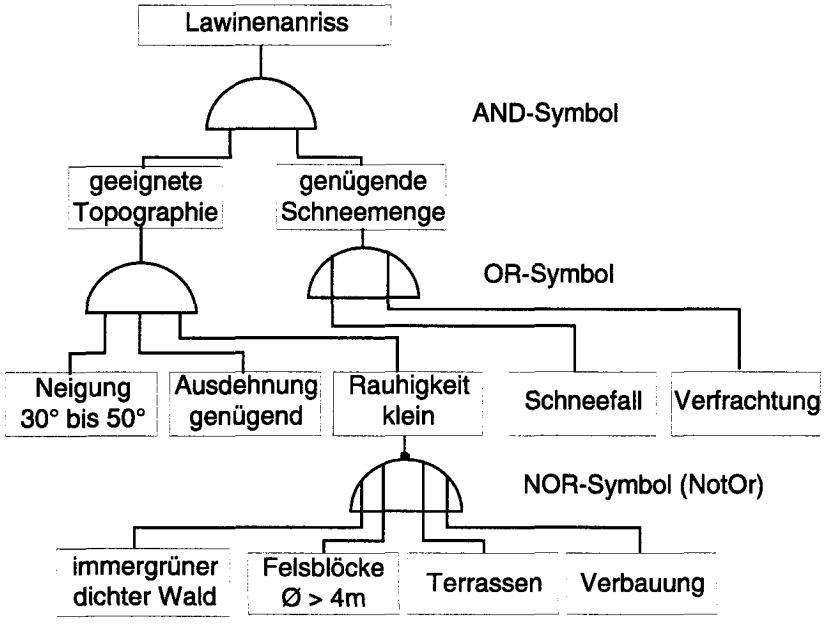


Abb. 5.20 Fehlerbaum zur Analyse der Lawinendisposition: In den Kästchen sind Zustände und Vorgänge enthalten, die zum Anriss von Lawinen führen können. Bemerkenswert ist, dass völlig verschiedene Elemente problemlos miteinander kombinierbar sind.

Bei genügender Systemkenntnis ergibt der Fehlerbaum gute quantitative Angaben über das Auftreten von gefährlichen Prozessen. Die Verwendung von Wahrscheinlichkeiten erlaubt zudem, räumliche und zeitliche Variabilitäten zu berücksichtigen, was für Naturrisikoanalysen sehr wichtig ist. Die FTA kann aber fehlendes Prozessverständnis auch dann nicht ersetzen, wenn die Datengrundlage mit Hilfstechniken (Abschnitt 5.4) erweitert wird.

Viele technische Anlagen werden heute mit speziellen Softwarepaketen analysiert (siehe zum Beispiel SCHWARZBLAT 1991, BEROGGI ET AL. 1993). Wenn solche Programme nicht auf Daten, sondern nur auf der Logik des Baumes aufbauen, sind sie auch für Naturereignisse anwendbar. Expertensysteme für technische Risikoanalysen basieren meist ebenfalls auf FTA-Logik (vgl. DUSIC 1991, XANG 1991, MODARRES 1991) und sind für Naturrisiken verwendbar, wenn eine Anpassung der Entscheidungsregeln möglich ist.

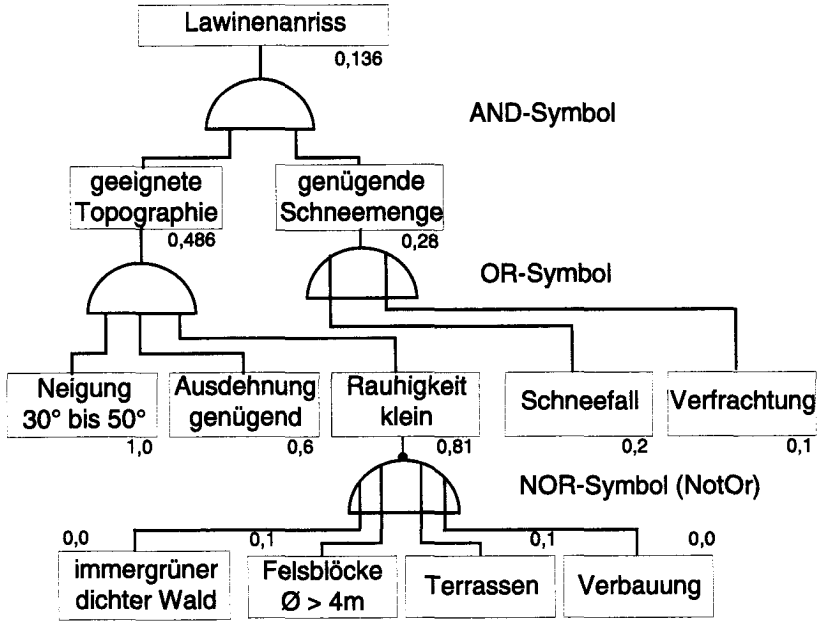


Abb. 5.21 Quantifizierter Fehlerbaum: Die Zahlen bezeichnen die Wahrscheinlichkeit, dass ein Argument zutrifft. Einige Werte sind sofort ersichtlich (zum Beispiel beim Fehlen einer Verbauung), andere müssen abgeschätzt werden (wenn zum Beispiel einzelne Blöcke vorhanden sind). Für die Berechnung wurde statistische Unabhängigkeit angenommen.

5.6.2 Ereignisablauf- und Folgenanalyse mit Ereignisbaum

Die Ereignisbaummethode erlaubt, den Verlauf und die Folgen eines möglichen Ereignisses zu ermitteln. Durch die Modellierung der Ausmass-Häufigkeits-relation des gefährlichen Prozesses liefert sie zudem die Grundlage für die Expositionsanalyse: den potentiellen Wirkungsraum. Kombiniert man die verschiedenen möglichen Verläufe des Ereignisses mit den jeweils zu erwartenden Schäden, so erhält man das Risiko.

Die Analyse kann sehr flexibel an die Aufgabenstellung angepasst werden. Grundsätzliche Beschränkungen zeitlicher, räumlicher oder thematischer Art bestehen nicht (Abbildung 5.22). Einzelne Fragen können detaillierter untersucht werden durch eine feinere Gliederung des Baumes. Besonders wichtig ist deshalb, dass aus der Systemabgrenzung klar hervorgeht, welche möglichen Folgen von Ereignissen noch untersucht werden sollen. Die Grösse des berechneten Risikos wird dadurch ganz wesentlich beeinflusst. Bei Grossereignissen sind oft die akuten Direktschäden (Tote, Verletzte, Zerstörung von Sachwerten) kleiner als indirekte und langfristige Schäden.

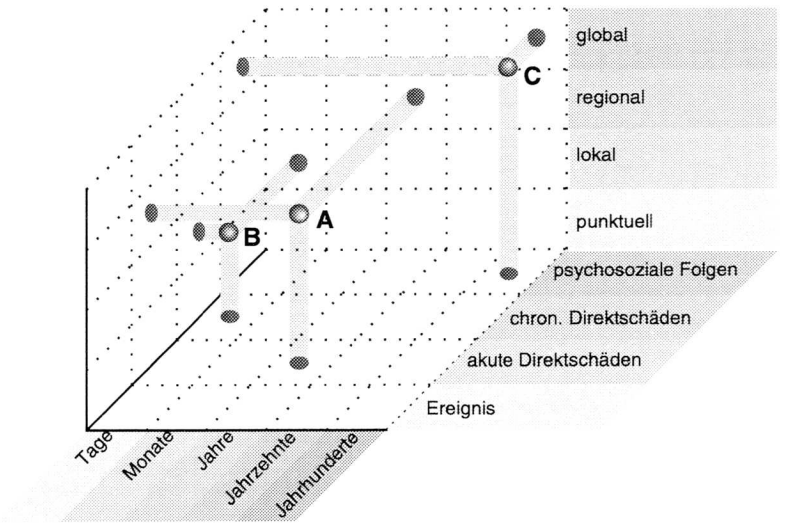


Abb. 5.20 Dimensionen der Ereignisablaufanalyse. A entspricht bisherigen Analysen bei Naturereignissen, B bei chemischen Risiken. C wäre zum Beispiel eine Analyse als Grundlage einer nationalen Sicherheitspolitik. Die ET-Methodik deckt alle Dimensionen ab, die Höhe des Risikos ändert bei Verschiebung der Grenzen stark.

Im Gegensatz zur Dispositionsanalyse wird für den Ereignisablauf und die Folgen nicht das vollständige System untersucht, sondern eine Menge von Ereignisketten. Die Verzweigungen des Baumes entsprechen einzelnen Teilen dieser Ketten, die realisiert werden oder ausbleiben. Ein Ereignisbaum basiert also auf einer binären Logik, wo an der Verzweigung immer eine OR-Verknüpfung betrachtet wird (ein Sachverhalt tritt ein oder bleibt aus). Da dies komplementäre Ereignisse sind, gilt für die Summe der Wahrscheinlichkeiten p_{ij} an einer Verzweigung j:

$$\sum_i p_{ij} = 1 \qquad i > 1 \qquad [32]$$

Logisch entspricht ein Ast des ET einer seriellen Reihe von AND-Operationen, wobei die einzelnen (statistischen) Ereignisse in der Regel nicht unabhängig sind. Unter Umständen treten einzelne Teile des Systems in verschiedenen Aesten auf. So können kausal später folgende Ereignisse abgebildet werden (vgl. Fallbeispiel Abschn. 5.7).

Die Zahl der Verzweigungen wächst mit den untersuchten Dimensionen sehr schnell. Grosse und detaillierte Systeme kann man nicht mehr in geschlossener Form darstellen, ohne dass die Uebersichtlichkeit verloren geht. Ein Ereignisbaum kann aber an jeder Verzweigungsstelle in Teile gegliedert werden, da keine Schlaufen (Loops) existieren, die dadurch aufgerissen würden.

Ein Beispiel für eine Ereignisablauf- und Folgenanalyse mit Ereignisbaum ist in Abbildung 5.23 dargestellt.

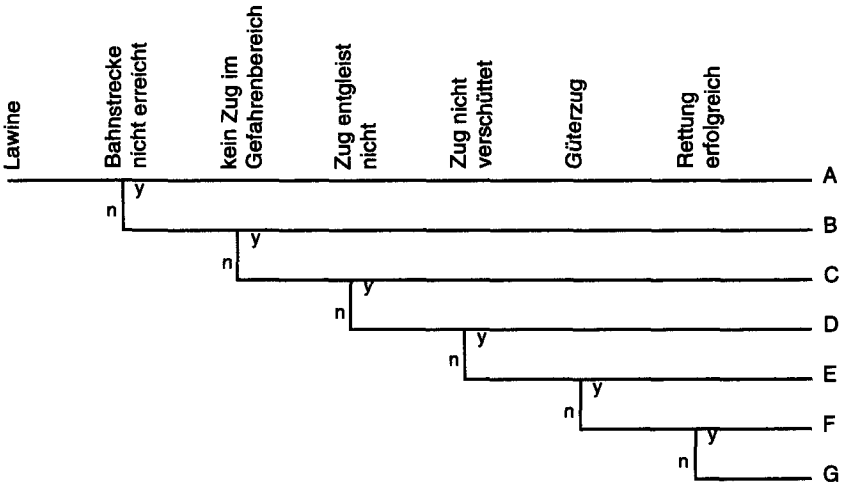


Abb. 5.23 Ablaufanalyse eines Lawinenniederganges mit ET: Die horizontalen Verzweigungen bedeuten Eintreffen der Aussage oben, die vertikalen Nichteintreffen. Die Ausgänge A bis G beschreiben verschiedene Schadenbilder (A: kein Schaden, G: grösster anzunehmender Schaden mit Toten).

Für die Berechnung des Risikos müssen Informationen über die Wahrscheinlichkeit der verschiedenen Teiläste vorliegen. Sie können direkt (zum Beispiel aus statistischen Aufzeichnungen oder Expertenurteilen) oder indirekt beschafft werden. Bei technischen Systemen werden sie oft durch Fehlerbaumanalysen ermittelt, bei Naturereignissen stehen vielfach direkte Daten (zum Beispiel Zeitreihen) zur Verfügung.

Die Wahrscheinlichkeit für die Realisierung eines bestimmten Ereignisablaufes ergibt sich durch Multiplikation der verschiedenen Wahrscheinlichkeiten an den Verzweigungen (AND-Verknüpfung) als

$$P(E = E_l) = \prod_j p(E_{ij} \in A_l) \qquad [33]$$

wobei A_l die Menge aller Verzweigungen und Aststücke ist, die zum Output E_l führen (Abbildung 5.24).

Die Multiplikation der Wahrscheinlichkeit eines bestimmten Astes mit dem *jeweiligen Schadenausmass V ergibt das theoretische Risiko aufgrund des* entsprechenden Ereignisses:

$$R_l = P(E_l) \bullet V_l \qquad [34]$$

Die Werte für V werden gutachtlich bestimmt oder durch entsprechende Modelle berechnet. Für die meisten natürlichen gefährlichen Prozesse fehlen bis heute entsprechende quantitative Relationen.

Das Gesamtrisiko ist die Summe der Risiken der einzelnen Teiläste.

$$R_{tot} = \sum_l R_l \qquad [35]$$

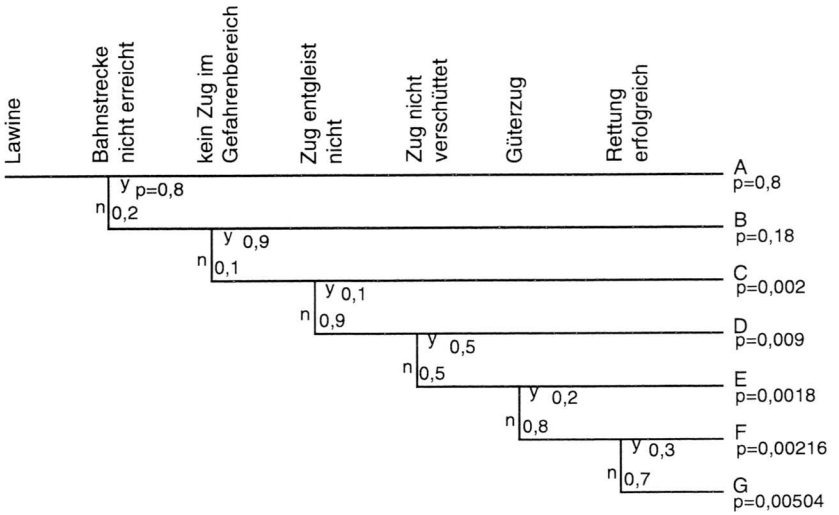


Abb. 5.22 ET mit zugewiesenen Wahrscheinlichkeiten an den einzelnen Verzweigungen: Die Summe der Wahrscheinlichkeiten der Pfade A bis G beträgt 1. Die Multiplikation mit den Schadensausmassen und deren Addition über alle Pfade ergibt das Risiko.

Mit Ereignisbäumen können Ablauf und Folgen eines Naturereignisses dargestellt und auf einfache Weise berechnet werden.

Softwarepakete erlauben heute die automatische Konstruktion und Berechnung von Ereignisbäumen (siehe WAKEFIELD 1991, BEROGGI ET AL. 1993). Einzelne Programme können sowohl für die Fehler- als auch die Ereignisbaummethodik verwendet werden, was für eine kombinierte Dispositions- und Ablaufanalyse interessant ist. Ein Nachteil dieser Werkzeuge ist sicher noch der vergleichsweise hohe Preis (bis zu mehreren zehntausend US-$).

Die Kombination der Dispositionsanalyse mit Fehlerbaum und der Untersuchung des Ablaufs und der Folgen mit Ereignisbaum bildet ein leistungsfähiges Verfahren zur Analyse von Naturrisiken. Es erlaubt die Verwendung bestehender Modelle, lässt sich flexibel an verschiedene Aufgaben anpassen und liefert mit einfachen Operationen quantitative Angaben zum bestehenden Risiko. Die Verwendung von Blackboxes und ganzen Subsystemen ermöglicht auch dann eine Analyse, wenn wenig detaillierte Informationen über das System verfügbar sind. Der Aufwand kann durch den Einsatz bestehender Softwarelösungen gering gehalten werden.

5.7 Beispiel für eine Risikoanalyse bei Naturgefahren

Das Fallbeispiel prüft, ob das vorgeschlagene Verfahren in der Praxis zu den erwarteten Ergebnissen führt. Weil dabei methodische Fragen im Vordergrund stehen, wird mit vielen Annahmen gearbeitet. Damit kann der Aufwand reduziert werden, dafür sind die Ergebnisse der Analyse nicht operationell verwendbar.

5.7.1 Aufgabenstellung und Untersuchungsgebiet

Das Beispiel soll primär zeigen, ob sich das skizzierte modulare Verfahren praktisch bewährt. Weiter soll es Anhaltspunkte für eine Aufwandschätzung liefern. Aus methodischen Gründen werden aber die objektspezifischen Aspekte stark vereinfacht behandelt. Anstelle von Daten werden oft Annahmen verwendet. Der Vergleich mit einer detaillierten Arbeit zum gleichen Objekt (GÄCHTER 1996) zeigt, dass die Ergebnisse realistisch sind.

Gegenstand der Risikoanalyse sind das Einzugsgebiet des Brendenbaches und das Dorf Altstätten im St. Galler Rheintal (Abbildung 5.25). Der Dorfkern (465 m ü. M.) ist gegenüber dem Talboden (ca. 440 m ü. M.) leicht erhöht. Westlich schliessen direkt die bis auf ca. 1100 m ü. M. ansteigenden Abhänge des Appenzeller Hügellandes an. Geologisch handelt es sich im Einzugsgebiet um Moränen der Würmeiszeit, untere Süsswassermolasse (Aquitanien) und obere Meeresmolasse (Burdigalien), das Dorf steht auf quartären Bachschuttkegeln.

5.7.2 Risikoanalyse für das Fallbeispiel

5.7.2.1 Systemabgrenzung und -beschreibung

Das untersuchte System wird thematisch, kausal, konditionell und räumlich abgegrenzt.

Die thematische Abgrenzung liefert die Prozesse und Wertobjekte. Im folgenden werden nur Prozesse betrachtet,

- die in einem kausalen Zusammenhang mit dem Brendenbach stehen;
- bei deren Entstehung und Ablauf Wasser wesentlich beteiligt ist;
- die über den Brendenbach auf das Schadenpotential einwirken können;
- die unter den aktuellen Bedingungen eine Eintrittswahrscheinlichkeit von >0,01/y aufweisen. Eine Veränderung dieses Wertes (zum Beispiel auf 0,0001) ändert methodisch nichts, sie wirkt sich aber erheblich auf den Bearbeitungsaufwand aus.

Als Wertobjekte werden Menschen und Sachgüter sowie funktionale Leistungen des Systems betrachtet (Interventionspotential, ärztliche Versorgung). Immaterielle Werte (zum Beispiel Landschafts-, Ortsbild, biologische Vielfalt, Erholungswert) bleiben unberücksichtigt.

Kausal wird das System auf unmittelbare und akute Ursachen und Wirkungen beschränkt, also auf physikalische Direktschäden. Sekundäre und indirekte Schäden (zum Beispiel Umweltverschmutzung durch auslaufende Gefahrenstoffe) sind ausgeschlossen.

Damit ergeben sich folgende Schadenindikatoren für die Analyse:

- Anzahl getötete Personen;
- Anzahl verletzte Personen;
- finanzieller Wert von Sachschäden bzw. Kosten für deren Behebung;
- Ausfallzeit funktionaler Systemleistungen.

Konditionell geht die Analyse von den gegenwärtig gültigen systeminternen und -externen Bedingungen aus. Aenderungen der Wirkungsweise des Systems bleiben unberücksichtigt.

Räumlich umfasst das System folgendes Gebiet (Abbildung 5.25):

- Das topographische Einzugsgebiet des Brendenbaches, d.h. alle Flächen, die über den Brendenbach entwässern und deren Zufluss oberhalb der Koordinate 758375/249800 ins Gerinne kommt;
- die Gerinnestrecke von Koordinate 758375/249800 bis 759875/249050 (SBB-Brücke) als quasilineares Element ohne niederschlagsbedingten lateralen Zufluss.

Diese beiden Elemente ergeben den Prozessraum. Der Wertobjektraum wird gebildet durch das Dorfgebiet von Altstätten, soweit es im Wirkungsbereich des Prozessraumes liegt. Ausgeschlossen werden die SBB-Linie und agrarisch genutzte Flächen.

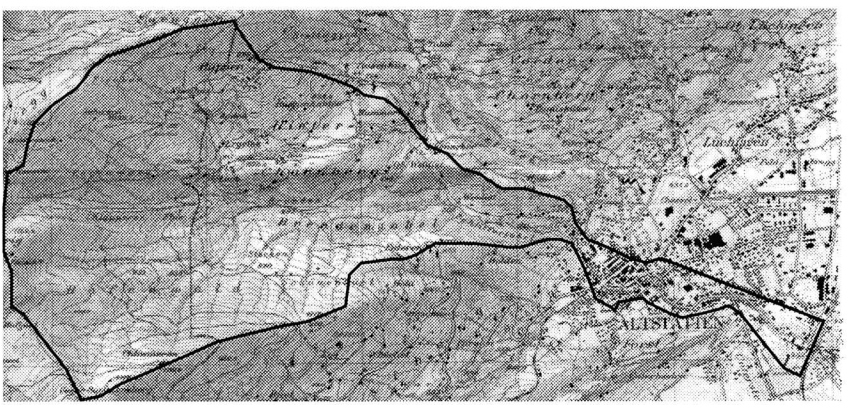


Abb. 5.25: Perimeter des Untersuchungsgebietes nach Landeskarte 1:25'000, Blatt 1095 Gais (verkleinert). Reproduziert mit Bewilligung des Bundesamtes für Landestopographie vom 10. 9. 1996.

Aufgrund der Systemabgrenzung ergibt sich nun ein funktionales Modell, dass der Risikoanalyse zugrunde gelegt wird (Abbildung 5.26).

Das Gesamtsystem kann sequentiell gegliedert werden. Lediglich die Wildbachprozesse wirken kausal auf die Wertobjekte ein. Als nächstes werden die möglichen gefährlichen Prozesse identifiziert und abgeschätzt und die zu erwartenden Folgen bestimmt.

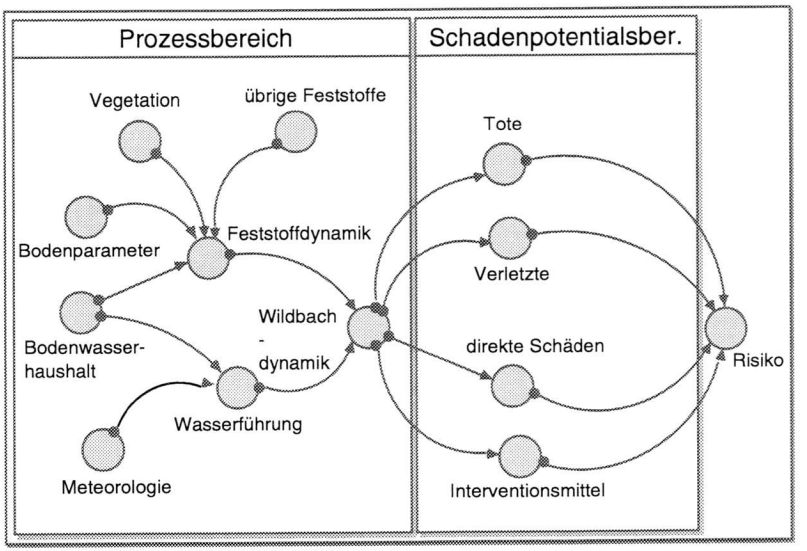


Abb. 5.26 Funktionalmodell des untersuchten Systems: Die Kreise bezeichnen Komponenten, die Pfeile Interaktionen. Eine Gliederung in Prozess- und Wertobjektbereich ist möglich.

5.7.2.2 Gefahrenidentifikation: Dispositionsanalyse

Die möglichen gefährlichen Prozesse eines Wildbachsystems sind:

- Hochwasser ohne wesentlichen Feststofftransport;
- Hochwasser mit Geschiebetransport;
- Murgang;
- Tiefen- und Ufererosion.

Für sie ist zu untersuchen, ob sie im Prozessraum entstehen und bis in den Wertobjektraum wirken können. Letzteres ist nicht mit der Ereignisabschätzung zu verwechseln: nicht statistische oder probabilistische Kenngrössen, sondern die physikalische Möglichkeit werden abgeklärt.

Wenn keine Angaben über das bisherige Systemverhalten vorliegen, muss die Disposition prognostisch abgeklärt werden. Dazu eignet sich der Fehlerbaum. Ist jedoch bekannt, dass ein Prozess in der Vergangenheit zu Schäden geführt hat, so erübrigt sich diese Arbeit: Unter unveränderten Bedingungen (konditionelle Systembegrenzung!) stellt er eine «erwiesene Gefahr» dar (KIENHOLZ 1995). Im Beispiel sind Hochwasser erwiesen.

Ebenfalls bekannt als Prozess ist Geschiebetransport. Aufzeichnungen über Schadenereignisse im untersuchten Gebiet liegen aber nicht vor. Berechnungen aufgrund des Modells von SMART und JÄGGI (1983) ergeben, dass das verlagerte Geschiebe bei Hochwassern innerhalb des bestehenden Gerinnes abgeführt wird. Probleme sind bisher nur im Bereich der SBB-Brücke aufgetreten, die ausserhalb der Systemgrenze liegt (GÄCHTER 1995, mündl. Mitt.). Daher wird angenommen, dass schadenrelevanter Geschiebetransport

mit einer Wahrscheinlichkeit < 0,01 a^{-1} auftritt und der Prozess nicht berücksichtigt werden muss.

Aufzeichnungen über Murgangereignisse fehlen, und auch Indizien im Gelände (stumme Zeugen), die auf eine «vermutete» Gefahr hinweisen, liegen keine vor. Die Disposition muss mit Modellen überprüft werden; es handelt sich allenfalls um eine «hergeleitete» Gefahr. Die Melton'sche Stabilität- oder Rauhigkeitszahl R ist ein einfaches Modell (Gleichung [36])

$$R = \frac{H}{\sqrt{A}} \qquad [36]$$

mit H = Einzugsgebietshöhe vom Kegelscheitel bis zum höchsten Punkt und A = Einzugsgebietsfläche. Für den Brendenbach beträgt R 0,38. Nach einer Untersuchung in den USA sind Einzugsgebiete mit R>0,3 topographisch geeignet für die Entstehung von Murgängen (JACKSON et al. 1987). Eine Ueberprüfung für schweizerische Verhältnisse zeigte ähnliche Ergebnisse (HOLLENSTEIN 1991). Murgang muss als gefährlicher Prozess berücksichtigt werden. Mit einem Fehlerbaum wird nun geprüft, ob das Kriterium der minimalen Eintretenswahrscheinlichkeit von 0,01 a^{-1} erfüllt ist (Abbildung 5.27). Die Berechnung ergibt, dass die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten von Murgängen, welche den Wertobjektraum erreichen können, wesentlich unter diesem Wert liegt. Murgangrisiken werden deshalb nicht näher untersucht.

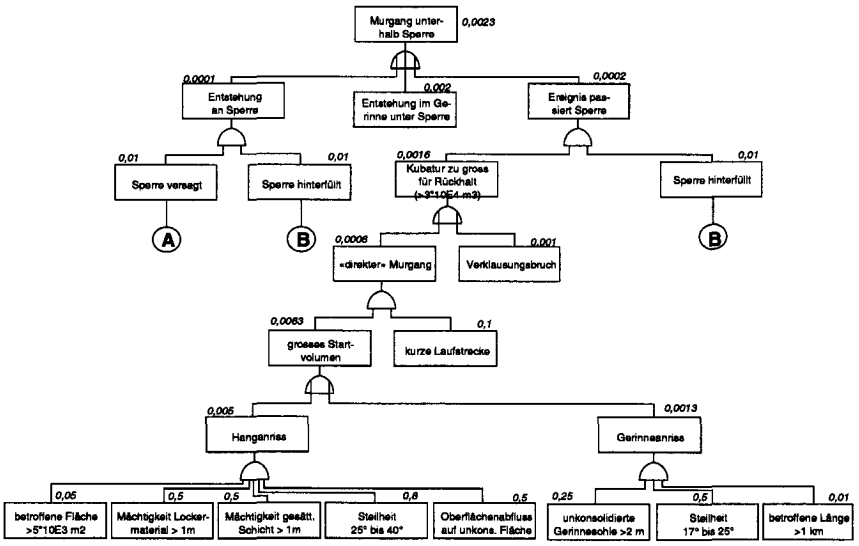


Abb. 5.27 Struktur des Fehlerbaumes zur Bestimmung der Murgangdisposition (stark verkleinert). Das Original findet sich im Anhang E.

Tiefen- und Ufererosion sind im oberen Einzugsgebiet aktiv. Im Bereich des Dorfes treten sie dagegen nicht als Gefahren auf, da das Gerinne auf der ganzen Länge in einem gepflästerten Kanal verläuft. Es entstehen zwar kleine Schäden an der Pflästerung, welche im Rahmen des Unterhaltes behoben

werden; diese sind aber für die Analyse irrelevant (GÄCHTER 1995, mündl. Mitt.). Erosionsprozesse werden als Gefahren deshalb nicht mehr betrachtet.

5.7.2.3 Abschätzung der Ausmass-Häufigkeitsrelation von Hochwasser

Für Hochwasser als einziger relevanter Gefahrenprozess muss nun die Beziehung zwischen Ausmass und Häufigkeit bzw. Eintretenswahrscheinlichkeit bestimmt werden. Dazu kommen verschiedene Ansätze in Frage (Tabelle 5.17).

Prozess	*Ansatz*	*Grundlage*	*Datengrundlagen*	*Beispiel*
Hochwasser	direkte Beobachtung	bisheriges Systemverhalten	Aufzeichnungen	Abflussmessreihen
	Blackboxmodelle	Formeln	Zeitreihen, globale Gebietsparameter	Methode nach Melli-Müller
	physikalische Modelle	Systemaufbau	Eigenschaften von Systemelementen	Einzellinear-speichermodell
	numerische Simulation	Systemverhalten	Inputs, numerische Beziehungen	Monte-Carlo-Verfahren
	«gutachtliche» Schätzung	verschiedene	verschiedene	Experten-einschätzung

Tab. 5.17 Mögliche Ansätze zur Herleitung von Ausmass- und Wahrscheinlichkeitsgrössen für Hochwasser

Der Wasserabfluss wird erst zu einer Gefahr, wenn er einen Schwellenwert, den kleinsten Wert der Abflusskapazität des Gerinnes im Wertobjektraum, überschreitet. Dieser liegt im Fallbeispiel aufgrund hydraulischer Berechnungen bei rund 30 m^3s^{-1}. Höhere Werte kommen tendenziell seltener vor. Mit den genannten Ansätzen kann bestimmt werden, wie oft welcher Abflusswert überschritten wird. Für die Zwecke des Fallbeispiels soll aber nur das Ereignis mit dem maximalen Ausmass (aber nicht notwendigerweise maximalen Risiko) untersucht werden. Mit der willkürlich festgelegten minimalen Wahrscheinlichkeit von 0,01 a^{-1} ergibt sich das 100-jährige Hochwasser als massgebendes Ereignis für die Ablauf- und Folgenanalyse. Seine Abflussmenge wird auf drei Arten abgeschätzt:

- gutachtlich aufgrund des Bemessungsabflusses für die bisherigen Verbauungen: HQ_{100} 50 m^3s^{-1};
- berechnet mit dem Modell nach KOELLA (1986): HQ_{100} = 80 m^3s^{-1};
- numerisch hergeleitet mit einer Niederschlags-Abflusssimulation aufgrund der Starkniederschlagsstatistik von ZELLER ET AL. (1977) und unter der (nicht zutreffenden) Annahme, dass ein 100-jährlicher Regen einen 100-jährlichen Abfluss erzeugt: HQ_{100}= 80 m^3s^{-1}.

Für die weitere Analyse wird HQ_{100} = 80 m^3s^{-1} eingesetzt. Die Wirkung auf die Wertobjekte hängt von der überfluteten Fläche, der Fliessgeschwindigkeit und der Ueberflutungshöhe ab. Im Dorfbereich ist aufgrund der vielen Hindernisse und der geringen Neigungen nicht mit relevanten dynamischen Effekten zu rechnen (keine Personen mitgerissen, keine Gebäude unterspült). Es sind auch

aus der Vergangenheit keine derartigen Fälle bekannt. Die Abflussmenge reicht somit zur Bestimmung der Schäden aus.

5.7.2.4 Ereignisablauf- und Folgenanalyse

Mit einem Ereignisbaum wird aufgrund bekannter und möglicher Ausbruchstellen des Stadtbaches im Dorfbereich der wahrscheinliche Verlauf eines Hochwassers ermittelt. Sie ergeben die Verzweigungsebenen des Baumes. Jeder Ausbruchstelle wird zudem eine Fläche zugeordnet, in der sich das Wasser ausbreitet, das nicht schadlos (zum Beispiel über eine Strasse) abfliessen kann. Im Beispiel ergeben sich acht derartige Flächen (Abbildung 5.28). Mit dieser Struktur lässt sich der Verlauf des Ereignisses herleiten. Bei der Berechnung ist zu berücksichtigen, dass zwischen den einzelnen Teilereignissen Abhängigkeiten bestehen (die Ueberflutung einer Fläche ändert die Ueberflutungswahrscheinlichkeit der übrigen). Es handelt sich also ausnahmslos um bedingte Wahrscheinlichkeiten.

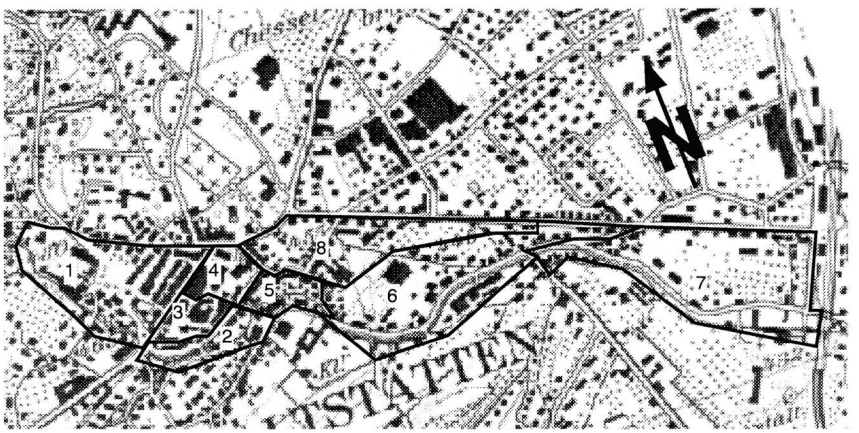


Abb. 5.28 Ausscheidung von Ueberflutungsflächen für die Ereignisablauf- und Folgenanalyse. Die Teilflächen 1 bis 8 werden überflutet, wenn der Bach an der zugehörigen Ausbruchstelle das Gerinne verlässt. Reproduziert mit Bewilligung des Bundesamtes für Landestopographie vom 10. 9. 1996.

Der eigentliche Fehlerbaum weist 2^8=256 Aeste bzw. Ausgänge auf (Abbildung 5.29). Für jeden Ast wird eine Ueberflutungswahrscheinlichkeit bei einer Abflussmenge Q=80 m^3s^{-1} am Kegelhals berechnet (Tabelle 5.18).

Der Wirkungsraum des Ereignisses definiert gleichzeitig den Perimeter, in welchem die Exposition, d.h. die Art und Menge der Wertobjekte, erhoben werden muss.

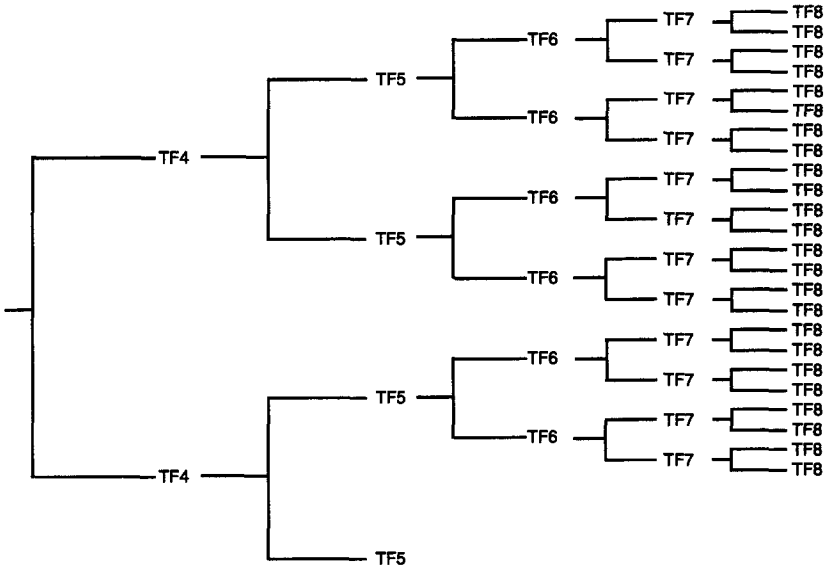


Abb. 5.29 Ausschnitt aus dem Ereignisbaum für die Ereignisablauf- und Folgenanalyse. Jede potentielle Ausbruchstelle verdoppelt die Zahl der möglichen Verläufe. Vollständiger ET siehe Anhang.

Teilfläche	*TF1*	*TF2*	*TF3*	*TF4*	*TF5*	*TF6*	*TF7*	*TF8*
p(Ueberflutung)	0.100	0.895	0.486	0.165	0.868	0.711	0.726	0.219

Tab. 5.18 Ueberflutungswahrscheinlichkeit der einzelnen Teilflächen TF1 bis TF8 bei einem 100-Jahr-Ereignis (Q=80 m^3s^{-1}) aufgrund der Ereignisbaumanalyse

5.7.3 Expositionsanalyse

Aufgrund der Indikatoren für die Schäden (Tote, Verletzte, Sachschäden, Ausfallzeit von Notstandssystemen) muss die Verteilung der Personen, Sachwerte und Notstandssysteme bestimmt werden.

Durch die zu erwartenden Einwirkungen wird der Mensch nicht verletzt. Es gibt auch keinen Hinweis, dass im Dorfbereich je Menschen physisch zu Schaden gekommen sind (GÄCHTER 1995, mündl. Mitt.). Ihre Exposition wird deshalb nicht näher untersucht. In den untersuchten Teilflächen befinden sich aufgrund der verfügbaren Informationen keine Notstandssysteme, die empfindlich auf die Einwirkungen des Prozesses sind. Die Expositionsanalyse reduziert sich damit auf eine Erhebung der mobilen und immobilen Sachwerte.

Mögliche Informationsquellen für die Expositionsanalyse wurden in Abschnitt 5.2 dargestellt. Im Fallbeispiel wurden aus Aufwandgründen keine direkten Daten erhoben, sondern Durchschnittswerte angenommen. Dazu wurde der Dorfbereich photographisch dokumentiert und so die Nutzungsart (Wohnhaus,

Gewerbebetrieb) festgelegt. Die Anzahl der Objekte kann aus einer Plangrundlage herausgelesen werden. Dabei traten folgende Probleme auf:

- In der Altstadt ist es wegen der historischen Struktur z.T. schwierig, einzelne Gebäude klar abzugrenzen. Die Anzahl Gebäude kann einen Fehler von bis zu ±10% aufweisen.
- Die Zahl der in einem Haus vorhandenen Wohnungen (und damit die wichtige Zahl der Kellerabteile) kann überhaupt nicht bestimmt werden.
- Die Genauigkeit der verwendeten Plangrundlagen ist am untersten Limit (Ortsplan 1:5'000 bzw. Vergrösserung Landeskarte 1:25'000).

Die so erreichbare Präzision bei der Erhebung der Wertobjekte ist beschränkt. Bei den finanziellen Werten ist es damit sinnvoll, ebenfalls mit Annahmen zu arbeiten und auf Erhebungen vor Ort zu verzichten. Die der Wertberechnung zugrunde liegenden Ansätze sind in Tabelle 5.19 zusammengestellt.

Objekt	*Wert*
Haus allgemein	500 kFr
Zuschlag für Gewerbebetrieb (Maschinen, Materialvorräte)	200 kFr.
Zuschlag bei Wohnblock	2500 kFr.
Sondergebäude	pauschal geschätzt
Kellerinhalt bei Wohngebäuden	10 kFr.
Kellerinhalt bei Gewerbebetrieben	100 kFr.
Kellerinhalt bei Wohnblocks	100 kFr.
Kellerinhalt pro Tiefgarage	200 kFr.
Kellerinhalt bei Sondergebäuden	5% des Gebäudewertes

Tab. 5.19 Durchschnittliche Wertansätze für die Berechnung der Exposition.

Nicht alle Objekte innerhalb einer Teilfläche sind durch das Ereignis gleich stark betroffen. Sie werden in jeder Zone getrennt für den gerinnenahen «High-Impact»- und den übrigen «Low-Impact»-Bereich erhoben. Die Resultate der Expositionsanalyse sind in Tabelle 5.20 zusammengefasst.

5.7.4 Folgenanalyse

Die Relation zwischen Einwirkung und Beschädigungsgrad wird mit folgenden Annahmen dargestellt:

- In überschwemmten High-Impact-Bereichen (HI) werden 75% aller Keller überflutet. Pro Keller entstehen Fr. 4000.– Wiederinstandstellungskosten (Ausräumen, Trocknung), beim Inhalt Totalschaden.
- In Low-Impact-Bereichen (LI) werden 50% der Keller überflutet. Die Wiederinstandstellung kostet je Fr. 2000.–, der Inhalt erleidet 50% Schaden.
- Pro Gebäude im HI-Bereich entstehen allgemeine Kosten (Schaden im Erdgeschoss, Umgebungsarbeiten, Fassadenreinigung, Spülen Kanalisation

etc.) von 0,2% des Gebäudewertes, pro Gebäude im LI-Bereich solche von 0,1%.

ZONE (s. Plan)	*Gebäude Anzahl*	*Gewerbe Anzahl*	*Wohnbl. Anzahl*	*Sonderw. kFr.*	*Tiefgara. Anzahl*	*Geb.-Wert kFr.*	*Inhaltsw. kFr.*	*Bemerkungen*
TF1 HI	20	6	2			16200	920	
TF1 LI	60	45				39000	4650	
TF2 HI	35	9				19300	1160	
TF2 LI	0	0				0	0	
TF3 HI	15	15				10500	1500	
TF3 LI	15	10				9500	1050	
TF4 HI	0	4				800	360	
TF4 LI	20	5		5000		16000	900	Post etc.
TF5 HI	25	4				13300	610	
TF5 LI	10	3				5600	370	
TF6 HI	40	5		10000		31000	1350	Schule
TF6 LI	30	2				15400	480	
TF7. HI	15	0				7500	150	
TF7. LI	30	5				16000	750	
TF8 HI	0	0				0	0	
TF8 LI	45	5	5		2	36000	1750	
TOTAL	360	118	7	15000		236100	16000	

Tab. 5.20 Uebersicht über die Exposition in den einzelnen Teilflächen, gegliedert nach «High-Impact»- (HI) und «Low-Impact»-Flächen (LI). Gewerbe = Gewerbebetriebe, Wohnbl. = Wohnblocks >10 Wohnungen, Sonderw. = Sonderwerte, Tiefgar. = Tiefgaragen. Geb.-Wert = Gebäudewert, Inhaltsw. = Wert der beweglichen Sachen in Kellerräumen.

Aufgrund dieser Annahmen und der Expositionsanalyse berechnet man, welche Schäden in den einzelnen Zonen bei einer Ueberflutung zu erwarten sind. Aussagen über einzelne Gebäude sind bei dieser Analyse nicht möglich; dazu wäre eine viel höhere Auflösung nötig.

Die Berechnung ist mathematisch sehr einfach. Es handelt sich nur um Multiplikationen und Additionen, da zwischen den Teilflächen statistische Unabhängigkeit besteht (Tabelle 5.21). Die physikalischen Abhängigkeiten wurden bei der Bestimmung der Wahrscheinlichkeiten im ET bereits berücksichtigt.

Multipliziert mit der Ueberflutungswahrscheinlichkeit der einzelnen Flächen ergeben diese Werte das Risiko des 100-jährigen Hochwasserereignisses (Tabelle 5.22). Das Gesamtrisiko, d.h. die Summe der Risiken über alle Ereigniswahrscheinlichkeiten ist hier nicht dargestellt, da nur ein einziges Ereignis näher untersucht wurde.

ZONE (vgl. Plan)	*tot. Gebäudewert (Anzahl*ø-Wert) kFr.*	*tot. Inhaltswert (Anzahl*ø-Wert) kFr.*	*Schäden am Gebäude kFr.*	*Schäden am Gebäudeinhalt kFr.*
TF1 HI	16200	920	312	690
TF1 LI	39000	4650	345	1744
TF2 HI	19300	1160	456	870
TF2 LI	0	0	0	0
TF3 HI	10500	1500	218	1125
TF3 LI	9500	1050	85	394
TF4 HI	800	360	8	270
TF4 LI	16000	900	130	338
TF5 HI	13300	610	321	458
TF5 LI	5600	370	53	139
TF6 HI	31000	1350	610	1013
TF6 LI	15400	480	152	180
TF7 HI	7500	150	188	113
TF7 LI	16000	750	155	281
TF8 HI	0	0	0	0
TF8 LI	36000	1750	293	656
TOTAL	236100	16000	3324	8269

Tab. 5.21 Zu erwartende Schäden an Sachwerten bei einer Ueberflutung in den verschiedenen Zonen. Die Wahrscheinlichkeit des Eintritts ist noch nicht berücksichtigt (d.h. p(E)=1).

5.7.5 Folgerungen

Das Fallbeispiel bestätigt die theoretischen Ueberlegungen zum Vorgehen bei einer Risikoanalyse. Auch der in Abschnitt 5.6 skizzierte Verfahrensvorschlag hat sich in der Anwendung bewährt.

5.7.5.1 Systemabgrenzung

Die restriktive Abgrenzung des Systems erfolgte im Hinblick auf eine möglichst hohe Uebersichtlichkeit und einen möglichst geringen Aufwand. Bei einer Erweiterung sind aber keine wesentlich neuen Probleme zu erwarten. Das zeigen die folgenden Ueberlegungen:

- Wildbachgefahren sind komplexe Mehrphasenprozesse mit vielen Input-Output-Beziehungen und Schnittstellen. Andere Prozesse stellen nicht wesentlich grössere Probleme bei der Modellierung, ebensowenig die Berücksichtigung zusätzlicher, Wertobjekte. Die Schwierigkeit, geeignete Vergleichsmassstäbe (sog. Trade-Off-Funktionen) für verschiedene Objekte zu bestimmen, ist nicht durch die vorgeschlagene Methodik bedingt. Eine thematische Erweiterung ist möglich.

- Die Ermittlung von Sekundär- und Langfristschäden ist eine Frage von Daten und Modellen, also unabhängig von der Methodik. Der Ereignisbaum ist für derartige Probleme besonders geeignet und bietet eine ideale Basis für kausal und zeitlich weit gefasste Fragestellungen.
- Konditionelle Aenderungen im System oder in der Umwelt können über Szenarien oder Parameterverteilungen berücksichtigt werden.

ZONE (vgl. Plan)	*Schäden am Gebäude kFr.*	*Schäden am Gebäudeinhalt kFr.*	*P(UEB)*	*E(Geb.-Sch.) kFr.*	*E(Inh.-Sch.) kFr.*
TF1 HI	312	690	0.100	31	69
TF1 LI	345	1744	0.100	35	174
TF2 HI	456	870	0.895	408	779
TF2 LI	0	0	0.895	0	0
TF3 HI	218	1125	0.486	106	547
TF3 LI	85	394	0.486	41	191
TF4 HI	8	270	0.165	1	45
TF4 LI	130	338	0.165	21	56
TF5 HI	321	458	0.868	278	397
TF5 LI	53	139	0.868	46	120
TF6 HI	610	1013	0.711	434	720
TF6 LI	152	180	0.711	108	128
TF7 HI	188	113	0.726	136	82
TF7 LI	155	281	0.726	113	204
TF8 HI	0	0	0.219	0	0
TF8 LI	293	656	0.219	64	144
TOTAL	3324	8269		1822	3655
ø pro Jahr				18.2	36.5

Tab. 5.22 Resultate der Risikoanalyse für das 100-Jahr-Ereignis. Die letzte Zeile enthält die durchschnittlich während eines Jahres auftretenden Kosten dieses Ereignisses.

5.7.5.2 Gefahrenidentifikation und -abschätzung

Die restriktive Systemabgrenzung hat die Gefahrenidentifikation erheblich vereinfacht. Hochwasser und Geschiebetransport sind erwiesene Prozesse, die Murganggefahr kann hergeleitet werden. Aufgrund quantitativer Ueberlegungen konnten Geschiebetransport und Murgang für die weitere Analyse ausgeschieden werden. Hier zeigen sich die Vorteile der Fehlerbaummethodik.

Die Bestimmung des interessierenden Hochwasserabflusses kann analytisch mit traditionellen Methoden oder synthetisch durch Simulation erfolgen. Die eingesetzten Verfahren ergeben eine gute Uebereinstimmung. Der Verlauf des Hochwassers kann mit dem Ereignisbaum aufgrund qualitativer Ueberlegungen (möglich Ausbruchstellen) und quantitativer Schätzungen einfach analysiert

werden. Für eine «parzellenscharfe» Auflösung oder bei Einbezug zusätzlicher Prozesse (Murgang) wäre der Analyseaufwand zwar massiv grösser; dies hängt aber nicht mit der Methodik, sondern mit der komplexen Physik der Prozesse zusammen.

5.7.5.3 Expositionsanalyse

Unerwartet schwierig gestaltet sich die Expositionsanalyse. Die Baustruktur erschwert im Dorfbereich die Bestimmung der Nutzung und des Gebäudewertes der Gebäude erheblich. Bei Verwertung zusätzlicher Datenquellen (Grundbuch, Gebäudeversicherung) kann die Aussagengüte der Expositionsanalyse aber stark verbessert werden. Für operationelle Risikoanalysen kann man diese Angaben nutzen, die Verwendung für rein methodische Zwecke ist aus Datenschutzgründen verständlicherweise eingeschränkt. In Altstätten liegen Volkszählungs- und Gebäudewertdaten teilweise in georeferenzierter Form vor. Damit wäre eine automatische und sehr genaue Berechnung der Verteilung der exponierten Werte möglich.

Interessant an der durchgeführten Expositionsanalyse ist, dass ein Indikatorenansatz bei der Verwendung von pauschalen Annahmen gegenüber einer Ausscheidung nach Kategorien keinen grossen Mehraufwand verursacht. Die Abgrenzung von «geschlossenem Siedlungsgebiet» gegen Flächen mit «Streusiedlung» ist ausserhalb der Altstadt problematisch, da an den Strassen die Gebäude zwar dicht stehen, weiter hinten aber sofort grössere Grünflächen zu finden sind. Eine Begehung vor Ort ist somit für beide Ansätze notwendig, der Informationsgehalt der Analyse mit Indikatoren ist dagegen wesentlich besser.

5.7.5.4 Folgenanalyse

Die Folgenanalyse ist unproblematisch, weil sie auf einfachen Annahmen basiert. Die Folgen einer Ueberflutung lassen sich für die Objekte im betroffenen Perimeter leicht abschätzen. Komplexe Einwirkungen (zum Beispiel zyklische dynamische Belastung), für welche die Objekte besonders verletzlich sind, können ausgeschlossen werden. Andernfalls würde der Aufwand für die Folgenanalyse drastisch zunehmen. In hochkomplexen Systemen ist sie der schwierigste und unsicherste Teilschritt einer Naturrisikoanalyse, da die Beziehungen zwischen Prozesswirkung und Wertobjekt nur ungenügend bekannt sind und gleichzeitig grosse Unsicherheiten bei den Daten auftreten.

5.7.5.5 Allgemeine Folgerungen

Der Zeitaufwand für die Durchführung des Fallbeispiels beträgt 8 Arbeitstage und gliedert sich wie folgt:

- Beschaffung theoretischer Grundlagen (Geologie etc.) 0.5 d
- Feldbegehung «Systembeschreibung» 1.0 d
- Aufarbeitung, Systemabgrenzung und -beschreibung 0.5 d
- Feldbegehung «Ereignisanalyse- und abschätzung» 1.0 d
- Erarbeiten Simulationsmodell, FT, ET, Berechnung 3.5 d
- Feldbegehung «Expositionsanalyse» 1.0 d
- Berechnung Exposition, Folgen 0.5 d

In dieser Aufstellung nicht enthalten sind Zeiten für methodische Abklärungen und die Redaktion des vorliegenden Abschnitts. Geht man von einem Kostensatz von Fr. 150.--/h aus, so ergeben sich direkte Bearbeitungskosten von rund Fr. 10'000.-- (bei 8,4 h/d). Schlägt man dazu indirekte Kosten von 50% (Schreibarbeiten, Kosten für Daten, Materialkosten etc.), so betragen die Kosten Fr. 15'000.– oder Fr. 375.– pro ha (der Perimeter für die Expositions- und Folgenanalyse beträgt ca. 40 ha).

Dieser Aufwand mag angesichts der vielen Vereinfachungen hoch erscheinen. Die für das untersuchte Ereignis statistisch zu erwartenden Schäden betragen aber Fr. 5'470'000.– (1822 kFr. Bauwerks- und 3655 kFr. Gebäudeinhaltsschäden, vgl. Tabelle 5.22) pro Jahrhundert. Die Analysekosten von Fr. 15'000.– können also schon gedeckt werden, wenn es gelingt, den Schaden um 2,7‰ zu reduzieren. Die recht detaillierten Aussagen über die räumliche Schadenverteilung stellen eine Grundlage für Massnahmen dar, mit denen dieses Ziel durchaus erreicht werden kann.

In seiner Diplomarbeit zum gleichen Objekt nimmt GÄCHTER (1996) eine wesentlich detailliertere Gefahrenabschätzung und Expositionsanalyse vor. Als Ergebnis erhält er einen durchschnittlich zu erwartenden jährlichen Schaden von Fr. 100'000.–. Die Differenz von 80% zum vorliegenden Beispiel (Fr. 54'700.–) lässt sich fast vollständig auf die zusätzlich berücksichtigten Ereigniswahrscheinlichkeiten <0.01 zurückführen. Die vorliegende, auf stark vereinfachenden Annahmen basierende Analyse liefert also durchaus plausible Resultate.

Einige Resultate der Analyse hätten auch ohne die vorgeschlagene Methodik und teilweise mit weniger Aufwand bestimmt werden können. Die Erkenntnis, dass die höchsten Schäden wahrscheinlich im Bereich des Gerinnes auftreten, ist trivial. Bereits über relative Anteile oder über die absolute Höhe einzelner Risiken kann aber der traditionelle prozessorientierte Ansatz keine Aussage mehr machen. Wenn auch die einzelnen Werte nicht genau stimmen, ergibt die Risikoanalyse doch wichtige Anhaltspunkte für die Bedeutung einzelner Schäden und damit für die Prioritätensetzung beim Risikomanagement.

Risikoanalysen nach dem vorgeschlagenen Verfahren liefern bei kleinem Mehraufwand wesentlich aussagekräftigere Resultate als reine Prozessbetrachtungen. Der Mehraufwand wird durch Verbesserungen im Rahmen des Risikomanagements kompensiert.

Leer - Vide - Empty

6. Bewertung von Naturrisiken

6.1 Sicherheitswissenschaftliche Erkenntnisse zur Risikobewertung

Untersuchungen zur Bewertung technischer Risiken haben Resultate ergeben, die auch für Naturgefahren interessant sind. Speziell auf die Bewertung von Naturrisiken ausgerichtete Arbeiten fehlen hingegen weitgehend.

Die erste umfassende Studie über die Akzeptanz verschiedener Risiken stammt von STARR (1969). Er hat versucht, eine Beziehung zwischen dem Nutzen einer Technologie bzw. einer Aktivität und dem (implizit) akzeptierten Risiko herzustellen. Die individuelle Risikobewertung hängt davon ab, wie der damit verbundene Nutzen eingeschätzt wird. Dieser kann finanzieller Art sein, aber auch nichtmonetäre Grössen wie Zeit oder persönliche Freiheit umfassen und als Nutzenfunktion dargestellt werden. Eine konsensfähige Definition des Nutzens auf gesellschaftlicher Ebene ist aber bisher nicht gelungen. Ob Starrs Beobachtung, dass sich das akzeptierte Risiko etwa proportional zur dritten Potenz des Nutzens entwickelt, mehr als eine grobe Vereinfachung darstellt, muss damit bezweifelt werden. Immerhin ist davon auszugehen, dass eine Aktivität nur akzeptiert wird, wenn ihr Nutzen stärker steigt als der erwartete Schaden.

Eine vom Nutzen unabhängige Differenzierung ergab sich in derselben Untersuchung zwischen freiwillig (d.h. selbständig) und unfreiwillig begründeten Risiken. Die Akzeptanz bei aufgezwungenen Risiken ist danach rund 1000 mal kleiner. Diese Relation konnte auch in anderen Untersuchungen nachgewiesen werden (DARBY 1979).

SLOVIC ET AL. (1981) stellten fest, dass die individuelle Bewertung nicht ein formaler analytischer oder regelbasierter Entscheidungsprozess ist, sondern intuitiv abläuft. Es ist also nicht möglich, eine Bewertung als «irrational» oder sogar «falsch» zu bezeichnen. Die Massstäbe für die individuelle Einschätzung sind von aussen nicht ersichtlich und nur in Ausnahmefällen explizit formuliert. Wesentliche Faktoren sind bisherige Erfahrungen, der Eindruck anderer Gefährdungen, der (psychologische) Nutzen sowie die aktuelle Verfassung des Individuums und seiner Umwelt. Die individuelle Risikobewertung ist ein momentaner Entscheid aufgrund der direkt verfügbaren «Bilder» (SLOVIC ET AL. 1981: «*People solve problems ... with what comes to their minds*»).

Die umfangreichste bisherige Arbeit stammt von SLOVIC ET AL. (1986). Sie untersucht die Einschätzung einer grossen Zahl unterschiedlicher Risiken durch verschiedene Gruppen. Das Ziel war, anstelle der in anderen Arbeiten verwendeten Faktoren für die Risikobewertung (zum Beispiel Freiwilligkeit) solche für die Risikowahrnehmung zu finden. Mit einer statistischen Hauptkomponentenanalyse fanden sie zwei Variablen höherer Ordnung, welche die Perzeption (aber nicht notwendigerweise die Bewertung) fast vollständig bestimmen: Bedrohlichkeit und Vertrautheit bzw. Bekanntheit. Als Mass für die nicht direkt messbare Wahrnehmung diente die Stärke der Forderung nach

Regulierung eines Risikos (Art der Regulierung und Anteil der Personen, die eine solche verlangen).

Die untersuchten Risiken waren zum grössten Teil technischer oder zivilisatorischer Herkunft; immerhin wurde auch nach der Einschätzung von Erdbeben gefragt. Gemessen an ihrer «faktischen» (berechneten) Bedeutung werden sie als wesentlich weniger wichtig wahrgenommen als technische Risiken: Für die Bedrohlichkeit wie auch für die Unvertrautheit ergaben sich unterdurchschnittliche Werte.

ARKIN (1989) hat unter anderem untersucht, ob sich die dem Risikobegriff zugrunde liegenden Messkonzepte Ausmass und Wahrscheinlichkeit in der Risikobewertung wiederfinden. Das Resultat zeigt, dass derartige statistischen Ueberlegungen zumindest auf individueller Ebene wenig relevant sind. Die einzelne Person nimmt ihre Bewertung letztendlich nach einem einfachen Ja-Nein-Schema vor; Risikoanalysen sind eine Quelle von Informationen, die in dieses Schema eingebaut werden kann.

GREEN ET AL. (1987) führten eine der wenigen spezifischen Untersuchungen über die Bewertung von Naturrisiken durch. Ihre Resultate zum Thema Hochwasser in Grossbritannien dürften sich auch auf andere Umgebungen und somit auf die hier behandelte Problemstellung übertragen lassen. Danach ist für die individuelle Bewertung die Höhe eines Risikos unwichtig. Entscheidend ist, ob man sich über etwas «Sorgen machen» muss. Dieser Aspekt ist vor allem für die Risikokommunikation von Interesse (vgl. Abschn. 6.3). Weiter geht aus der Studie hervor, dass die meisten Leute bei alltäglichen und bekannten Vorgängen ihre eigene Verletzlichkeit unterschätzen (sowohl absolut als auch im Vergleich mit anderen Personen). Mehrheitlich trauen sie sich einen zu grossen Einfluss auf den Ablauf eines Ereignisses zu und glauben, besser als andere Leute durch ihre Reaktion zur Verminderung der Schäden beitragen können. Dieser Effekt ist im übrigen auch aus Untersuchungen über gesellschaftliche Risiken bekannt (LOCHER 1992).

Drei Erkenntnisse sind für die Abschätzung der Naturrisikobewertung von besonderem Interesse:

- Die Wahrnehmung von Risiken muss von deren Bewertung getrennt untersucht werden;
- Vertrautheit und Bedrohlichkeit sind entscheidend für die Wahrnehmung von Risiken;
- die Resultate von Risikoanalysen haben nur einen geringen Einfluss auf die Bewertung, da sie auf anderen Messkonzepten beruhen.

Die Analyse der sicherheitswissenschaftlichen Literatur ergibt keine Hinweise, dass bei der Bewertung von Naturrisiken grundsätzlich andere Mechanismen wirken. Die vorhandenen Erkenntnisse lassen sich auch auf Naturgefahren anwenden.

6.2 Bewertung von Naturrisiken in der Schweiz

6.2.1 Modell des Bewertungsprozesses

Mit einem heuristischen Modell kann man abschätzen, wie Naturrisiken in der Schweiz wahrgenommen und bewertet werden. Darin müssen folgende Elemente im Modell enthalten sein:

- Informationen über Risiken (bestehend oder fiktiv);
- Faktoren, die die Verarbeitung der Information steuern;
- Faktoren, welche die Information wahrnehmbar machen;
- Werthaltungen, mit denen Nutzen und Schaden definiert werden;
- Präferenzen, um eine Zuordnung von Risiken und Werten vorzunehmen.

Der Bewertungsvorgang kann durch ein zweistufiges Modell dargestellt werden (Abbildung 6.1).

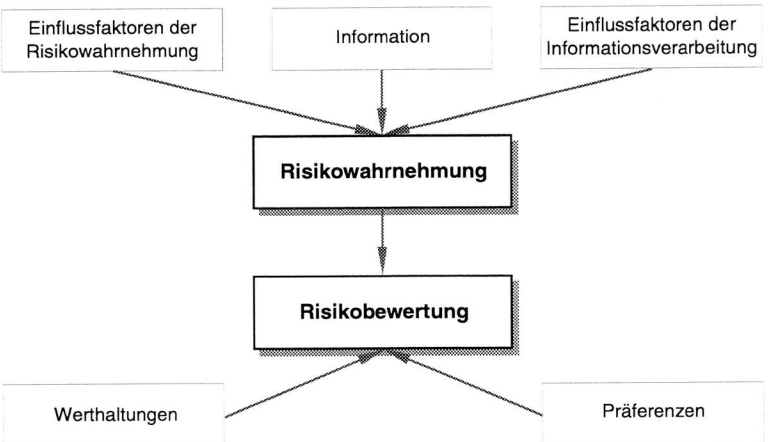


Abb. 6.1 Für die Bewertung müssen Risiken einerseits wahrgenommen werden, andererseits anhand von Werten und Präferenzen messbar sein.

Die Risikobewertung ist vor allem von Interesse, weil bisher Sicherheitsziele, Prioritäten und Massnahmen durch öffentliche Stellen festgelegt wurden. Dabei wurde nicht geprüft, ob die erbrachten Leistungen den tatsächlich vorhandenen Sicherheitsbedürfnissen entsprechen.

6.2.2 Wahrnehmung von Naturrisiken

Informationen über Risiken können beliebigen Ursprungs sein. Ihre Verarbeitung hängt stark von den Rahmenbedingungen der Risikokommunikation ab (Abschnitt 6.3). Diese beiden Faktoren sind situationsspezifisch und ihre Wirkung lässt sich im Modell nur ungenügend beschreiben. Lediglich die Wirkung der Einflussfaktoren der Risikowahrnehmung (vgl. Abbildung 6.1) kann direkt abgeschätzt werden.

Die Wahrnehmung von Risiken wird durch ihre Bedrohlichkeit und ihre Vertrautheit bestimmt (SLOVIC ET AL. 1986).

Entscheidend für die Wahrnehmung eines Risikos ist nicht dessen statistischer Erwartungswert, sondern seine Bedrohlichkeit als subjektiv perzeptierter «Worst-Case». Die Eintrittswahrscheinlichkeit ist weitgehend irrelevant. Die räumliche Begrenzung der Auswirkungen von Naturereignissen (keine «unbegrenzte» Verfrachtung von Stoffen und Energien) lässt ihre Bedrohlichkeit beschränkt erscheinen, selbst wenn im Wirkungsbereich totale Zerstörung eintritt. Bei graduell ablaufenden Prozessen (zum Beispiel «langsamer» Aufbau eines Hochwassers) reduziert der zeitliche Verlauf die perzeptierte Bedrohung zusätzlich.

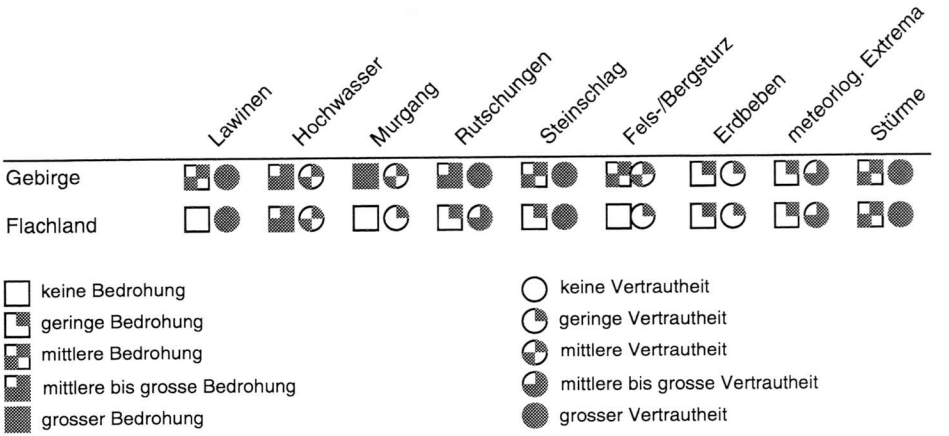
Die Vertrautheit hängt von der Komplexität eines Prozesses, von der eigenen Beteiligung, seiner Neuheit sowie der sinnlichen Erfassbarkeit der Wirkungen ab. Die Auswirkungen von Naturereignissen sind spürbar (sichtbar, fühlbar, hörbar). Die persönliche Beteiligung des Menschen als Teil der natürlichen Umwelt ist ebenfalls gegeben. Die Prozesse sind real zwar sehr komplex, diese Komplexität wird aber nur sichtbar, wenn man sich wissenschaftlich mit ihnen beschäftigt. Dies ergibt eine hohe Vertrautheit im Vergleich mit technischen Risiken.

Im Einzelfall hängen Bedrohlichkeit und Vertrautheit von individuellen Erfahrungen ab. Die Wahrnehmung ist räumlich und zeitlich variabel. Während eines Menschenlebens tritt ein Prozess unter Umständen nie ein, obwohl er statistisch gesehen sehr wahrscheinlich wäre. Die persönliche Konfrontation mit einem Ereignis kann zu drastischen Unterschieden in der Perzeption von sonst gleich disponierten Individuen führen (GREEN ET AL. 1987).

Mit den beiden Grössen Vertrautheit und Bedrohlichkeit kann man nun eine «mittlere Risikowahrnehmung» für eine bestimmte Gefährdung abschätzen. Dieser Wert hängt innerhalb eines kulturell einheitlichen geographischen Raumes (zum Beispiel Zentraleuropa) von verfügbaren Informationen über reale Ereignisse unter analogen Bedingungen ab. Mit anderen Worten: Wenn in vergleichbaren Gebieten (zum Beispiel in benachbarten Tälern) immer wieder bestimmte Ereignisse (Lawinenniedergänge) auftreten, prägt dies die individuelle Einschätzung der eigenen Situation (d.h. der Bedrohung durch Lawinen) auch dann, wenn man selbst bisher nicht damit konfrontiert wurde.

Aufgrund dieser Ueberlegungen lässt sich die Wahrnehmung der in der Schweiz wichtigsten gefährlichen Prozesse abschätzen. Dazu werden erst die Faktoren Bedrohlichkeit und Vertrautheit ermittelt (Tabelle 6.1). Wegen der starken Differenzierung der Topographie ist dabei eine Unterteilung in Gebirge und Flachland sinnvoll.

Die Darstellung beider Parameter in einem kartesischen Koordinatensystem ergibt einen Anhaltspunkt, wie verschiedene Naturrisiken etwa wahrgenommen werden (Abbildung 6.2).



Tab. 6.1 Abschätzung der Bestimmungsgrössen für die Risikowahrnehmung der wichtigsten Naturgefahren in der Schweiz.

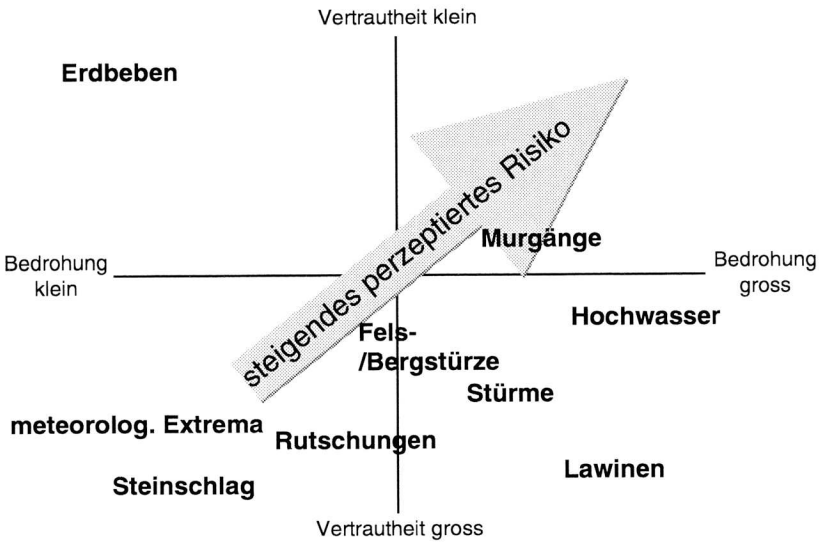


Abb. 6.2 Wahrnehmung von Naturrisiken, wie sie aufgrund von theoretischen Ueberlegungen für die Schweiz zu erwarten ist. Zwischen der Einschätzung in Gebirgs- und jener in Mittellandgegenden sind erhebliche Unterschiede wahrscheinlich (siehe Tab. 6.1).

6.2.3 Bewertung von Naturrisiken

Von der Risikowahrnehmung kann auf die Bewertung geschlossen werden, wenn Informationen über die geltenden Präferenzen und Werte verfügbar sind. Die Schwierigkeit ist, dass diese Angaben nur empirisch hergeleitet werden können. Zur eigentlichen Bewertung sind hier nur Hypothesen möglich.

6.2.3.1 Präferenz- und Wertsysteme zur Bewertung von Naturrisiken

Nach MASLOW (1987) wäre zu erwarten, dass Sicherheitsbedürfnisse Vorrang haben vor Aspekten der persönlichen Verwirklichung (Abbildung 6.3). Letztere sind aber für die individuellen Präferenzen besonders wichtig.

Wenn sich in der Schweiz viele Menschen freiwillig «hohen» natürlichen Risiken aussetzen (zum Beispiel Lawinen beim Skitourenfahren), deutet das darauf hin, dass sie sich (physisch und sozial) recht sicher fühlen: Bei der Bewertung von Naturrisiken geht es nicht um existentielle Bedrohungen (im Gegensatz zu wenig entwickelten Ländern wie dem regelmässig von Wirbelstürmen heimgesuchten Bangladesch).

Die Bewertung von Naturrisiken ist in der Schweiz nicht primär eine Frage der absoluten Sicherheit, sondern ein Abwägen zwischen Sicherheit und persönlicher Verwirklichung. Dabei ist zwischen physischer (körperliche Unversehrtheit) und sozialer Sicherheit (Gewährleistung des Lebensstandards) zu unterscheiden.

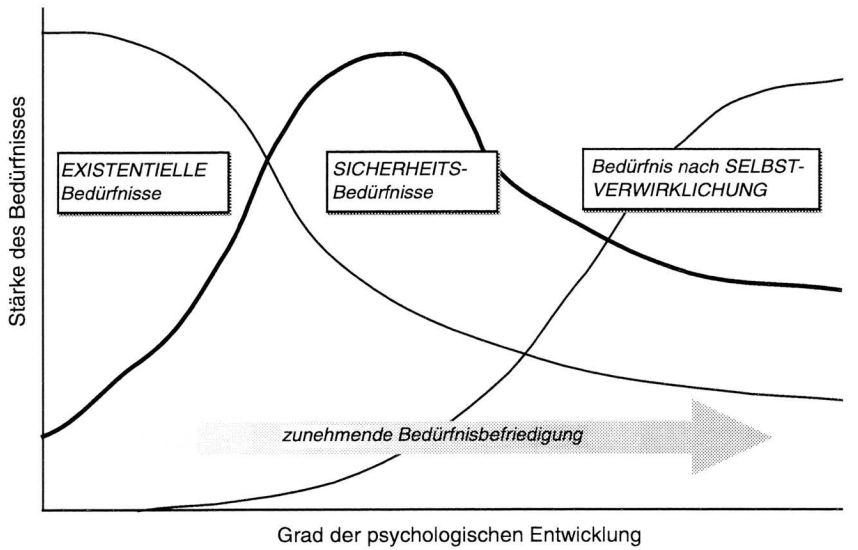


Abb. 6.3 Sicherheitsbedürfnisse werden unmittelbar nach jenen des existentiellen Bedarfs befriedigt, jedoch weit vor dem Bedürfnis nach persönlicher Verwirklichung. Nach MASLOW (1987).

Von 1972 bis 1992 kamen in der Schweiz durch Hochwasser und Murgänge 33 Personen ums Leben (EGLI 1992). Jährlich kann zudem noch mit rund 50 Toten durch Lawinen, Steinschläge etc. gerechnet werden (oft bei sportlichen Tätigkeiten). Insgesamt ist durchschnittlich mit weniger als 100 Todesopfern pro Jahr aufgrund von Naturereignissen zu rechnen. Bei einer Bevölkerung von 6,85 Millionen Menschen (BFS 1991) ergibt sich daraus eine individuelle Todesfallwahrscheinlichkeit von ca. $1*10^{-5}$. Dieser Wert ist intuitiv nicht mehr erfassbar und liegt unter jenem von anderen Risikoquellen (Strassenverkehr). Für eine Person, die sich nicht speziell exponiert, sind Naturereignisse als

Bedrohung des Lebens psychologisch also schlicht irrelevant (zumindest solange keine direkte Konfrontation mit einem realen Ereignis stattgefunden hat). Das physische Sicherheitsbedürfnis ist praktisch immer befriedigt.

Daraus kann man aber nicht schliessen, dass Naturrisiken auf dem bestehenden Niveau vorbehaltlos akzeptiert werden. Ihre sozialen und wirtschaftlichen Auswirkungen dürften wichtiger sein als die physische Bedrohung. Entscheidend ist, welche materiellen Schäden durch Naturereignisse toleriert werden. Dazu sind keine direkten Informationen verfügbar. Die Frage muss aufgrund von indirekten Ueberlegungen geklärt werden.

In der Schweiz werden über 10% Prozent des Einkommens der Privathaushalte für Versicherungen (inkl. Leben, Krankheit etc.) aufgewendet (BFS 1991). Dies ist weltweit einer der höchsten Anteile, und das Spektrum der versicherten Werte und Leistungen ist ausserordentlich gross. Dies weist auf eine ausgeprägte Aversion gegenüber unvorhersehbaren finanziellen Belastungen bzw. Einbussen hin.

Versicherungen sind zwar nicht geeignet, Schäden zu verhindern. Sie sind aber ein Indikator für die Risikotoleranz, da sie eine individuelle Möglichkeit des reaktiven Risikomanagements darstellen (MALLAGH 1985): Mit finanziellen Aufwendungen (Prämien) werden die wirtschaftlichen Auswirkungen der abgedeckten Risiken unter einem tolerierten Schwellenwert gehalten. Je höher die Prämien, desto kleiner ist der nicht abwälzbare Restschaden. So gesehen ist die Bevölkerung der Schweiz generell risikoscheu.

Naturrisiken sind als Elementarschäden in Gebäude- und Hausratversicherungen eingeschlossen. Für Immobilien besteht meist eine Pflichtversicherung, für Fahrhabe dagegen nicht. Eine Aussage über die tatsächliche Bewertung von Naturrisiken müsste sich auf die Prämien beziehen, die man für die Deckung von Schäden an Fahrhabe zu zahlen bereit ist. Diese Zahlen werden nie explizit ausgewiesen. Die Entwicklung der versicherten Schäden deutet aber auf eine immer umfassendere Deckung hin. Einerseits ist es in der Schweiz möglich, die Prämien zu zahlen, andererseits wird das Angebot an Policen laufend breiter. Bereits bestehen Anzeichen einer «Ueberversicherung»: gleiche Werte sind entweder mehrfach abgedeckt oder die Deckung aller Verpflichtungen durch den Versicherer im Worst-Case ist fraglich. Eine vollständige Absicherung entspricht zwar nicht einem Risiko Null, eliminiert aber mindestens die finanziell unvorhersehbaren Folgen. Finanzielle Schäden werden zu regelmässigen Aufwänden im Sinne von Rentenzahlungen transformiert. Für die Bewertung ist deshalb davon auszugehen, dass explizit nur ein Risiko gleich oder nahe Null toleriert wird. In jedem Fall liegt der Wert unter dem bestehenden Risiko.

Bei der Bewertung von Naturrisiken sind in der Schweiz nicht Menschenleben massgebend, sondern Sachwerte. Trotz vernachlässigbarer physischer Bedrohung bestehen deshalb weiterhin ungedeckte Sicherheitsbedürfnisse.

6.2.3.2 Die Bewertung von Naturrisiken in der Schweiz

Die meisten Naturgefahren sind räumlich begrenzt. Eine Minderheit der Bevölkerung ist durch sie potentiell betroffen. Diese Gruppe wird faktisch vollständige Sicherheit für sich verlangen. Dem steht die Mehrheit gegenüber, für die das Risiko irrelevant ist. Sie verfügt aber über die Ressourcen zur Gewährleistung

der Sicherheit. Der Interessenkonflikt zwischen diesen Gruppen kann auf zwei Arten gelöst werden:

- Es finden keine Umverteilungen statt, jedes betroffene Subjekt ist selbst dafür verantwortlich, dass seine individuellen Sicherheitsansprüche erfüllt werden.
- Sicherheit gegen Naturereignisse wird als gesellschaftliche Aufgabe definiert und mittels Umverteilung von Ressourcen kollektiv realisiert.

Der erste Ansatz widerspricht dem heutigen Gesellschaftsverständnis. Die Betroffenen sind nicht völlig frei in der Wahl ihrer Lebensumstände und damit auch ihrer Risiken. Die Folgen extremer Ereignisse sind existenzbedrohend, und die nötigen Schutzaufwendungen übersteigen die Möglichkeiten des Individuums. Die kollektive Lösung bietet eine «gerechtere» Belastung und Existenzsicherung für den Einzelnen und ermöglicht eine effizientere Nutzung von Ressourcen. Sie verlangt aber klar definierte Umverteilungsmechanismen.

Traditionell legt das Gemeinwesen Allokationen in gesetzlichen Grundlagen und behördlichen Verfahrensvorschriften fest. Die legislative oder exekutive Instanz nimmt also eine Risikobewertung vor, was die individuelle Kompetenz der direkt Betroffenen beschneidet: Die persönliche Risikoakzeptanz kann nicht als Entscheidungsgrundlage auf Stufe des Gemeinwesens dienen, da sie nicht verhandelbar ist. An ihre Stelle tritt eine Norm, die Risikoakzeptabilität. Sie wird in einem politischen Prozess (zum Beispiel stillschweigend oder in einer Abstimmung) definiert und soll zwischen den Interessen der Minderheit (potentiell geschädigt) und der Mehrheit (via Steuern durch Sicherungsaufwendungen belastet) einen Ausgleich schaffen. Ideal ist diese Konfliktsituation im Rahmen eines institutionalisierten Diskurses zu lösen, was bei technischen Risiken teilweise praktiziert wird. Für Naturgefahren wurde dieser Weg bisher nicht beschritten.

Bei seiner Risikobewertung ist das Gemeinwesen an Rahmenbedingungen gebunden. Besonders wichtig ist der Grundsatz der Gleichbehandlung. Die dazu nötige Vergleichbarkeit verschiedener Risiken ist bei Naturgefahren bisher nicht gegeben. Für einzelne Prozesse und Regionen bestehen unterschiedliche Normen. Aus ihnen lassen sich Anhaltspunkte zur situationsspezifischen Bewertung von Risiken durch bestimmte Stellen herleiten. Ob die gleichen Resultate politisch sanktioniert würden, wenn eine offene Diskussion über die Bedeutung von Naturrisiken stattgefunden hätte, kann allerdings nicht beurteilt werden.

6.2.3.2.1 Bewertung von Lawinenrisiken

Bei der Lawinengefahrenkartierung nach den Richtlinien des Bundes (BFF 1984) werden 3 Zonen unterschieden (Abbildung 6.4):

- Rot: Bereiche, in denen Lawinen mit einer Wahrscheinlichkeit $p > 0.003$ pro Jahr einen Druck von > 30 kN·m^{-2} ausüben oder mit $p > 0.03$ auftreten. In dieser Zone ist bei einem Ereignis mit Verletzten und Toten innerhalb von Gebäuden zu rechnen.
- Blau: Bereiche, in denen mit $0.03 > p > 0.003$ eine Druck von < 30 kN·m^{-2} erreicht wird. Hier sind Leute ausserhalb von Gebäuden physisch bedroht.
- Weiss: Uebrige Flächen, in denen Menschen im Normalfall durch Lawinen nicht zu Schaden kommen.

Fakultativ kann noch ein gelbes Gebiete ausgeschieden werden (nicht dargestellt in Abbildung 6.4).

Im roten Gebiet dürfen Bauzonen überhaupt nicht, im blauen nur sehr restriktiv ausgeschieden werden. Daraus kann folgendes zur Risikobewertung geschlossen werden:

- Eine individuelle Verletzungs- oder Todesfallwahrscheinlichkeit von < 0.003 / a bei dauernden Aufenthalt innerhalb von normal bemessenen Gebäuden scheint akzeptabel (rote Zone);
- ausserhalb von Gebäuden wird davon ausgegangen, dass sich durch die Beschränkung der zeitlichen Exposition das individuelle Verletzungs- bzw. Todesfallrisiko akzeptabel klein halten lässt;
- Gebäudeschäden sind akzeptabel, wenn sie nicht häufiger als alle 30 Jahre auftreten und mit zunehmender Schwere seltener werden.

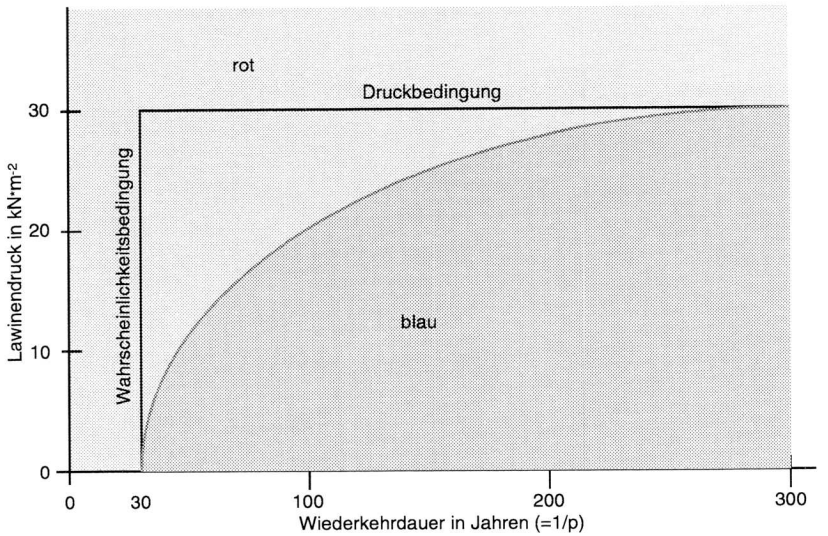


Abb. 6.4 Abgrenzung der verschiedenen Gebiete in Lawinengefahrenkarten aufgrund physikalischer Parameter. Die Wiederkehrdauer ist der Kehrwert der Eintretenswahrscheinlichkeit.

Es ist zu beachten, dass dies nichts mit der Bewertung durch die potentiell Betroffenen zu tun hat: Es ist eine kollektive Bewertung auf gesellschaftlicher Ebene: Wenn diese Vorgaben nicht mehr erfüllt sind, muss die Allgemeinheit Massnahmen ergreifen.

6.2.3.2.2 Bewertung von Hochwasserrisiken

Die neue Richtlinie für den Hochwasserschutz des Kantons Uri aus dem Jahr 1992 ist ein Beispiel einer differenzierten Festlegung der Risikoakzeptabilität. Sie enthält nicht mehr ein allgemein gültiges Schutzziel, sondern eine

Abstufung nach Wertobjektkategorien. Daraus lassen sich folgende Rückschlüsse auf die Risikobewertung ziehen (vgl. Abbildung 6.5):

- Bei «naturnahen» Nutzungen (Landwirtschaft) ist man bereit, eine hohe relative Schädigung (gemessen am Wert) zu tolerieren. Der absolute Schaden pro Fläche ist vergleichsweise gering, und die betroffenen Objekte haben ein hohes natürliches Regenerationspotential.
- Die Bedeutung von Infrastrukturanlagen wird weniger hoch eingeschätzt, als dies zu erwarten wäre. Selbst bei national wichtigen Anlagen werden häufigere Schäden toleriert als zum Beispiel bei Industriebetrieben. Hier dürfte die geringe Verletzlichkeit von Strassen und Bahnen gegenüber Hochwasser eine Rolle spielen.
- Der Verlust von Menschenleben wird, abgesehen von Extremereignissen, als nicht akzeptierbar betrachtet. Objekte, in denen sich dauernd Menschen aufhalten, geniessen den höchsten Schutz.

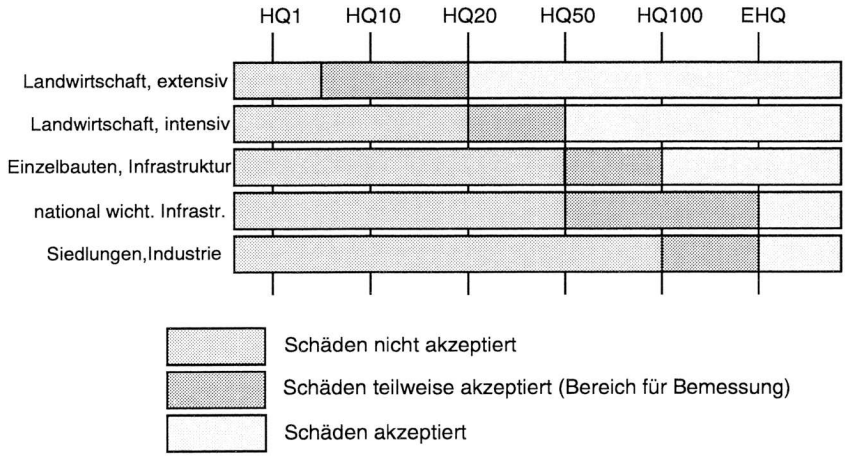


Abb. 6.5 Anforderungen an die Hochwassersicherheit bei verschiedenen Objektkategorien nach den Richtlinien des Kantons Uri. HQn bezeichnet ein Hochwasser mit Jährlichkeit n (Eintretenswahrscheinlichkeit 1/n pro Jahr), EHQ das extreme Hochwasser.

Die Beispiele zeigen, dass primär politische und wirtschaftliche Ueberlegungen bei der Risikobewertung und der Definition von Schutzzielen mitspielen. Als unakzeptierbar gelten Risiken, die zu Todesfällen führen können. Als nächstes folgen jene, die zur Beeinträchtigung lokal wichtiger physischer und sozialer Strukturen führen (unterste Kategorie in Abb. 6.5). Diese Einschätzung mag für externe Beobachter egoistisch wirken, sie dürfte aber nicht nur bei Naturereignissen auftreten. Verschiedene Untersuchungen (zum Beispiel RAPHAEL 1986) zeigen zudem, dass langfristige Schäden und Sekundärschäden in hohem Masse davon abhängen, ob es gelingt, eben diese Strukturen zu erhalten bzw. schnell wieder instand zu stellen. Die Fokussierung auf die «eigenen Anliegen» ist nicht nur verständlich, sondern sinnvoll im Hinblick auf die Minimierung des Gesamtschadens.

6.2.3.3 Mechanismen zur Festlegung von formellen Sicherheitszielen

Bei den Beispielen lagen Sicherheitsziele in Form von Gesetzesregelungen vor. Wie sie festgelegt wurden, ist nicht erkennbar.

Das Vorgehen bei der Definition von Sicherheitszielen hängt von Zuständigkeiten und damit von der Art der Risiken ab. Bei Naturgefahren werden sie fast immer vorbeugend aufgrund eines Auftrages zur Gesetzgebung festgelegt. Dabei kommen je nach Art der Regelung (Gesetz, Verordnung, Reglement) verschiedene Mitwirkungsformen (Vernehmlassung, Abstimmung) zur Anwendung. Der gleiche Prozess läuft bei einer ganzen Reihe von technischen Risiken ab (OKRENT 1989).

Bei «diffusen» Alltagsrisiken, bei denen die öffentliche Hand nicht von vorneherein per Gesetz zuständig ist, werden Sicherheitsziele nach einem anderen Muster festgelegt. Die Initiative geht oft von direkt betroffenen Institutionen aus (MOSS 1985). Versicherungen und Standesorganisationen erarbeiten Vorgaben, die vorerst keine öffentlichrechtliche Wirkung haben, aber faktisch oder vertraglich (zum Beispiel aufgrund von Statuten einer Institution) in einem bestimmten Bereich verbindlich sind. Auch Gerichtsurteile stützen sich oft auf derartige Vorgaben, die häufig als «Regeln der Kunst» bezeichnet werden. Viele Bestimmungen zur Arbeitssicherheit sind so entstanden (SARS 1983). Auch die massenhafte Verbreitung von technischen Schutzeinrichtungen (Sicherheitsgurte) ist darauf zurückzuführen (CLAYBROOK 1983, ROBERTSON 1983). Wenn sich die Regelungen bewähren, übernimmt man sie später oft in Gesetze. Bei anderen diffusen Risiken besteht seitens der Institutionen kein Bedarf für solche Standards, da «nur» Einzelpersonen betroffen sind, welche Schäden bewusst in Kauf nehmen (zum Beispiel beim Rauchen). Es geschieht erst etwas, wenn die Oeffentlichkeit das Problem in einer gesellschaftlichen Dimension wahrnimmt. Die Medien (und damit die subjektiven Einschätzungen der Medienschaffenden) spielen dabei eine entscheidende Rolle (OMANG 1983). Neben Verhaltensänderungen bei den Betroffenen (WARNER 1983) kommt es oft auch auf politischer Ebene zu Handlungen. Quantitative Sicherheitsziele sind dabei ein mögliches Ergebnis.

Diese reaktive Festlegung von Sicherheitszielen ist bei Naturgefahren bisher sekundär. Wenn aber die Schäden durch diffuse Prozesse (Dürren, Bodenerosion, Auftauen von Permafrost) weiter zunehmen, wird dieser Ansatz in Zukunft an Bedeutung gewinnen.

6.3 Kommunikation über Naturrisiken

Die Risikokommunikation stellt Mechanismen und Interessen bei der Bewertung für alle Beteiligten nachvollziehbar dar und vermittelt Informationen, die für das Risikomanagement relevant sind. Sie wird damit zum wichtigsten Element im Meinungsbildungs- und Entscheidungsprozess der Bewertung.

6.3.1 Grundlagen und Zielsetzung der Risikokommunikation

Ein Kommunikationssystem besteht aus vier verschiedenen Elementen (Abbildung 6.6):

- Informationsquellen;
- Informationen (Art, Inhalt);
- Informationskanäle;
- Informationsziel.

Beim interaktiven Kommunikationsprozess ist keine feste Zuordnung von Quell- und Zielfunktion zu einzelnen Elementen möglich. Information wird auf mehreren Ebenen, über verschiedene Kanäle und in beide Richtungen vermittelt.

Risikokommunikation ist ein interaktiver Informationsaustausch in mehreren Richtungen.

Die Kommunikation weist Analogien zum Handelsprozess auf. Anbieter (Quellen) versuchen, mit ihrem Produkt (Information) über Absatzwege (Kanäle) Nachfrager (Zielpublikum) zu erreichen. Nachfrage nach Information entsteht nur, wenn durch sie Bedürfnisse abgedeckt werden. Dem wird bisher bei Naturgefahren zu wenig Rechnung getragen: Man geht man davon aus, dass Informationen von einer Quelle ausgegeben und vom Zielpublikum abgeholt und allenfalls weiterverarbeitet werden. Die Wirkung der Information wird nicht überprüft. Verarbeitungs- und Interpretationsfehler bleiben an der Quelle unbemerkt und unkorrigiert.

Im modernen Konzept der Risikokommunikation hat die Ueberprüfung dagegen einen sehr hohen Stellenwert (IRM 1996). Dabei sind vier verschiedene Formen der Kommunikation zu unterscheiden (ALLEN 1989):

- «Wertneutrale» Vermittlung von Information, allenfalls Ausbildung des Zielpublikums über bestehende Risiken;
- Anstoss für Verhaltensänderungen und persönliche Schutzmassnahmen beim Zielpublikum;
- Plattform für Problem- und Konfliktlösung gemeinsam mit den betroffenen Kreisen;
- Warnung und Information im Ereignisfall.

Die ersten drei Anwendungen wirken auf die Risikobewertung, die letzte auf das Risikomanagement. Die angestrebten Wirkungen sind aber für alle Formen gleich (SANDMAN 1989). Sie sollen:

- verhindern, dass die individuelle und kollektive Aufmerksamkeit von wichtigen und relevanten Problemen weg zu unwichtigen / irrelevanten hingelenkt wird;
- unnötige psychologische Belastungen der Bevölkerung durch Angst und Furcht reduzieren;
- Ueberreaktionen vermeiden helfen, um das längerfristige Risikomanagement nicht zu gefährden (zum Beispiel nach extremen Ereignissen);

- «ideologische» Auseinandersetzungen mit fehlender gemeinsamer Gesprächsbasis verhindern;
- Spannungen zwischen verschiedenen Hierarchiestufen abbauen helfen;
- das Verständnis der Risikowahrnehmungen und der Bedürfnisse verbessern;
- die Reaktion auf Massnahmen von Behörden besser prognostizierbar machen;
- den Dialog und Informationsstand über Risiken verbessern;
- bessere Informationen über behördliche Risikomanagementstrategien liefern;
- die Informationsbasis für Risikomanagemententscheidungen verbessern.

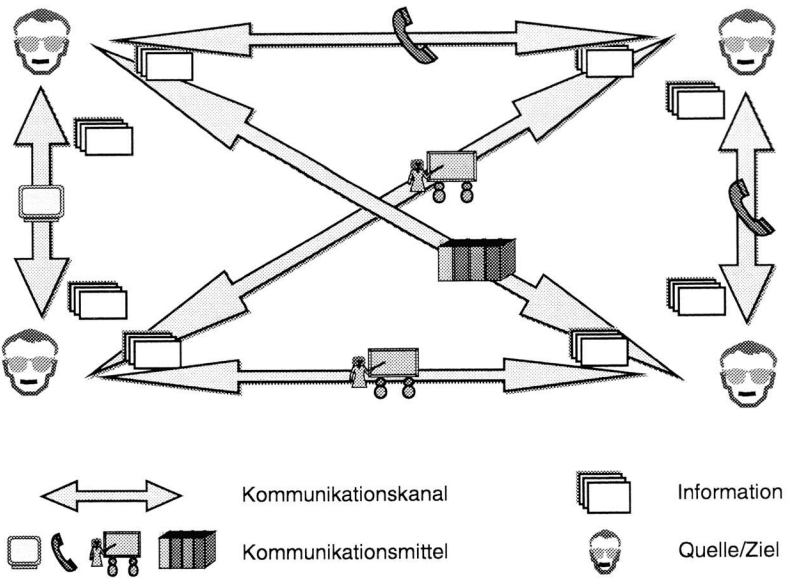


Abb. 6.6 Elemente und Funktionen eines Kommunikationssystems: Im Gegensatz zu einem Informationssystem bestehen keine statischen Quell- und Zielfunktionen. Informationen werden von mehreren Quellen durch verschiedene Kanäle zu mehreren Zielen geleitet.

Viele der Ziele sind nur schwer quantifizierbar, zur Prüfung der Zielerreichung bestehen aber indirekte Indikatoren. Gut geeignet sind zum Beispiel die Anzahl von zu bereinigenden Konfliktfällen während der Umsetzung von Massnahmen, die Dauer bis zu deren Realisierung oder die Zahl der Betroffenen, welche aus eigener Initiative Anteil am Risikomanagement nehmen (ALLEN 1989).

6.3.2 Vorgehen bei der Risikokommunikation

Initiiert wird die Kommunikation durch eine Quelle, die mit Informationen bei einem Ziel eine bestimmte Wirkung anstrebt. Sie versucht, das Kommunikationssystem zu optimieren: Ausgehend vom Ziel, das am wenigsten beeinflusst

werden kann, werden die übrigen Elemente gestaltet. Dabei sind drei Teilschritte wesentlich (ARKIN 1989, CALLAGHAN 1989):

Planung der Kommunikation:	Ziel definieren, das mit dem Kommunikationsprozess erreicht werden soll
	Bestimmung des Zielpublikums der Information
	Stratifizierung des Zielpublikums, falls es eine grosse Heterogenität aufweist
	Marktforschung, um das «Konsumverhalten» im Informationsbereich zu erkennen
	Wahl der Kommunikationsmittel und -kanäle
Konstruktion der Botschaft:	angestrebte Wirkung der Information definieren
	Anforderungen (Wortwahl, Hauptpunkte, Art etc.) definieren
	Botschaft gestalten
Test der Botschaft:	am Zielpublikum oder an einer Stichprobe prüfen, ob die gewünschten Wirkungen eintreten
	wenn nötig Modifikation

Dieser Aufwand ist nicht für jedes Einzelrisiko gerechtfertigt. Wenn aber über die Risiken ganzer Branchen und Länder kommuniziert wird, lohnt sich diese Investition. Der Erfolg oder Misserfolg des Risikomanagements hängt letztendlich davon ab, ob dessen Konzepte für die Betroffenen verständlich und akzeptierbar sind. Dies wird erleichtert, wenn das Publikum möglichst frühzeitig Gelegenheit für Rückmeldungen erhält. Neben inhaltlichen Verbesserungen (Information) wird dadurch auch das Zielpublikum (Interesse für das Thema) und das Vertrauen in die Informationsquellen optimiert. Bisherige Untersuchungen über technische Risiken (zum Beispiel ARKIN 1989) haben nämlich z.T. gravierende Vertrauensmängel in Wissenschaft und Behörden ergeben. Obwohl weniger ausgeprägt, ist auch bei Naturrisiken mit dieser Skepsis gegenüber dem «Expertentum» zu rechnen.

6.3.3 Empfehlungen für die behördliche Risikokommunikation

6.3.3.1 Organisatorische Empfehlungen

Die nachfolgenden Empfehlungen basieren auf den «Principles and guidelines for improving risk communication» von COVELLO ET AL. (1989). Diese wurden für technische Risiken entwickelt und gehen davon aus, dass für die Kommunikation mehrere Amtsstellen zuständig sind. Viele Grundsätze lassen sich aber sinnvoll auf Naturrisiken übertragen. Verbesserungen sind durch folgende Massnahmen möglich:

- Einen dauerhaften Informationsaustausch zwischen den beteiligten Behörden einrichten, um ein Maximum an Koordination und Synergien bei minimalem Aufwand und Konfliktpotential zu gewährleisten.

- Alle Kommunikationsaktivitäten rechtlich und fachlich koordinieren, was die Anwendung einer einheitlichen Doktrin zur Festlegung von Akzeptabilitätswerten erleichtert.
- Prioritäten für die Risikoanalyse und -kommunikation behördenverbindlich festlegen und für Aussenstehende transparent darstellen. In einer solchen Agenda sollen Arbeitsschwerpunkte, vorhandene Resultate und bestehende Lücken klar zum Ausdruck kommen.
- Regelmässig und institutionalisiert Erfahrungen austauschen, so dass die verschiedenen Behörden Form und Inhalt der Kommunikation über Naturrisiken kontinuierlich verbessern können.
- Behördenvertreter, die mit der Oeffentlichkeit über Risiken kommunizieren sollen, entsprechend ausbilden.

6.3.3.2 Ueberprüfung des Kommunikationsprozesses

Im Rahmen des Kommunikationsprozesses ist zu prüfen, ob die operationellen Ziele erreicht werden. ALLEN (1989) stellt in seiner Untersuchung von Programmen der US-Administration fest, dass eine derartige Evaluation der Resultate praktisch nie gemacht wird (unter anderem weil die Ziele nicht klar definiert sind). Längerfristig ist der Aufwand für die Risikokommunikation aber nur sinnvoll, wenn sie nachweisbar wirksam ist. Als Messverfahren kommen Methoden des Marketings (zum Beispiel Copy- und Recall-Tests, HAUSER 1993) in Frage, aber auch indirekte Indikatoren wie die Zahl der involvierten Stellen oder der Beschwerden und Einsprachen.

6.3.3.3 Verbesserungen bei der Umsetzung

Aus der Zielsetzung für die Risikokommunikation ergeben sich folgende Grundsätze für die Umsetzung durch eine öffentliche Stelle:

- Die Rolle aller beteiligten Behörden bei der Risikokommunikation muss klar definiert und dargestellt werden (MASON 1989).
- Vor Beginn des eigentlichen Kommunikationsprozesses sind dessen Ziele und das Kommunikationssystems zu definieren, die Informationen bedarfsgerecht aufzubereiten und genügende Ressourcen bereitzustellen.
- Alle Betroffenen sind möglichst früh und nach klaren Regeln in den Prozess einzubeziehen. Sie sollen ihre Anliegen und Fragen in der eigenen «Sprache» vorbringen können. Daraus ergibt sich, wie und worüber die Risikokommunikation Informationen vermitteln soll.
- Die Kommunikation muss sich an die Zielgruppen anpassen. Ein einheitliches Vorgehen für alle Betroffenen reduziert zwar den Aufwand, erbringt aber nicht die gewünschten Ergebnisse (KASPERSON ET AL. 1989).
- Die Wirkung der Kommunikation ist in Pilottests für alle Zielgruppen zu prüfen, um Unzulänglichkeiten und unerwünschte Nebeneffekte vor Beginn des eigentlichen Kommunikationsprozesses eliminieren zu können.
- Informationsquellen müssen glaubwürdig sein: Bestehende Informationen, aber auch vorhandene Wissenslücken sind klar und verständlich zu präsentieren (HATTIS 1989, IRM 1996). Die Arbeit mehrerer Quellen muss koordiniert werden, um die formelle und inhaltliche Konsistenz der

Information sicherzustellen. Quellen, deren Glaubwürdigkeit einmal erschüttert wurde, fallen für lange Zeit aus.

- Vordergründig nicht relevante Aspekte und Informationsbedürfnisse müssen ernst genommen werden, wenn die Vertrauensbasis beim Publikum nicht gefährdet werden soll: Ob eine Information für eine Zielgruppe wichtig ist, kann nicht die Quelle entscheiden.
- Die Vertrauensstellung von nichtöffentlichen Informationsvermittlern (Presse, Wissenschaft etc.) soll ausgenützt werden. Das Publikum ist ihnen gegenüber oft weniger skeptisch als bei offiziellen Organen. Entsprechende Mittel und Inhalte der Kommunikation sind vorgängig zu planen (Medienorientierung, Reportagen vor Ort).

Eine gut organisierte Risikokommunikation verursacht zwar einen höheren Aufwand für die Behörden, verbessert aber das Vertrauen bei den Betroffenen. Die verfügbaren Ressourcen können damit gezielter eingesetzt werden.

6.3.4 Empfehlungen für die Kommunikation über Naturrisiken

Die folgenden Empfehlungen sollen dazu beitragen, dass die Risikobewertung auf eine «rationalere» Basis abgestellt werden kann. Damit lassen sich das Verhalten der Betroffenen eher abschätzen und die Planung des Risikomanagements verbessern.

- Einzelereignisse nicht isoliert darstellen: Bei Naturgefahren werden oft nur Extremereignisse wahrgenommen. Kleinere Schäden, welche ebenfalls zum Risiko beitragen und eventuell mit geringem Aufwand zu verhindern wären, werden zu wenig beachtet. Der Anteil, den verschiedene Ausmasskategorien am Gesamtrisiko ausmachen, ist aussagekräftiger als eine Wahrscheinlichkeits-Ausmass-Relation.
- Massgebende Gefährdungsbilder bekannt machen: Die in der Analyse erfassten Abläufe sind oft der Bevölkerung nicht genau bekannt. Aufklärungsarbeit kann helfen, ungerechtfertigte Aengste abzubauen und sich gezielter auf Ereignisse vorzubereiten. Diesbezügliche Informationen müssen möglichst breit gestreut werden, da nicht zu erwarten ist, dass das Publikum sie selbständig beschafft.
- Bei den Betroffenen das Bewusstsein bilden, dass Schäden nicht völlig verhindert werden können: Nach Grossereignissen wird oft «absolute» Sicherheit gefordert. Das Sicherheitsbedürfnis steigt an, weil vorher kein Bewusstsein für die bestehenden Risiken bestand. Die Kommunikation soll das Bewusstsein schaffen, dass Naturgefahren nicht völlig eliminierbar sind und immer eine Bedrohung für menschliche Werte bleiben werden.
- Vor- und Nachteile von Handlungsalternativen aufzeigen und Entscheide begründen: Die strategische Ausrichtung des Risikomanagements und die Massnahmen können Gegenstand einer politischen Diskussion werden. Technische, wirtschaftliche und naturwissenschaftliche Folgen der verschiedenen Lösungsmöglichkeiten und die Gründe für eine bestimmte Wahl sollen für alle Interessierten klar ersichtlich sein.
- Interessenkonflikte zwischen verschiedenen Behörden vorgängig bereinigen: Wenn am Risikomanagement mehrere Instanzen beteiligt (Bund, Kantone,

Gemeinden) sind, müssen allfällige Interessenkonflikte bereinigt sein, bevor über Risiken kommuniziert wird. Andernfalls stellen die Widersprüche die Akzeptanz des Risikomanagements in der Bevölkerung in Frage.

- Kommunikationsprozess dokumentieren: Viele Phänomene der Kommunikation sind nicht fallspezifisch, sondern durch den Prozess bedingt. Frühere Erfahrungen helfen, Probleme durch geeignete Planung zu vermeiden oder zumindest frühzeitig zu erkennen.
- Erfolg der Kommunikation (Kenntnisstand, beabsichtigte und eingetretene Reaktionen) überprüfen: Die Betroffenen sollen die Möglichkeit haben, sich zur Kommunikation zu äussern. Schon einfache Fragebogen und Interviews zeigen die wichtigsten Stärken und Schwächen auf und geben Anhaltspunkte für Verbesserungen im Kommunikationsprozess. Damit kann das Verhältnis von Aufwand und Ertrag sicher verbessert werden, obwohl ein quantitativer Nachweis der Wirkung im Sinne einer Kosten-Nutzen-Rechnung nicht möglich ist (SCHUDSON 1991).

6.3.5 Beispiele für die Informationsvermittlung im Rahmen der Risikokommunikation

An drei Beispielen wird dargestellt, wie über Naturrisiken mit verschiedenen Zielen kommuniziert werden kann. Die Informationen und die Elemente des Kommunikationssystems sind je nach Situation sehr unterschiedlich. Interessant ist, ob die erwähnten Anforderungen und Empfehlungen berücksichtigt sind.

6.3.5.1 Risikokommunikation als reine Informationsvermittlung

Beispiel: Letztes Lawinenbulletin der Saison 1994/95 des EISLF vom 2. Juni 1995:

ALLGEMEINES:

Auf Freitag fiel oberhalb von 2000 m nochmals Schnee. Dieses Mal wurden in den nördlichen und östlichen Gebieten der Schweizer Alpen 10 bis 30 cm abgelagert, sonst waren es 5 bis 20 cm. In der zu Ende gehenden niederschlagsreichen Woche wurden somit die grössten Neuschneemengen mit 50 bis 90 cm im südlichen Wallis oberhalb rund 2500 m gemessen. Nordwestliche Höhenwinde führten ab Donnerstag vor allem im Osten zu Schneeumlagerungen im kammnahen Bereich.

SCHNEEDECKE:

Der Neuschnee hat sich zwar stark gesetzt, aber noch nicht genügend mit den Altschneeschichten verbunden. Diese sind vor rund einer Woche bis in Höhenlagen von 3200 m durchfeuchtet worden und dürften bei neuerlicher Erwärmung wieder störanfällig werden.

GEFAHRENSTUFEN:

Westlicher Alpennordhang und Wallis: Erhebliche Schneebrettgefahr oberhalb rund 2400 m.

Uebrige Regionen der Schweizer Alpen: Mässige Schneebrettgefahr oberhalb rund 2600 m.

Zudem sind Nassschneelawinen in allen Regionen im Höhenbereich von 2200 bis 3200 m möglich. Dabei dürfte vorerst nur der Neuschnee abgleiten. Bei Erwärmung und starker Einstrahlung kann aber auch die Altschneedecke mitgerissen werden.

TENDENZ:

Die Lawinensituation über Pfingsten dürfte durch wechselhaftes Wetter geprägt sein. Eine Besserung ist zum mindesten nach klaren Nächten in den Morgenstunden zu erwarten.

Ziel der «Botschaft» ist der Hinweis auf mögliche Lawinenrisiken. Obwohl nicht explizit definiert, ergibt sich daraus das Zielpublikum: Skitouristen und übrige Personen, die sich in nicht gesicherten Höhenlagen aufhalten. Das Bulletin unterscheidet nicht nach Zielgruppen, ebenso fehlt eine Marktforschung. Dies ist kritisch, wenn sich (in dieser Zeit erstmals im Jahr) viele Leute im Gebirge befinden, die mit Lawinen nicht vertraut sind, zum Beispiel Wanderer. Es ist fraglich, ob diese das Bulletin richtig interpretieren.

Als Kommunikationsmittel wird reiner Text verwendet. Ergänzende Mittel (zum Beispiel Visualisierungstechniken) kommen nicht zum Einsatz. Die Verbreitung erfolgt über elektronische und Printmedien, wobei keine Anpassung an die Kanäle erfolgt.

Die Information wird durch eine glaubwürdige, unabhängige und nichtöffentliche Stelle verbreitet. Nur bedingt erfüllt sind dagegen die Forderungen nach einer Anpassung der Kommunikation an die Zielgruppen und der Wahrnehmung «irrelevanter» Informationsbedürfnisse. Ein Einbezug der betroffenen Kreise und eine Prüfung der Wirkung der Botschaft fehlt.

Von den Empfehlungen (Abschn. 6.3.4) sind die ersten vier (Ereignisse nicht *isoliert darstellen, massgebende Gefährdungsbilder zeigen, Bewusstsein für* Schäden bilden, Handlungsalternativen zeigen) ganz oder teilweise erfüllt, die anderen (Bereinigung Interessenkonflikte, Dokumentation und Ueberprüfung des Kommunikationprozesses) nicht.

Ob das Bulletin sein Ziel erreicht, ist schwer zu beurteilen. Beim primären Zielpublikum (Skitouristen) ist es weit verbreitet und gut beachtet. Hilfreich ist *sicher auch die Unterstützung, die es durch «Vetrauenspersonen» (Bergführer,* Hüttenwarte) erhält. Verbesserungen sind in der Form möglich, wenn man zum Beispiel anhand einer Graphik die Stellen mit dem höchsten Risiko bildlich darstellt.

6.3.5.2 Risikokommunikation als Verhaltensanweisung für das Zielpublikum

Beispiel: Tsunami-Factsheet (Federal Emergency Management Agency der USA). Die FEMA hat zu verschiedenen gefährlichen Prozessen Factsheets erarbeitet, die Richtlinien zum Verhalten vor, während und nach einem Ereignis enthalten.

TSUNAMIS

A tsunami is a series of waves that may be dangerous and destructive. When you hear a tsunami warning, move at once to higher ground and stay there until local authorities say it is safe to return home.

BEFORE

Find out if your home is in a danger area. Know the height of your street above sea level and the distance of your street from the coast. Evacuation orders may be based on these numbers.

Be familiar with the tsunami warning signs. Because tsunamis can be caused by an underwater disturbance or an earthquake, people living along the coast should consider an earthquake or a sizable ground rumbling as a warning signal. A noticeable rapid rise or fall in coastal waters is also a sign that a tsunami is approaching.

Make sure all family members know how to respond to a tsunami. Make evacuation plans. Pick an inland location that is elevated. After an earthquake or other natural disaster, roads in and out of the vicinity may be blocked, so pick more than one evacuation route.

Teach family members how and when to turn off gas, electricity, and water. Teach children how and when to call 9-1-1, police or fire department, and which radio station to listen for official information.

Have disaster supplies on hand.

- Flashlight and extra batteries
- Portable, battery-operated radio and extra batteries
- First aid kit and manual
- Emergency food and water
- Nonelectric can opener
- Essential medicines
- Cash and credit cards
- Sturdy shoes

Develop an emergency communication plan. In case family members are separated from one another during a tsunami (a real possibility during the day when adults are at work and children are at school), have a plan for getting back together. Ask an out-of-state relative or friend to serve as the «family contact.» After a disaster, often it's easier to call long distance. Make sure everyone knows the name, address, and phone number of the contact person. Contact your local emergency management office or American Red Cross chapter for more information on tsunamis.

Die Informationen sollen den Leuten ermöglichen, sich gegen Personenschäden zu schützen. Das Zielpublikums ist nicht eingegrenzt oder stratifiziert. Ob eine Marktforschung erfolgt ist, ist nicht ersichtlich. Als Kommunikationsmittel kommt Text zum Einsatz, Visualisierungen fehlen. Das vorliegende Beispiel stammt aus dem Internet. Ueber andere Kanäle und die Anpassung der Form an die Medien liegen keine Angaben vor.

Das Factsheet ist Teil eines vorbereiteten, strukturierten Programms der FEMA. Es erlaubt in der vorliegenden Form keinen Einbezug des Zielpublikums (read-only). Eine gezielte Anpassung der Kommunikation an einzelne Gruppen ist nicht möglich. Das Factsheet-Programm als ganzes ist aber darauf ausgerichtet, möglichst einfache und allgemein gültige Informationen zu vermitteln, die keine solche Anpassung erfordern. Unklar ist, ob die Wirkung der Kommunikation geprüft wird und ob die FEMA beim Zielpublikum als glaubwürdige Informationsquelle gilt. Mindestens wird das Vertrauen, das informelle Vermittler geniessen, durch den Hinweis auf weitergehende Informationsquellen (Rotes Kreuz etc.) genutzt.

Die Empfehlungen für die Kommunikation über Naturrisiken (Abschn. 6.3.4) werden im ganzen Factsheet-Programm weitgehend beachtet.

6.3.5.3 Risikokommunikation als Katastrophenwarnung und -information im Ereignisfall

Beispiel: Lagebericht des zivilen kantonalen Führungsstabes anlässlich der Hochwasser 1987

Lagebericht Katastrophe Uri 25.8.87

Stand 25.8.87, 10.00 Uhr

Schadenlage

- Reuss ab Attinghausen diverse Dammbrüche (ca. total 1 km) und Ueberflutungen
- Flüelen (Dorfkern N2 Ausfahrt – Flüelerhof): unter Wasser
- Seedorf: nördl. Gebiet ab Linie Seedorferbrücke – Bauernschule – Tennisplätze unter Wasser
- Altdorf: Ueberflutungen nördl. Bahnhof

- Attinghausen: ganzes Gebiet entlang Reuss unter Wasser (Liegenschaft Zurfluh – Palanggen)
- Erstfeld: westl. Dorfteil (kath. Kirche, Niederhofen) unter Wasser; östl. Dorfkern teilw. unter Wasser; Reussbrücke beschädigt
- Silenen – Amsteg: Schäden (Wuhrschäden) in Amsteg; Dammbruch bei Kärstelenbach; Bristenstr. erschwert befahrbar
- Gurtnellen – Wiler: Schäden bei Reussbrücke und Umgebung
- Wassen: Bahnhof unter Wasser; Sustenstr. geschlossen
- Göschenen: Bahnhof unter Wasser; Kantonsstrasse bei Teufelsstein im Rutschen
- Andermatt: Ueberflutungen im Gebiet Kaserne – Bahnhof – Café Kirstall – Tristel
- Strasse: N2 gesperrt für Privatverkehr
  alle Pässe geschlossen; Klausen für Hilfstransporte passierbar
  Gotthardstrasse: ab Amsteg gesperrt
  ab Amsteg: Kantonsstrasse und N2 div. Brückenschäden und Strassenunterbrüche
- Bahn: bis Sisikon von Norden
- bis jetzt keine Personenschäden; Evakuationen abgeschlossen (Seedorf, Flüelen, Attinghausen, Silenen–Amsteg, Altdorf evtl. weitere Gemeinden)
- Tierkadaver in Attinghausen und Altdorf (ca. 800 Stück, v.a. Kleinvieh)

Uebriges

- Schnee oberhalb 1400 m ü. M. (Andermatt etc.)
- Stauseen: dank Schnee Entlastung
- Ueberlastung Telephon–Verbindungen und K–Kanal
- Militär: Hilfsangebote (Spontanhilfe, «Normalhilfe») liegen vor
- H Heli im Einsatz
- Seit frühem Morgen (teils seit gestern Abend) 800 Fw–Leute im Einsatz

Grundsätzlich

- Aus dem Gebiet oberhalb Amsteg und Ursern sind die Meldungen nur punktuell, da ein Ueberfliegen noch nicht möglich war

Hier handelt es sich nicht um eine Kommunikation unter «normalen» Bedingungen, sondern um eine mit stark eingeschränktem Handlungsspielraum.

Ziel des Berichtes ist, einen Ueberblick über die (gegenüber vorher stark veränderten) Verhältnisse zu geben. Das Zielpublikum ist aufgrund der Quelle nicht zu eruieren, denkbar sind zum Beispiel der Regierungsrat, die Presse, Wehrdienste oder die Oeffentlichkeit. Eine Stratifizierung wird nicht vorgenommen, Marktforschung war nicht möglich.

Als Kommunikationsmittel wird Text verwendet; bei der ursprünglichen Präsentation wurden ergänzend Lagekarten eingesetzt. Die Wahl der Kanäle war durch die weitgehenden Zerstörungen stark eingeschränkt. Auf die Konstruktion der Botschaft (Wortwahl etc.) konnte aus Zeitgründen kein besonderes Augenmerk gerichtet werden; ebensowenig waren Tests möglich. Situationsbedingt konnten mit Ausnahme der Glaubwürdigkeit der Quelle die Anforderungen (Abschn. 6.3.3) nicht erfüllt werden.

Die einzelnen Ereignisse werden (im Rahmen des möglichen) nicht isoliert dargestellt. Die Dokumentation des Kommunikationsprozesses erfolgte später im Bericht an den Regierungsrat. Nur bedingt Beachtung fand die Konzentration auf die massgebenden Schadenbilder und das Aufzeigen und Begründen von Handlungsalternativen. Die übrigen Empfehlungen (vgl. Abschn. 6.3.4) sind für diese Anwendung nicht relevant.

6.3.5.4 Bewertung der Beispiele

In allen Beispielen wird das Ziel des Informationsangebotes wahrscheinlich erreicht; Nachfrager sind aber auf Ergänzungen und Interpretationen angewiesen, um die Angaben nutzbringend zu verwerten. Die Bedeutung von Rückmeldungen kommt in keinem Beispiel zum Ausdruck. Auf die Kommunikationsmittel wird wenig Gewicht gelegt. Geschriebener oder gesprochener Text herrscht klar vor, Visualisierungen sind nicht Bestandteil der Botschaft, sondern höchstens Ergänzungen. Hier liegt ein erhebliches Verbesserungspotential.

Das erste Beispiel ist eher theoretisch, das zweite hat pragmatisch-praktischen Charakter. Das letzte ist geprägt durch die Umstände. Eine Kombination dieser Eigenschaften könnte Wirkung der Botschaft verbessern, weil sie ein breiteres Zielpublikum gleichzeitig anspricht.

6.3.6 Schlussfolgerungen

Für Behörden stellt eine sorgfältig geplante, durchgeführte, überprüfte und angepasste Risikokommunikation das wirkungsvollste Mittel zur Beeinflussung der Risikobewertung dar.

Bei der Bewertung von Naturrisiken ist die Behördentätigkeit wichtiger als bei technischen Risiken, da die Festsetzung und Gewährleistung von Sicherheitszielen fast ausschliesslich Sache der öffentlichen Hand ist. Der Souverän übt zwar eine indirekte Kontrolle über die Behörden aus, die seine direkte Kompetenz ist aber stark eingeschränkt. Ausserdem vereint er divergierende und nur teilweise rational erklärbare Interessen und Verhaltensmuster. Die resultierenden Konfliktsituationen kann eine Behörde nur bereinigen, wenn es ihr gelingt, die Widersprüche den Betroffenen verständlich zu machen.

Bisher ist der Kommunikation über Naturrisiken wenig Aufmerksamkeit geschenkt worden. Sie beschränkt sich im wesentlich auf eine einseitige Information. Die Bedürfnisse des Zielpublikums werden nicht abgeklärt. Die Bedeutung der Betroffenen als «Informationskonsumenten» wird unterschätzt, die Wirkung der angebotenen Information häufig überschätzt. Die dargestellten Beispiele zeigen diese Mängel. Die Inhalte sind zwar verständlich aufgebaut (selbst wenn sie einiges Fachwissen erfordern), nur in einem Beispiel wird aber auf weitere Informationsquellen hingewiesen. Die Interaktivität des Kommunikationsprozesses hat einen geringen Stellenwert. Im Bereich Naturgefahren ist denn auch kein Beispiel einer formell auf der Risikokommunikation aufbauenden Konsensfindung bekannt.

Im Bereich der Information lassen sich zwar noch Verbesserungen erzielen (vermehrte Anpassung an das Konsumverhalten etc.), das Hauptaugenmerk muss aber klar auf die kommunikative Komponente, d.h. die Interaktivität des Prozesses, gelegt werden.

Leer - Vide - Empty

7. Risikomanagement bei Naturgefahren

7.1 Problemstellung beim Management von Naturrisiken

Risikomanagement befasst sich mit der Umsetzung der Resultate der Analyse und der Bewertung. Es umfasst also alle Tätigkeiten, welche auf den Schutz vor Naturereignissen abzielen.

Die Gesetzgebung kennt den Begriff Risikomanagement nicht. Wald- (SR 921.1) und Wasserbaugesetz (SR 721.100) verpflichten die Kantone lediglich, Menschen und erhebliche Sachwerte vor Hochwassern, Lawinen, Rutschungen, Steinschlägen und Murgängen zu schützen. Dazu sind physische Massnahmen nötig, aber kein explizites Risikomanagement wie in Abschnitt 2.2 definiert.

Beim Vergleich der bestehenden mit den akzeptierten oder akzeptablen Risiken sind teilweise Sicherheitsdefizite zu erwarten. Um sie zu decken, kommen verschiedene Möglichkeiten in Frage. Bei Naturgefahren ist der traditionelle Lösungsansatz die Entwicklung eines Projektes mit baulichen Massnahmen. Dessen Auswirkung auf die Risikosituation oder gar Grössen wie spezifische Sicherheitskosten werden nicht optimiert.

Hier setzt das Risikomanagement an. Es bezieht den ganzen möglichen Handlungsspielraum in die Lösungssuche mit ein. In der Problemlösung wird nicht ein einzelner Aspekt (zum Beispiel die technische Gestaltung eines Bauwerks) betrachtet, sondern das System aus gefährlichen Prozessen und Wertobjekten. Im Gegensatz zu einer rein umsetzungsorientierten Massnahme sind dabei alle Phasen und Wirkungen von Eingriffen zu untersuchen und eine Lösung zu entwerfen und zu realisieren, die über alle Aspekte optimiert. Dazu müssen alle relevanten Faktoren und Interessen einbezogen werden. Risikomanagement integriert die bisherigen Ansätze zum Schutz vor Gefahren, es ersetzt sie nicht. Es hilft aber, den gesetzlichen Schutzauftrag möglichst wirksam zu erfüllen.

7.2 Restriktionen beim Management von Naturrisiken

Neben den bestehenden und den tolerierten Risiken stellen externe Rahmenbedingungen nicht beeinflussbare Gegebenheiten beim Management von Naturrisiken dar.

7.2.1 Limiten bezüglich der Umsetzbarkeit von Massnahmen

Das Risikomanagement tangiert durch Massnahmen individuelle, politische und wirtschaftliche Interessen, die für die Realisierung teilweise limitierend sind:

- Risiken sind meist mit Nutzen verbunden (Flächennutzung, Befriedigung individueller Bedürfnisse). Massnahmen sind nicht umsetzbar, wenn sie den Nutzen zu sehr beeinträchtigen (zum Beispiel ein Verbot des Skifahrens neben der Piste). Die Risikoreduktion muss «grösser» sein als die Nutzenreduktion.

- Individuelle und kollektive Präferenzen lassen sich nicht direkt aus dem Nutzen ableiten. Sie hängen unter anderem von kulturellen Faktoren ab (RAYNER 1987) und beschränken das Risikomanagement. Eine Zwangsumsiedelung ganzer Ortschaften ist zum Beispiel in der Schweiz nicht realisierbar.
- Ein expliziter, messbarer Vergleich von Nutzen bzw. Präferenzen und Risiken auf kollektiver Ebene findet nicht statt. Diese Beziehungen sind Produkt eines oft informellen Konsensbildungsprozesses (STARR 1987, RAYNER 1987). Eine Berechnung, wie viel Mehrnutzen ein bestimmtes Mass an zusätzlichem Risiko erfordert, ist unmöglich.
- Naturrisiken sind als externe Kosten der Wertobjekte darstellbar (MENKES ET AL. 1987); in der Schweiz fällt wegen der geringen Todesfallwahrscheinlichkeit sogar das Problem der monetären Bewertung von Menschenleben weg. Ein rein auf Gewinnmaximierung ausgerichtetes Risikomanagement ist aber trotzdem nicht möglich, weil Sicherheit vor Naturereignissen gesetzlich geregelt ist. Eventuell müssen damit auch wirtschaftlich unbegründete Bedürfnisse abgedeckt werden.
- Naturrisiken sind als Bedrohung nicht ein naturwissenschaftlich-technisches, sondern ein soziopolitisch-ökonomisches und ethisches Problem (SANER 1992). Das Risikomanagement muss diese Bedürfnisse mit technisch-organisatorischen Lösungen befriedigen.
- Das Bewusstsein für die Bedrohung ist für die Umsetzbarkeit von Massnahmen entscheidend. Naturrisiken spielen im wahrgenommenen Risikoprofil (das nicht mit den bestehenden Risiken zusammenhängt, vgl. LOCHER 1992) eine untergeordnete Rolle. Massnahmen sind nur realisierbar, wenn ihr Sinn klar ersichtlich wird.

Die Akzeptanz bei den Betroffenen schränkt das Spektrum an realisierbaren Massnahmen ein. Sicherheitswissenschaftlich optimale Lösungen sind nur umzusetzen, wenn sie den Bedürfnissen der Betroffenen entsprechen.

7.2.2 Rechtliche und administrative Restriktionen

Das «organisierte» Naturrisikomanagement ist eine öffentlichen Aufgabe. Der Handlungsspielraum von Behörden ist durch eine ganze Reihe von verbindlichen Vorschriften und Abläufen wesentlich stärker eingeschränkt als jener von Privaten (ZIMMERMANN 1991):

- Territorialprinzip. Naturereignisse gehen oft über die räumliche Kompetenz eines Gemeinwesens hinaus, was die Bildung von Konkordaten oder ähnlichen Strukturen nötig macht. Dabei kommen spezielle Rechtsgrundlagen zur Anwendung.
- Fachliche Zuständigkeit: Die Tätigkeiten des Risikomanagements sind oft auf mehrere Amtsstellen verteilt. Bei den räumlichen Naturgefahren ist dieser Aspekt besonders wichtig: Viele Lösungen erfordern das Einverständnis und die Unterstützung durch alle verantwortlichen Stellen.
- Kompetenzregelung zwischen verschiedenen Ebenen: Gesamtkonzepte auf höheren Stufen (Kantone statt Gemeinden) können gegenüber Einzellösungen wesentliche Vorteile (Kosteneinsparung) bringen. Stufenregelungen

(Aufgabenverteilung, Finanzkompetenz) schränken diesen Spielraum bei Naturrisiken ein.

- Mitwirkungsverfahren: Massnahmen gegen Naturrisiken betreffen nicht nur Sicherheitsaspekte. Grosse Bauwerke (Vollverbau eines Gerinnes) erfordern teilweise eine Umweltverträglichkeitsprüfung. Für diese Verfahren müssen zusätzliche Bedingungen erfüllt sein (Form, Genehmigung), die nicht sicherheitsrelevant sind.
- Gesetzesgrundlage: Für Massnahmen des Naturrisikomanagements ist eine rechtliche Grundlage notwendig. Eine technisch und ökonomisch optimale Lösung kann nicht umgesetzt werden, wenn der verantwortlichen Stelle die Rechtsmittel fehlen. Besonders im Bereich der organisatorisch-logistischen Massnahmen und des reaktiven Risikomanagement kommt es immer wieder zu Diskussionen über die Rechtmässigkeit von Massnahmen (zum Beispiel Absperrung von akut gefährdeten Zonen).
- Materielle Vorschriften: Bei Massnahmen des Risikomanagements sind eine ganze Reihe von «disziplinären» Vorschriften zu beachten, die rechtlich oder faktisch verbindlich sind (zum Beispiel SIA 1989, EISLF 1968, ASF 1973).

7.3 Zielhierarchie und Zielsetzungsprozess beim Risikomanagement

Unter Beachtung der Restriktionen ist das Zielsystem für das Risikomanagement zu definieren. Bei diesem Schritt können durch die Optimierung die grössten Verbesserungen gegenüber einer reinen Massnahmenplanung erreicht werden.

7.3.1 Zielhierarchie

Beim Management von Naturrisiken sind drei Zielebenen zu unterscheiden:

- Oberziele umschreiben, was der Gesamtprozess des Naturrisikomanagements leisten soll. Sie sind generell und abstrakt formuliert und orientieren sich an der Problemstellung.
- Strategische Ziele definieren, wie die Oberziele unter Berücksichtigung der bestehenden Restriktionen zu erfüllen sind. Sie ergeben Leitlinien für die Umsetzung und dürfen nicht im Widerspruch zu den Oberzielen stehen.
- Operationelle Ziele enthalten messbare Vorgaben für die Umsetzung der strategischen Ziele und Oberziele. Wichtige Messgrössen bei Naturrisiken sind Kosten, Zeit-, Flächen- und Ressourcenverbrauch (absolut und bezogen auf die Schutzwirkung).

Bei der Realisierung von Massnahmen sind eventuell weitere Zielebenen sinnvoll (Teil-, Etappenziele). In der Planungsphase sind sie aber nicht relevant. Die drei erwähnten Stufen sind hingegen notwendig, weil sich mögliche Lösungen beim Risikomanagement (bestehend aus der Aufgabenstellung, den Strategien und den Massnahmen) direkt auf diese Hierarchie beziehen.

Das Oberziel definiert, welche Sicherheitsvorgaben durch das Risikomanagement erreicht bzw. gewährleistet werden sollen. Es kann zum Beispiel wie folgt lauten:

«Die durch die gefährlichen Prozesse A, B und C bedingten Todesfallrisiken in der Region X sind auf einen Anteil von weniger als Y% am gesamten Todesfallrisiko zu reduzieren. Dabei sind alle den gesetzlichen Grundlagen entsprechenden Mittel zu prüfen und möglichst effizient einzusetzen.»

Der Anteil ist dabei die Zielvorgabe, das Gesamtrisiko und die möglichen Mittel sind die Grundlage. Das Vorgehen umfasst die Abklärung der bestehenden Situation (Ermittlung des Handlungsbedarfs), die Evaluation möglicher Lösungen, den Entscheid sowie dessen Umsetzung.

Strategische Ziele beschreiben die Präferenzordnung und Handlungsgrundsätze (zum Beispiel Effizienz und Effektivität), die dem Risikomanagement zugrunde liegen. Aus ihnen ergeben sich Rückschlüsse auf die Strategien (Abschnitt 7.4). Auf strategischer Ebene sind mehrere Ziele zu formulieren, da alle betroffenen Aspekte zu regeln sind. Beispiele strategischer Ziele sind:

«Alle Massnahmen sollen in der kürzest möglichen Zeit realisiert werden.»

«Die Umsetzung ist auf die Minimierung der negativen ökologischen Auswirkungen auszurichten.»

«Kurzfristige Verbesserungen in der Risikosituation dürfen nicht zu langfristigen Verschlechterungen führen.»

Eine «abschliessende» Zielformulierung auf strategischer Ebene ist nicht möglich. Für jeden Teilschritt des Managementprozesses ergeben sich mehrere, einander z.T. konkurrierende Ziele. Die Bereinigung von strategischen Zielkonflikten ist unumgänglich.

Operationelle Ziele sind für die Realisierung der Strategien massgebend. Sie legen die Umsetzung zeitlich, räumlich und thematisch fest und liefern Informationen über Massnahmen (Abschnitt 7.5). Anders als strategische Ziele, die vorwiegend thematisch gegliedert sind, haben operationelle Ziele eher objektspezifischen Charakter. Ihr Inhalt kann sich auf mehrere strategische Ziele beziehen. Sie können zum Beispiel wie folgt aussehen:

«Die statistische Häufigkeit von Schadenhochwassern am Gerinne X ist innerhalb von Y Jahren mit Kosten von höchstens Z kFr. auf einen Wert von unter W zu senken.»

«Die nutzbare Vorbereitungszeit gegenüber potentiellen Lawinenniedergängen im Perimeter X ist in Y Jahren auf mindestens Z Stunden zu erhöhen.»

Auch die operationellen Ziele sind nicht abschliessend formulierbar. Es ist aber möglich, für die zu behebenden Sicherheitsdefizite jeweils ein Ziel zu definieren, das alle relevanten Aspekte umfasst. Zielkonflikte treten dann nicht mehr innerhalb, sondern zwischen Aktivitäten auf. Sie werden aufgrund von Prioritäten bereinigt, die aus höheren Zielebenen hervorgehen.

Die Beziehungen zwischen den Zielen auf verschiedenen Ebenen sind beim Zielsetzungsprozess wichtig (vgl. Abschnitt 7.3.2). Zur Anwendung formalisierter Verfahren muss diese Struktur explizit ausgearbeitet werden. Abbildung 7.1 zeigt eine Darstellungsform für die oben genannten Beispiele.

7.3.2 Zielsetzungsprozess

Im Zielsetzungsprozesses werden verschiedene Ziele aufeinander abgestimmt und bereinigt. Das Resultat dient zur Festlegung von Prioritäten.

Die hierarchische Gliederung der Ziele beim Risikomanagement verursacht selten Probleme. Die Festlegung von Zielinhalt und -ausmass und besonders das Abwägen zwischen sich widersprechenden Forderungen sind dagegen wesentlich schwieriger. Die Gewichtung spielt eine derart entscheidende Rolle, dass sie nach klar definierten Regeln bestimmt werden muss. Sie liefert die Prioritäten als Grundlage für den Evaluationsprozess, auf welchem alle Massnahmen aufbauen.

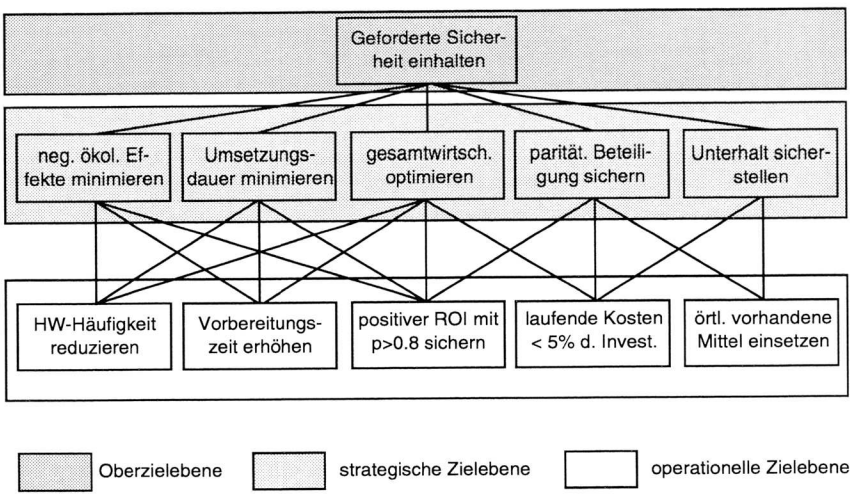


Abb. 7.1 Beispiel für die Gliederung der Ziele in verschiedene Ebenen und die Beziehungen zwischen den Zielebenen

Der einfachste Ansatz für die Gewichtung ist die ordinale Rangierung der Ziele («Ziel A ist wichtiger als Ziel B»). Für die Umsetzung muss zuerst das wichtigste Ziel minimal erfüllt werden, dann das wichtigste der verbleibenden sofern möglich usw. (Abbildung 7.2).

Dieser Ansatz ergibt unter Umständen Lösungen mit völlig einseitiger Gewichtung (im Beispiel ökologisch voll verträglich, aber wenig wirtschaftlich und nicht rasch umsetzbar). Sie sind nur optimal, wenn zwischen den Zielen kein Zusammenhang besteht (d.h. wenn sie nicht gegeneinander «gehandelt» werden können). In der Praxis ist dies fast nie erfüllt. Realistischer ist eine Gesamtoptimierung auf der Basis von Vergleichsmassstäben («Trade-Off»-Beziehungen). Wenn sie quantitativ bekannt und linearisierbar sind, kann man das Optimum durch lineare Programmierung, bei nichtlinearen Beziehungen durch numerische Iteration bestimmen.

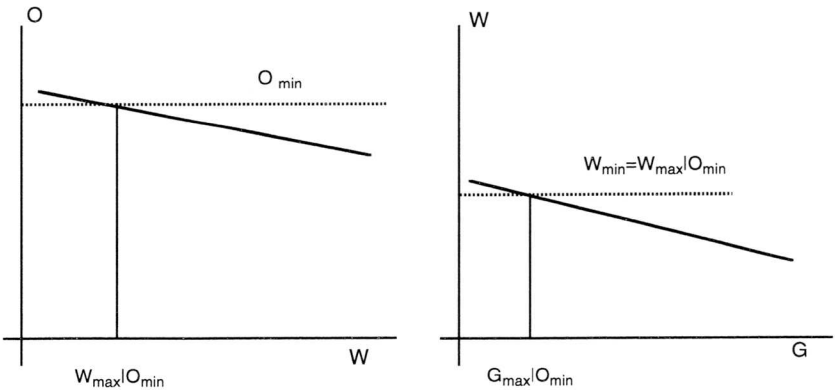


Abb. 7.2 Gewichtung mit ordinaler Rangierung von drei Zielen: Zuerst werden die ökologischen Anforderungen (O) voll erfüllt, in einer zweiten Phase die wirtschaftlichen (W). Die Forderung nach rascher Umsetzung (G) nur noch zum kleinsten Teil erfüllbar.

Meist liegen die Trade-Off-Beziehungen aber nur qualitativ vor. Die Gewichtung kann in diesen Fällen nur mit Hilfsmitteln quantitativ bestimmt werden. Speziell für hierarchische Zielsetzungen entwickelt worden ist der Analytic Hierarchy Process AHP (SAATY 1980). Er baut auf verschiedenen Hierarchieebenen auf, wobei die Elemente einer Ebene mit denen anderer Ebenen in Beziehung stehen (entspricht der Struktur in Abbildung 7.1). Innerhalb einer Ebene werden beim AHP die Gewichtungen durch Paarvergleiche (A ist wichtiger / gleich wichtig / weniger wichtig als B) ermittelt. Ein gewisser Anteil an Inkonsistenzen der Form A > B, B > C, C > A ist zulässig. Diese Aufgabenstellung ist in der Regel ohne grössere Schwierigkeiten zu lösen. Die eigentliche Berechnung erfolgt durch Matrizenoperationen (Eigenwert und -vektor), aus denen eine neue Matrix mit den Gewichtungen der Ziele hervorgeht.

Verfahren wie der AHP oder auch die Delphi-Methode (vgl. Abschnitt 5.4) erlauben eine klare, mathematisch begründete und jederzeit reproduzierbare Gewichtung. Sie sind zwar zeitlich und personell aufwendiger als die «gutachtliche» Bestimmung von Prioritäten und erfordern zusätzlichen Schulungsaufwand. Bei umfangreichen Risikomanagement-Programmen (Entscheidungsprozesse auf regionaler oder nationaler Ebene) kompensieren aber die verbesserten Lösungen den Mehraufwand bei weitem.

7.4 Strategien des Naturrisikomanagements

Die Festlegung von Strategien gibt den Rahmen vor, wie das Risikomanagement umgesetzt wird. Strategien definieren gewissermassen die «Politik» des Umgangs mit Naturrisiken.

Eine Strategie definiert, auf welchem Weg ein Ziel erreicht werden soll, sie legt aber keine materiellen Massnahmen fest.

Zur Beseitigung von Sicherheitsdefiziten stehen mehrere Ansätze zur Verfügung (Abbildung 7.3). Eine bei technischen Risiken wichtige Strategie fällt bei Naturrisiken weg: Die Eliminierung der Gefahr durch Verzicht auf eine «Technologie».

7.4.1 Präventive Strategien zur Risikominderung

Der Abbau von Sicherheitsdefiziten durch Erhöhung der Akzeptanz ist nur realistisch, wenn es im Rahmen der Risikokommunikation gelingt, Sicherheitsziele als unrealistisch hoch darzustellen. Im Sinne einer Strategie ist dieser Ansatz nicht verwendbar, da seine Wirksamkeit nicht abschätzbar ist. Er wird nicht näher betrachtet.

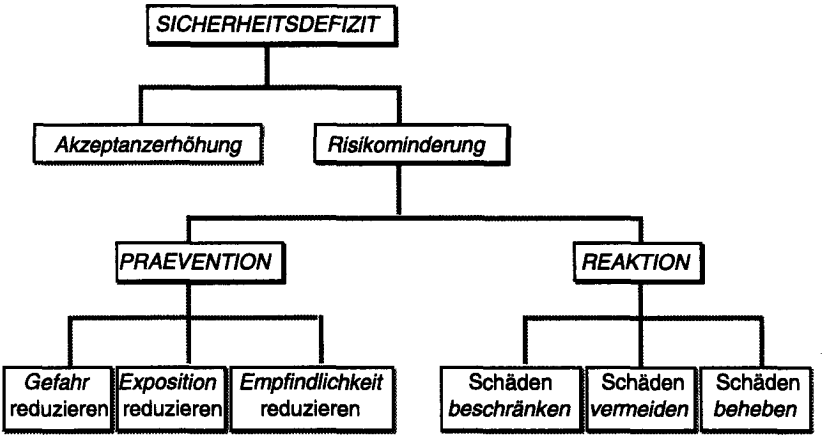


Abb. 7.3 Mögliche Strategieansätze des Risikomanagements bei Naturgefahren

7.4.1.1 Reduktion der gefährlichen Einwirkungen

Diese Gruppe von Strategien ist bisher bei Naturgefahren am meisten verbreitet, wenn auch nicht explizit als solche bezeichnet. Meist werden Massnahmen realisiert, die einer «Containment-» oder «Cutoff-Strategie» entsprechen: Viele gefährliche Prozesse sind in ihrem Ablauf bis zu einem gewissen Ausmass kontrollierbar. Dieses Bemessungsereignis ist eine physikalische oder statistische Referenzgrösse, unterhalb welcher alle Ereignisse schadlos gehalten werden können: Die Häufigkeits-Ausmass-Kurve wird linksseitig «abgeschnitten» (vgl. Abbildung 7.4). Darüber verbleibt noch das Risiko von Ereignissen mit katastrophalem Charakter.

Vergleichbar mit dem Cutoff-Ansatz ist jene Strategie, welche die Entstehung des Prozesses verhindern soll (zum Beispiel Anrissverbauungen bei Lawinen). Auch in diesem Fall beschränkt sich die Wirkung auf einen gewissen Parameterbereich (Schneehöhe).

Vorteile dieser Strategien sind die hohe Akzeptanz bei den direkt betroffenen Kreisen und die rechnerisch genaue Planbarkeit (bis auf Modellunsicherheiten).

Nachteilig ist, dass ihre Wirkungen bei einem Ereignis über der Bemessungsgrösse oft nicht bekannt sind. Im besten Fall wirken sie noch, unter Umständen erhöhen sie aber den Schaden. Ein zumindest psychologischer Nachteil ist, dass entweder nichts geschieht oder direkt eine Katastrophe eintritt. Die Kontinuität des Ereignisausmasses wird verdeckt. Oft führt das zur Forderung,

dass nicht nur selten, sondern nie etwas passieren darf: Es wird absolute Sicherheit verlangt.

Das Hauptproblem beider Strategien ist aber, dass sie den Prozess einschränken, nicht aber die Nutzung seines potentiellen Wirkungsgebietes. Letzteres wird oft erst durch Schutzmassnahmen möglich bzw. attraktiv (Besiedelung von Ueberschwemmungsebenen nach Dammbau). Beim Extremereignis resultieren höhere Schäden, eventuell wird das Gesamtrisiko so erhöht.

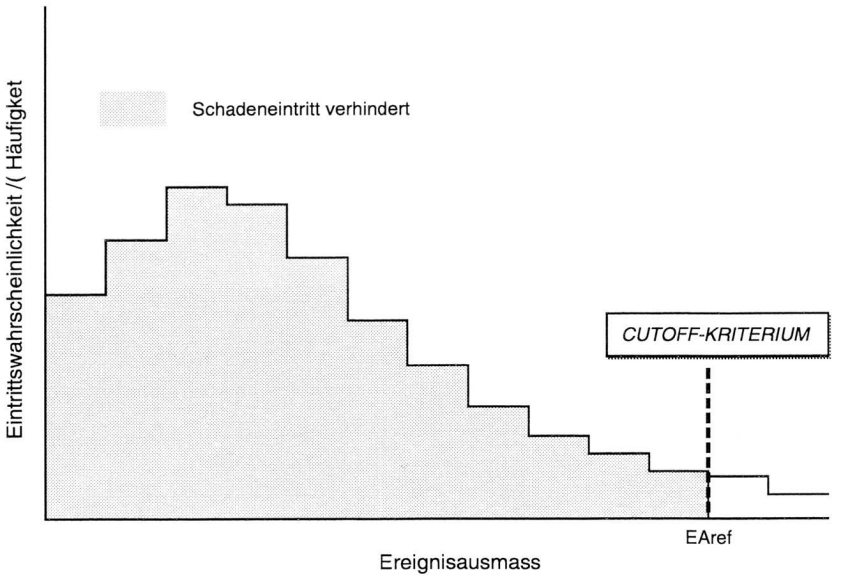


Abb. 7.4 Prinzip der Cutoff-Strategie: Alle Schäden unterhalb des Referenzereignisses EA_{ref} werden verhindert. Die Wahrscheinlichkeit von Schäden wird dadurch stark reduziert, aber nicht notwendigerweise deren Ausmass.

Eine andere Strategie ist die qualitative Veränderung des gefährlichen Prozesses. Durch geeignete Techniken kann zum Beispiel ein Prozess in einen anderen übergeführt werden, dessen Schadwirkungen auf die betroffenen Objekte geringer sind oder ganz wegfallen. Diese Strategie bedingt, dass sehr gute Informationen über die erwarteten Ereignisse vorliegen. Ein Beispiel ist die Umwandlung von Murgängen in eine Deposition von Feststoffen und in ein nur noch mit geringen Feststoffanteilen belastetes Fluid, was zur Reduktion der Schäden durch Aufprall von Blöcken beiträgt.

7.4.1.2 Reduktion der Exposition

Dauerhafte Veränderungen erfordern eine Begrenzung der Nutzungsintensität. Sofern dieser Grenzwert bereits eingehalten ist, bedarf es lediglich rechtlicher Massnahmen zur Umsetzung. In diesem Fall handelt es sich um eine sehr effiziente Strategie. Die Erhaltung des Status quo ist meist unproblematisch, und mit einer sorgfältig vorbereiteten Kommunikation kann normalerweise die nötige Akzeptanz für diesen Ansatz erreicht werden.

Dagegen ist die dauernde Reduktion der bestehenden Exposition nur schwer durchsetzbar: Sie erfordert den Verzicht auf bisherige Nutzungen. In der Schweiz ist kein Fall bekannt, wo dies als bewusste präventive Strategie realisiert wurde. Aus anderen Ländern (USA, Oesterreich) gibt es einige Beispiele, die aber nur dank finanzieller Anreize zustande gekommen sind. Erfolg hat diese Strategie am ehesten dort, wo bisherige Nutzungen aus anderen Gründen wegfallen und neue verhindert werden können (zum Beispiel bei der Abwanderung aus Berggebieten).

Evakuationen als temporäre Reduktion der Exposition in Abhängigkeit der aktuellen Umweltbedingungen stossen als Strategie selten auf Ablehnung. Ihr Vorteil ist, dass die Wirkungsweise und damit der Sinn direkt ersichtlich sind. Gleichzeitig sind viele reguläre Nutzungen ohnehin nicht mehr möglich. Bei der Umsetzung als Massnahme treten aber oft Widerstände auf, die mit der Dauer der Evakuation zunehmen. Besonders ausgeprägt ist dies, wenn eine Bestätigung (durch ein Ereignis) lange Zeit ausbleibt oder der Plünderungsschutz nicht gewährleistet ist.

Strategien, die auf die Reduktion der Exposition abzielen, sind also bei Naturrisiken wegen ihrer räumlichen Beschränkung der Nutzungen nicht einfach durchzusetzen. Sie sind nur erfolgversprechend, wenn sie durch kommunikative Massnahmen (vgl. Abschnitt 6.3) entsprechend vorbereitet werden.

7.4.1.3 Reduktion der Empfindlichkeit

Diese Strategien beeinflussen entweder die Art und die Zusammensetzung der Wertobjekte oder die Objekte selbst (EFANOV 1991).

Eine Strategie besteht darin, im Wirkungsgebiet von Prozessen nur Objekte zu belassen, die gegenüber den Einwirkungen unempfindlich sind. Empfindliche Objekte werden temporär entfernt. Dies erfordert sehr genaue Kenntnisse über die möglichen Ereignisse, da klare Gefährdungsbilder bzw. Lastannahmen zugrunde gelegt werden müssen. Ein weiterer Nachteil ist, dass viele Nutzungen von mehreren Objekten abhängen, die unterschiedlich empfindlich sind (ein Flugfeld ist gegen Hochwasser unempfindlich, die Flugfeldbeleuchtung aber nicht unbedingt).

Eine andere Möglichkeit besteht darin, ursprünglich empfindliche Objekte durch entsprechende Gestaltung (zum Beispiel flexible Anschlüsse) oder durch Veränderung ihrer Eigenschaften (zum Beispiel Strom abschalten) unempfindlich zu machen (CARR 1991). Dieser Ansatz erfordert aber ebenfalls detaillierte Kenntnisse der möglichen Einwirkungen. Ausserdem können viele Objekte nicht einfach so verändert werden, dass sie unempfindlich werden, ohne dass ihre Funktionalität leidet.

Strategien zur Reduktion der Empfindlichkeit sind bisher nicht breit auf Naturrisiken angewandt worden. Sie stellen zwar ein erhebliches Potential für Verbesserungen dar. Grossräumig umsetzbar und in nützlicher Frist wirksam sind sie aber nur, wenn die direkt Betroffenen mithelfen. Dies bedingt vor allem bei spontanen Prozessen eine vorgängige Schulung und eine gut funktionierende Kommunikation.

7.4.2 Reaktive Risikomanagementstrategien

Mit diesen Strategien beeinflusst man reale Ereignisse so, dass die tatsächlich eintretenden Schäden minimiert werden. Schadenvermeidung hat dabei Priorität vor der Verminderung und der Behebung.

Vorteile dieser Strategien sind die hohe Flexibilität (sie können an die Realität angepasst werden) und der gezielte Ressourceneinsatz (Verwendung nicht für einen wahrscheinlichen, sondern einen tatsächlichen Bedarf). Ausserdem bestehen die notwendigen Strukturen und Ressourcen (Wehrdienste etc.) in den meisten Fällen bereits.

Der Nachteil liegt bei der schwierigen Umsetzung. Aufgrund der besonderen Bedingungen (unklare Situation, hohe Anforderungen, erschwerter Einsatz) ist es praktisch unmöglich, die Ressourcen optimal einzusetzen. Der hohe Koordinationsaufwand unter Zeitdruck zwingt oft zu ad-hoc-Lösungen, die das Potential dieser Strategien nicht ausschöpfen können. Ausserdem stellen sie eine grosse physische und psychische Belastung für die Beteiligten dar (RAPHAEL 1986).

Reaktive Strategien stellen eine wichtige und notwendige Ergänzung der Prävention dar. Sie sind vor allem bei Grossereignissen wichtig, wo die Schäden durch andere Ansätze nicht verhindert werden können. Ihre Realisierung lässt sich aber nur bedingt planen, womit der Nachweis der Leistungsfähigkeit (vgl. Abschnitt 7.4.3) nicht möglich ist.

7.4.3 Beurteilung der Leistungsfähigkeit von Strategien

Die Leistungsfähigkeit einer Strategie hängt von der konkreten Problemstellung ab. Grundsätzlich sind die Realisierbarkeit, Effizienz und Effektivität sowie die Folgen zu prüfen.

7.4.3.1 Realisierbarkeit

Die Realisierbarkeit einer Strategie hängt davon ab, ob sie mit verfügbaren Technologien und Produktionsfaktoren in Massnahmen umgesetzt werden kann.

Die meisten gefährlichen Prozesse verursachen Schäden durch mechanische Einwirkungen auf Objekte. Fast immer kann man durch geeignete Konstruktionen entweder den Prozess so steuern oder die Wertobjekte so gestalten, dass keine Schäden eintreten. Das notwendige Know-How und die Ressourcen dazu sind in der Schweiz vorhanden. Die technische Machbarkeit ist nur in sehr seltenen Fällen limitierend für die Anwendbarkeit einer Strategie.

7.4.3.2 Effizienz

Mit der Effizienz kann das Verhältnis zwischen erreichter Wirkung und eingesetzten Ressourcen beschrieben werden. Als Bezugsgrössen kommen zum Beispiel die Zeit, Flächen oder wirtschaftliche Grössen in Frage. Nicht berücksichtigt wird, wie weit eine Zielvorgabe durch eine bestimmte Massnahme erfüllt wird.

Eine hohe Effizienz ist ein positives Merkmal einer Strategie. Sie ist aber nur schwer quantifizierbar, solange die Umsetzung nicht geregelt ist. Vielfach kann

erst aufgrund von Massnahmen gesagt werden, wie gross der Verbrauch an Ressourcen ist. Die gesamte Effizienz (über mehrere Ressourcen) erfordert zudem Trade-Offs zwischen den Bezugsgrössen.

Wenn verschiedene Strategien miteinander verglichen werden, ist nicht die absolute Effizienz entscheidend, sondern die Vor- und Nachteile der einzelnen Ansätze sind es. Diese Grössen lassen sich meist bestimmen, womit eine Rangierung der Varianten möglich wird. Die relative Effizienz stellt dann ein Kriterium in der strategischen Entscheidungsfindung dar. Grundsätzlich sind natürlich möglichst effiziente Lösungen erwünscht. Zu kleine Effektivität (vgl. unten) kann aber ein Ausschlusskriterium sein.

7.4.3.3 Effektivität

Die Effektivität misst, in welchem Grad eine Zielsetzung erfüllt wird, ohne den Ressourcenverbrauch zu berücksichtigen. Bei Naturrisiken ist sie bisher das wichtigste Kriterium für die Umsetzung. Im Rahmen von strategischen Ueberlegungen muss eine minimale Effektivität zwar weiterhin gewährleistet sein, die angestrebten Verbesserungen (durch verminderte Risiken) müssen aber effizient erreichbar sein. Dies kann dazu führen, dass ein Ziel nicht vollständig erreicht wird. Ideal ist eine Strategie, die alle gesetzten Ziele genügend effizient zu genau 100% erfüllt.

Für die Messung der Effektivität gelten die gleichen Bemerkungen wie bei der Effizienz: ihr absoluter Wert ist nur selten bestimmbar, Vergleiche zwischen Varianten sind aber meist problemlos möglich.

7.4.3.4 Kombination von Effizienz und Effektivität

Zur Beurteilung strategischer Lösungen ist eine gleichzeitige Darstellung von Effizienz und Effektivität notwendig. Grundsätzlich kann dies in einem kartesischen Koordinatensystem erfolgen. Aufgrund von wirtschaftlichen Ueberlegungen ist davon auszugehen, dass sich daraus eine Optimalitätskurve ergibt (Abbildung 7.5). Durch den Vergleich mehrerer solcher Kurven kann bestimmt werden, welche Strategien bestimmten Anforderungen am besten genügen.

7.4.3.5 Folgen bei der Umsetzung

Wenn Strategien durch materielle Massnahmen umgesetzt werden, resultieren neben Sicherheitsgewinnen auch neue Risiken. Für die Beurteilung ist wesentlich, wie sich das gesamte Risiko verändert. Steigt es an, ist die Umsetzung der Strategien nicht legitimierbar. Zu berücksichtigen sind wirtschaftliche, soziale und ökologische Auswirkungen sowie Aenderungen im Gefährdungsbild:

- Kapitalbindung für den Bau, Kosten für den Unterhalt von Schutzbauten;
- Veränderung der Wirtschaftsstruktur durch veränderte Raumnutzung (zum Beispiel Verdrängung von Landwirtschaftsbetrieben durch den Tourismus);
- Arbeitsrisiken (Unfälle bei Bautätigkeiten unter erschwerten Bedingungen);
- Aufbau neuer Gefährdungen (neue Prozesse, neue Entstehungsgebiete);
- Veränderung der Ausmass-Häufigkeitsrelation von Ereignissen (seltenere, dafür grössere Ereignisse infolge eines behinderten energetischen Ausgleichs, zum Beispiel durch künstlichen Rückhalt von Material);

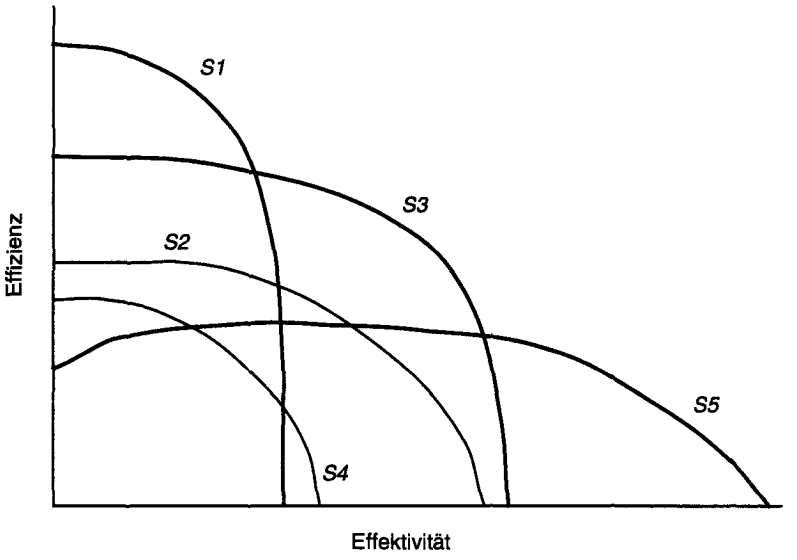


Abb. 7.5 Effizienz und Effektivität verschiedener Risikomanagementstrategien. Zwischen den beiden Grössen besteht eine Beziehung, aus der sich die Optimalität ergibt. Strategie S1 ist optimal, wenn die Effizienz im Vordergrund steht, S5, wenn die Priorität bei der Effektivität liegt. S3 ist in jedem Falle besser als S2 und S4.

- soziale Ungerechtigkeiten infolge Umverteilung von Lasten und Nutzen;
- Veränderung der Artenzusammensetzung bei anderen Umweltbedingungen;
- Veränderung des Stoffhaushaltes (Speicher- und Flussgrössen) und direkte Umweltgefährdung (Eintrag von Schadstoffen);
- individuelle und kollektive Stressbelastung durch Störungen der Sozialstruktur nach grossflächigen Extremereignissen.

Die wirtschaftlichen Folgen können durch Internalisierung und eine Diskontierung bzw. Prolongierung in eine ökonomischen Analyse eingebracht werden. Problematisch ist dabei, dass die Güte einer Strategie sehr sensitiv auf die Zinssätze reagiert (WHITE ET AL. 1984); letztere liegen aber meist nur als Annahmen vor.

7.5 Massnahmen gegen Naturrisiken

Massnahmen erzeugen die für die Umsetzung von Strategien notwendige Wirkung. Bei ihnen steht nicht das Ziel der Veränderung im Zentrum, sondern deren Art. Das Risikomanagement ergänzt die bei Naturgefahren dominierenden baulichen Massnahmen durch planerische und organisatorisch-logistische Ansätze.

Massnahmen müssen mit der übergeordneten Strategie im Einklang stehen. Ihre Gestaltung ist aber eine «disziplinäre», von der Art der Massnahme abhängige Aufgabe. Sie ist nach den Regeln der jeweiligen Spezialdisziplinen zu lösen; materielle Einschränkungen durch das Risikomanagement sind auf

dieser Ebene zu vermeiden (GARRICK 1987, MEYER ET AL. 1991), da sie zu suboptimalen Lösungen führen.

Massnahmen zum Schutz vor Naturrisiken können dauernd oder situativ wirken.

7.5.1 Massnahmen mit dauernder Wirkung

Diese Gruppe umfasst die technischen (vor allem baulichen) und die raumplanerischen Massnahmen. Sie wirken dadurch, dass sie relevante Grössen von Prozess und Wertobjekt verändern (Staudruck auf ein Bauwerk reduzieren). Die Wirkung kann teilweise durch verschiedene Parameter gesteuert (beim Staudruck durch Dichte oder Strömungsgeschwindigkeit) und an verschiedenen Orten im System lokalisiert werden (Abbildung 7.6).

7.5.1.1 Raumplanerische Massnahmen

Raumplanerische Massnahmen beschränken die Raumnutzung. Der Prozess bleibt unbeeinflusst, die Massnahme greift am Wertobjekt.

Planerische Massnahmen wirken auf die Exposition, indem wertvolle oder empfindliche Wertobjekte ausserhalb der Wirkungsgebietes angesiedelt werden. Sie sind angezeigt, wenn keine Standortgebundenheit besteht und wenn aus der beschränkten Bodennutzung keine übermässigen wirtschaftlichen Nachteile resultieren. Bei lokal extrem heftigen Einwirkungen (Bergsturz) sind sie die einzige Möglichkeit zur Risikominderung. Sie verursachen nur minimale Eingriffe ins System (Umweltbelastung etc.) und die erzeugen selbst keine neuen Risiken. Der Nachteil ist, dass Flächen nicht effizient genutzt werden, was die Akzeptanz vermindert.

Das Potential raumplanerischer Massnahmen ist bisher in der Schweiz nicht ausgeschöpft worden. Trotz klarer gesetzlicher Bestimmungen (RPG Art. 6) sind Naturrisiken (abgesehen von Lawinen) bei der Bestimmung der Flächeneignung nur von untergeordneter Bedeutung. Neue Forschungsarbeiten (Egli 1996) und Art. 3 des Wasserbaugesetzes von 1991 zeigen immerhin, dass man diesem Ansatz in Zukunft mehr Beachtung schenken wird.

7.5.1.2 Technische Massnahmen

Technische Massnahmen kommen dort zum Zug, wo eine Trennung von Prozess und Wertobjekt nicht sinnvoll möglich ist und mit organisatorischen Mitteln allein die geforderte Wirkung nicht erreichbar ist.

Bei Massenbewegungsprozessen kann man mit Massnahmen die Entstehung verhindern, die Häufigkeit reduzieren oder den Ablauf schadenarm gestalten. Weiter kann man Einwirkungen gezielt von einzelnen Objekten fernhalten. Bei örtlich nicht begrenzbaren Gefahren (Erdbeben, Stürme) ist es nur möglich, potentielle Wertobjekte so zu gestalten, dass sie den zu erwartenden Einwirkungen widerstehen (vgl. Norm SIA 160). Beide Ansätze zielen letztlich darauf ab, den Zustand

$$R\text{-}S > 0 \qquad [37]$$

mit R = Widerstandsfähigkeit (Resistance), S = Einwirkung (Stress) zu erreichen.

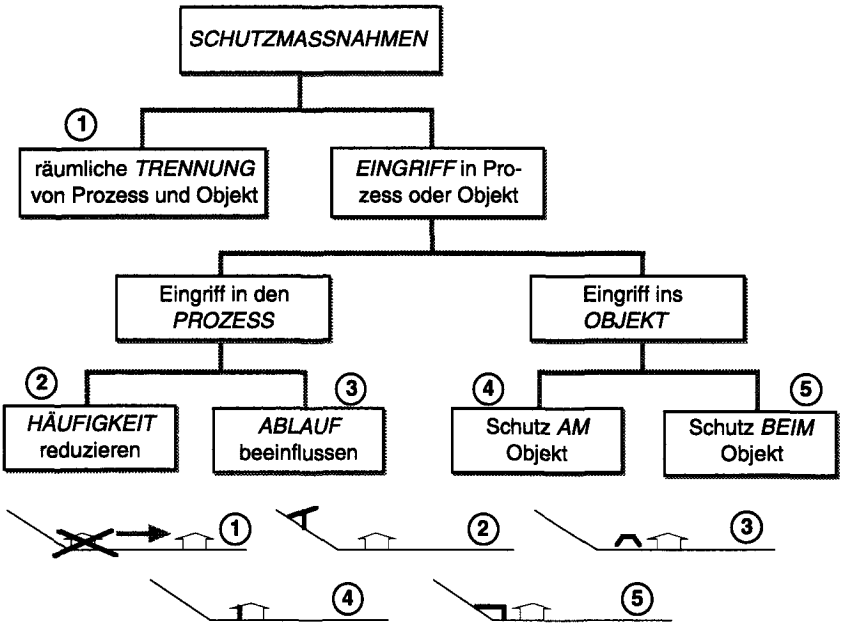


Abb. 7.6 Gliederung möglicher Massnahmen zum Schutz vor Naturrisiken nach Art und Ort ihrer Wirkung.

Meist beschränkt man sich bei Naturereignissen auf eine dieser beiden Massnahmenarten. Differenzierte Sicherheitsziele für verschiedene Objekte (vgl. zum Beispiel Abbildung 6.5) lassen sich aber mit «Defence-in-depht»-Konzepten besser erfüllen (Abbildung 7.7).

Es sind drei Kategorien von Bauwerken gegen Naturereignisse zu unterscheiden (HUNGR ET AL. 1987):

- Bauwerke mit Wirkung auf den Gefahrenprozess, welche die Entstehung oder den Ablauf eines Ereignisses beeinflussen. Dazu gehören Anriss- oder Anbruchverbauungen (zum Beispiel Schneebrücken), Leitverbauungen (Wildbachschalen) und Bremsverbauungen (Steinschlagnetze).
- Bauwerke mit Wirkung beim Wertobjekt, die den Prozessablauf nicht flächig beeinflussen und nicht direkt mit dem Objekt verbunden sind. Diese Kategorie umfasst Ableitbauwerke (zum Beispiel Spaltkeile gegen Lawinen) und Abbremsbauten.
- Bauwerke mit Wirkung am Wertobjekt, die konstruktiv mit diesem verbunden sind und den Prozess nicht beeinflussen. Zwei Werkstypen sind zu unterscheiden (AMBROSE 1987): Die Verstärkung von Bauteilen (zum Beispiel erdbebensichere Bauweise durch grössere Steifigkeit) und Einrichtungen zur Abminderung der Einwirkung durch funktional nicht nötige Zusätze (Fundamentdämpfung gegen seismische Wellen).

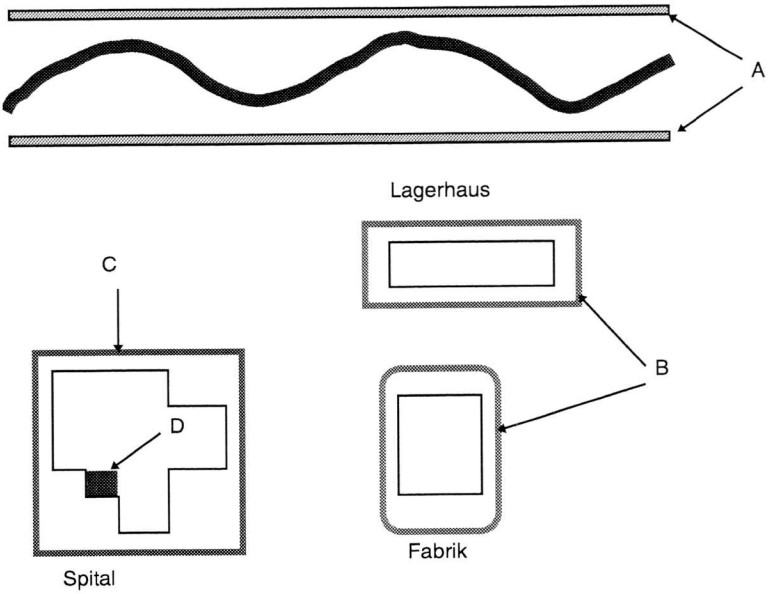


Abb. 7.7 «Defence in depht»: Schutzwirkung wird mehrstufig produziert: Struktur A wirkt gegen Ereignisse mit hoher Eintretenswahrscheinlichkeit (zum Beispiel $p>0.04$ pro Jahr). Fällt diese Wirkung weg, so übernehmen die Strukturen B ($p<0.02$), C ($p<0.01$) und D ($p<0.002$) diese Funktion, wobei die Anzahl der geschützten Objekte abnimmt.

Technische Massnahmen gegen Naturrisiken sind primär bauliche Eingriffe ins Verhalten des Prozesses oder Wertobjektes.

Eine weitere Gruppe von technischen Massnahmen beeinflusst die Ausmass-Häufigkeitsrelation der Prozesse. Bekanntestes Beispiel ist die künstliche Auslösung von Lawinen während starken Schneefällen, bei der der Neuschnee «kontinuierlich» umgesetzt wird, statt in einem «Batch-Prozess» als Grosslawine abzugehen. Auch diese Massnahmen hängen oft von baulichen Einrichtungen ab (zum Beispiel Sprengseilbahnen), die Wirkung wird aber nicht durch das Bauwerk selbst erzielt, weshalb nicht von einer baulichen Massnahme gesprochen werden kann.

7.5.2 Temporär wirksame Massnahmen

Diese Massnahmen werden unabhängig von Ereignissen geplant und vorbereitet, aber nur umgesetzt, wenn mit Schäden zu rechnen ist. Sie werden für eine beschränkte Dauer wirksam gemacht und dann wieder aufgehoben.

Die temporär wirkenden Massnahmen werden nicht nach ihrer methodischen Grundlage, sondern nach den relevanten Systemzuständen unterschieden:

- Präventive Massnahmen wirken vor einem Schadenereignis und zielen auf die Schadenvermeidung ab;
- reaktive Massnahmen kommen während und nach dem Ereignis zum Tragen; Schadenbegrenzung und -behebung stehen bei ihnen im Zentrum.

Präventivmassnahmen reduzieren die Exposition oder erhöhen die Widerstandsfähigkeit der Wertobjekte temporär.

Bei präventiven Massnahmen wird akzeptiert, dass die Funktionalität des betroffenen Systems vorübergehend nicht voll aufrechterhalten werden kann. Ihre Folgekosten oder -schäden hängen nicht kausal mit dem gefährlichen Ereignis zusammen.

Entscheidend ist, dass diese Massnahmen rechtzeitig ausgelöst werden. Dazu ist ein Monitoring-System nötig, welches relevante Parameter misst und beim Erreichen oder Ueberschreiten kritischer Werte Alarm auslöst. Die Auslegung eines Warnsystems ist ein Optimierungsproblem mit zwei Zielbedingungen:

- Minimale Häufigkeit des Nichtansprechens im Anforderungsfall (Fehler 1. Art);
- minimale Häufigkeit des Ansprechens im Nichtanforderungsfall (Fehler 2. Art).

Die erste Bedingung spricht für ein möglichst empfindliches System, die zweite für ein unempfindliches. Meist sind die Folgen eines Fehlers 1. Art schlimmer als die eines Fehlers 2. Art. Damit könnte man mit einer einfachen Gewichtungsfunktion optimieren. Untersuchungen zeigen aber, dass längerfristig wichtig ist, ob die Betroffenen einem Monitoring-System vertrauen (PATÉ-CORNELL ET. AL. 1985, 1987, 1989). Häufige Fehler 2. Art führen zum sog. «Crying-Wolf»-Effekt: Ein Alarm bleibt unbeachtet, das Monitoring wird wertlos. Neben der Häufigkeit ist auch die Vorgeschichte (Abfolge falscher und richtiger Ansprachen, Zeithorizont) wichtig.

Als Reaktion auf einen Alarm kommen zwei Massnahmen in Frage:

- Evakuation;
- Erteilen von Verhaltensanweisungen.

Evakuationen stellen grosse organisatorische Probleme. Sie müssen in kurzer Zeit durchgeführt werden, um wirkungsvoll zu sein. Lange Zeiten bedingen tiefe Schwellenwerte für die Auslösung, was zu häufigen (im nachhinein meist unnötig scheinenden) Evakuationen führt. Im Ernstfall müssen die nötigen Ressourcen (zum Beispiel Unterkünfte, Bedarfsgüter) sehr schnell aktivierbar sein. Sie auf Vorrat zu halten, ist wegen der hohen Kosten meist nicht möglich. Die Umnutzung bestehender oder die «ad-hoc»-Beschaffung neuer Mittel ist aber oft mit erheblichen persönlichen Einschränkungen verbunden. Deshalb (und auch wegen der Furcht vor Plünderungen) stossen grossangelegte Evakuationen bei den Betroffenen auf Widerstände. Sie sind nicht über lange Zeit aufrechtzuerhalten und nur in Kombination mit anderen Massnahmen sinnvoll (RAPHAEL 1986).

Verhaltensanweisungen (vgl. Abschnitt 6.3.5.2) helfen den Betroffenen, Personen- und Sachschäden durch ihr eigenes Handeln zu reduzieren. Folgende Punkte sind dabei zu berücksichtigen:

- Anweisungen sind so zu formulieren (Sprache, Wortwahl), dass sie vom gesamten Zielpublikum verstanden und wenn möglich begriffen werden. Ihr Inhalt soll nicht abstrakt, sondern konkret sein
- Nur Anweisungen erteilen, die tatsächlich befolgt werden können. Dies ist vor allem wichtig, wenn zur Umsetzung Material notwendig ist. Fehlt dieses, sind unter Umständen unkontrollierte Reaktionen (Beschaffung) möglich, die die Exposition erhöhen.

- Bei sofort einsetzender Wirkung (Erdbeben etc.) fehlt die Zeit zur Entwicklung und Verbreitung von Anweisungen. Für diese Fälle sind eingeübte Mechanismen notwendig (vgl. zum Beispiel die jährlichen Uebungen in Japan).
- Naturereignisse laufen räumlich und dynamisch ab. Nicht überall und in jeder Phase sind die gleichen Anweisungen sinnvoll. Bei raschen Wechseln kann dadurch Verwirrung entstehen, was konkret unternommen werden soll.

Das Erfolgspotential von guten Verhaltensanweisungen ist gross. Es kann aber oft nicht ausgeschöpft werden, weil die Kommunikation in Krisensituationen behindert oder unmöglich ist. Meist ist auch eine «zielgruppenscharfe» Abgrenzung und Anpassung der Information nicht möglich. Der Schaden einer falschen Anweisung ist aber u. U. grösser als derjenige keiner Anweisung.

Reaktive Massnahmen werden bei Eintritt eines Schadenereignisses ergriffen. Sie sollen das betroffene System wieder funktionstüchtig machen.

Reaktive Massnahmen lassen sich nur beschränkt planen, da sie in einer realen Situation angewandt werden müssen. Untersuchungen zeigen aber, dass sie trotzdem einem Muster folgen. Nach einem Katastrophenereignis unterscheidet man verschiedene Phasen der Reaktion (HAAS ET AL. 1977):

- Notstandsphase (emergency period), in der das Ueberleben des Systems im Vordergrund steht;
- Restaurationsphase (restoration period), in der noch verwendbare Infrastruktur wiederhergestellt wird;
- Ersatzphase (replacement reconstruction period), während welcher die Werte durch Wiederaufbau auf das Niveau vor dem Ereignis gebracht werden;
- Verbesserungs- und Entwicklungsphase (betterment and developmental reconstruction), in der Projekte realisiert werden, welche die Widerstandsfähigkeit des Systems gegen vergleichbare Ereignisse erhöhen (nicht in jedem Fall)

Die Dauer der ersten drei Phasen verhält sich wie 1:10:100. Die Gesamtdauer kann anhand des Anteils an Todesopfern und zerstörten Gebäuden abgeschätzt werden. Sie steigt exponentiell an und variiert nur geringfügig mit verschiedenen Ursachen und geographischen Regionen (KATES U. PIJAWKA 1977). In keinem der untersuchten Fälle war die Dauer <50% des Erwartungswertes, unabhängig von den für die Schadenbehebung verfügbaren Ressourcen.

Reaktive Massnahmen gegen Naturereignisse betreffen die Notstands- und die Restaurationsphase. In den späteren Phasen haben planerisch-technische und präventive Massnahmen grössere Bedeutung.

Den Beginn der Notstandsphase kennzeichnen erste improvisierte und wenig koordinierte Bemühungen zur Rettung von Menschenleben. Parallel dazu laufen intensive Suchaktionen nach Vermissten an. Eine organisierte Intervention durch Wehrdienste ist erst möglich, wenn einigermassen Klarheit über die Schäden, weitere Gefährdungen und den Ressourcenbedarf vorliegt. Indikatoren für den Abschluss der Notstandsperiode sind das Ende von Such- und Rettungsaktivitäten, ein markanter Rückgang der notfallmässigen Unterbringung und Verpflegung und Räumung der wichtigsten Verkehrs- und Versorgungswege von Trümmern (HAAS ET AL. 1977).

Die Restaurationsphase beginnt bereits gegen Ende der Notstandsphase und endet, wenn die wichtigsten öffentlichen Dienste (Ver- und Entsorgung) und der Transport wieder funktionieren, geflüchtete Personen zurückkehren und Schutt und Trümmer weitgehend beseitigt sind.

Die Dauer der beiden Phasen (und damit des Gesamtprozesses) soll durch eine effiziente Reaktion möglichst kurz gehalten werden. Sie soll auch den Uebergang zwischen den Phasen erleichtern. Erfahrungen aus diversen Ereignissen (Ueberschwemmungen, Erdbeben etc.) zeigen, dass trotz erfolgreicher Notmassnahmen die weitere Verbesserung der Lebensumstände oft verzögert eintritt. Dies führt zu Sekundärschäden durch Traumatisierung der Bevölkerung, Verlust von wirtschaftlichen und sozialen Strukturen und Perspektivlosigkeit. Auf der anderen Seite ist zu beachten, dass eine zu rasche Schadenbehebung mögliche Verbesserungen behindert und die Anfälligkeit des betroffenen Systems konserviert.

Reaktive Massnahmen sollen bei einer Katastrophe den Eintritt von Schäden verhindern, um die Dauer für die Wiederherstellung zu minimieren. Die Schadenbehebung ist sekundär, da ihre Wirkung geringer ist.

Die in Frage kommenden Massnahmen sind aufgrund der Indikatoren für die Phasen bestimmbar. Sie können vielfach durch bestehende Strukturen umgesetzt werden. Das Risikomanagement kann die Rahmenbedingungen für den Erfolg optimieren, vor allem durch die bedarfsgerechte Bereitstellung von Interventionsmitteln. Die verfügbaren Ressourcen sind so zu disponieren, dass sie effizient einsetzbar sind. Besonders zu vermeiden sind die Zerstörung oder Abschneidung wesentlicher Teile des Interventionspotentials. Die Zeit bis zum Einsatz muss minimiert, die Auslastung maximiert werden. Daraus ergeben sich folgende Grundsätze für die Disposition der vorhandenen Mittel:

- Die Sicherheit der Interventionsmittel ist durch Planung (Lokalisierung etc.) oder kurzfristiges Handeln (Verlegen von Gerät) zu gewährleisten.
- Dezentrale Organisation der Mittel kann die Vorbereitungszeit und die Ausfallwahrscheinlichkeit wegen unterbrochener Wege minimieren. Auch Reserven sind wenn möglich dezentral bereitzustellen.
- Transportmittel für die rasche Bewegung von Reserven müssen vorhanden sein. Sie sind bedarfsgerecht einzusetzen und dürfen nicht dauerhaft gebunden werden. Eventuell sind bereits eingesetzte Mittel abzuziehen und zu verlegen.
- Genügende und sichere Kommunikationsmittel (wenn möglich redundant) sind für Disponierung und Einsatz der Interventionsmittel unerlässlich. Grosse und dynamische Ereignissen erfordern zusätzliche Kommunikationsleistung.
- Die Organisationseinheiten sollen klein, aber in grössere Verbände integrierbar sein. Sie sind jeweils vollständig auszulasten. Lokal können oft nur wenige Personen und Geräte sinnvoll eingesetzt werden. Grosse Einheiten führen zu lokalen Ueberkapazitäten bei gleichzeitigem Mangel an anderen Stellen. Eine Aufteilung von festen Einheiten ist häufig nicht möglich, weil zentrale Elemente (Fahrzeuge, Funkgeräte) nicht teilbar oder mehrfach nutzbar sind.

Neben den logistischen sind bisher die menschliche Aspekte bei Naturkatastrophen völlig vernachlässigt worden. Derartige Situationen führen zu negativem Distress und teilweise zu anhaltenden Störungen bei Opfern und bei Helfern (RAPHAEL 1986). Wie gross die psychische Belastung ist, hängt von «objektiven» Faktoren des Ereignisses (Ausmass, Vorwarnzeit etc.) und von den «subjektiven» Eindrücken der Betroffenen ab (Zerstörungen, Verwirrung, plötzliches Alleinsein).

Neben den physischen Einwirkungen müssen bei Katastrophen vermehrt auch psychische Belastungen der betroffenen Bevölkerung und der Hilfskräfte berücksichtigt werden.

Unmittelbar nach einer Katastrophe befinden sich die meisten Ueberlebenden in einem Zustand der Euphorie. Er hält aber nur kurze Zeit an und wechselt dann in einen Schock- oder Verzweiflungszustand. Notmassnahmen (zum Beispiel die zwangsweise Verbringung an einen sicheren Ort) können diesen Effekt noch verstärken. Gleichzeitig kann eine geeignete Vorbereitung, vor allem der sofortige Einsatz von psychologisch geschultem Personal, vorbeugend wirken und zumindest chronische Krankheiten (Post-Traumatic-Stress-Disorder) vermeiden oder sogar eine Art «Katastrophen-Inokulation» mit erhöhter psychologischer Resistenz hervorrufen.

Hier besteht ein grosses Potential zur Schadenbegrenzung in der Notstandsphase. Besonders wichtig ist deshalb, dass bei der Planung von Massnahmen und der Bereitstellung von Ressourcen folgende Punkte beachtet werden (nach RAPHAEL 1986):

- Ausreichende Kommunikationsmittel bereitstellen: Alle Betroffenen sollen sich selbst über das Ereignis und die Folgen ins Bild setzen können. Nach dem eigenen Ueberleben steht das Wohl der unmittelbaren Bezugspersonen (Familie, Verwandte) im Zentrum des Interesses. Wenn keine Klärung möglich ist, sind unkontrollierte und «unvernünftiges» Handlungen (Suchaktionen, sekundäre Gefährdung) fast nicht zu vermeiden.
- Familiäre und soziale Bindungen sollen durch Massnahmen nicht unterbrochen bzw. wieder hergestellt werden, damit neuer Distress verhindert und bestehender rascher abgebaut wird. Daraus ergibt sich ein Mehrbedarf an Transportkapazität.
- Für die Betroffenen sind Gelegenheiten zu schaffen, über Verluste zu trauern und sich mit ihnen auseinanderzusetzen. Dies gilt sowohl für Todesopfer, als auch für Sachwerte. Dieses «Abschiednehmen» vermindert spätere Störungen erheblich, selbst wenn das Objekt der Trauer ein Bild völliger Zerstörung bietet und der Stress zunächst eher grösser wird. Aufräumarbeiten sollen möglichst erst einsetzen, wenn dieser Ablösungsprozess vorüber ist.

7.5.3 Kombination von Massnahmen

Meist kann die geforderte Risikoreduktion nicht mit einer einzigen Massnahme optimal erzielt werden. Selbst bei kontinuierlich ändernden Einwirkungen wechseln die Schadenbilder und damit auch die optimalen Massnahmen in Abhängigkeit vom Ausmass und der Exposition. Dem trägt eine Kombination von planerisch-technischen und temporär wirksamen Massnahmen am besten Rechnung. Ein solches Massnahmenkonzept ist meist wie folgt aufgebaut:

- Schutzbauten bieten eine dauernd vorhandene Basissicherheit, was der Cutoff-Strategie (vgl. Abschn. 7.4) entspricht;
- mit präventiven Massnahmen wird bei grösseren Ereignissen die Exposition reduziert;
- bei der verbleibenden Exposition wird mit reaktiven Massnahmen die Widerstands- und Erholungsfähigkeit verbessert.

Die Schwierigkeit liegt in der Festlegung der Bereiche, in denen die verschiedenen Massnahmen einzusetzen sind. Diese Abgrenzung kann nur aufgrund von Wirksamkeitsüberlegungen vorgenommen werden.

7.5.4 Analyse der Wirksamkeit von Massnahmen

Die Wirksamkeit von Massnahmen kann durch ihre Auswirkungen auf den Ressourcenverbrauch beschrieben werden. Dazu vergleicht man den Aufwand für die Realisierung mit den Einsparungen infolge reduzierter Schäden. Betrieblich interessieren vor allem monetäre Grössen. Die Zuständigkeit der öffentlichen Hand macht bei Naturgefahren aber eine volkswirtschaftliche Betrachtung nötig, die auch indirekte und externe Aufwände und Erträge sowie moralisch-ethische Ueberlegungen berücksichtigt (SHRADER-FRECHETTE 1986).

Nach dem ökonomischen Prinzip soll ein Ertrag (Risikoreduktion) mit möglichst geringem Aufwand bzw. mit festem Aufwand ein möglichst grosser Ertrag erzielt werden. Dieser Vergleich ist aus zwei Gründen problematisch:

- Der Aufwand der Massnahme fällt real an. Kosten als monetärer Aufwand sind quantifizierbar und mit ökonomischen Methoden zu beurteilen; andere Aufwände sind zum Beispiel durch Indikatoren zu beschreiben.
- Der Nutzen ist nur schwer zu quantifizieren. Er tritt einerseits als real anfallender Ertrag (zum Beispiel Bewirtschaftung von geschütztem Land), andererseits als statistische Grösse (reduziertes Risiko) auf.

Die monetäre Beurteilung von Massnahmen ist also ein Vergleich beschränkt messbarer Grössen, wovon die eine lediglich als Erwartungswert gegeben und mit Unsicherheit behaftet ist. Bei gleichzeitiger Betrachtung mehrerer Massnahmen kann man diesem Problem ausweichen: Durch die Darstellung von Kosten und verbleibendem Risiko in einem kartesischen Koordinatensystem ist eine einfache wirtschaftliche Charakterisierung möglich. Die Menge der für die Entscheidungsfindung relevanten Alternativen kann so stark eingeschränkt werden (Abbildung 7.8).

Neben Aufwänden sind auch nichtmonetäre Aspekte für die Wirksamkeit entscheidend. Vielfach ist deren Monetarisierung schwierig oder nicht erwünscht. Beurteilungen auf rein finanzieller Basis sind in solchen Fällen schlecht geeignet. Für Vergleiche ermöglichen Profile zwar einen einfachen Ueberblick, quantitative Aspekte sind aber nur begrenzt darstellbar (Abbildung 7.9).

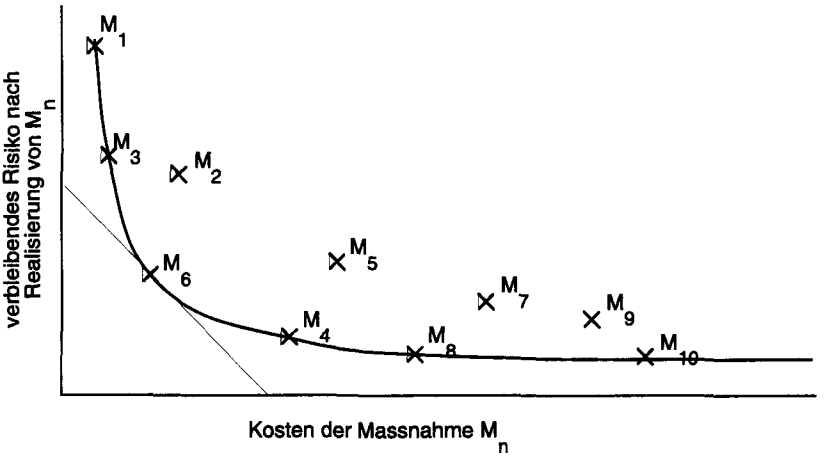


Abb. 7.8 *Gegenüberstellung von Kosten und verbleibenden Risiken zur Vorevaluation von* Lösungen. Die untere Umhüllende zeigt die kostenoptimalen Massnahmen, die Tangentensteigung ergibt die spezifischen Risikominderungskosten an.

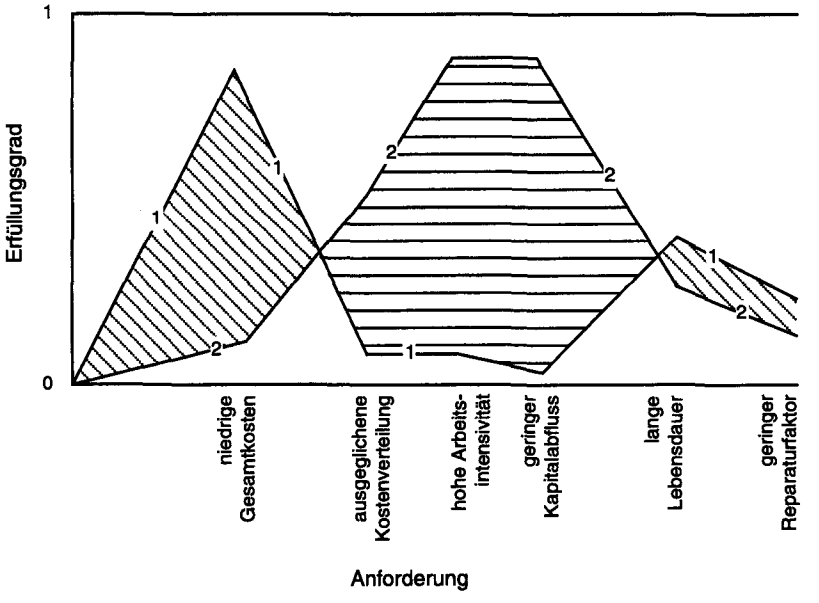


Abb. 7.9 Leistungsprofile zur Darstellung nichtmonetärer Aspekte: Die Abszisse enthält die Prüfkriterien, die Ordinate den Erfüllungsgrad. Gewichtet werden die Kriterien durch das zugeordnete Abszissenintervall. Die Vorteile der Variante 2 (horizontal schraffierte Fläche) sind in diesem Beispiel grösser als jene der Variante 1 (schräg schraffiert).

Für die Umsetzung des Risikomanagements sind jene Massnahmen zu bevorzugen, die am wirksamsten die strategischen Ziele erfüllen. Zur Bestimmung der optimalen Kombination kommen verschiedene Lösungskonzepte in Frage:

- Kosten-Nutzen-Analysen erlauben, die Kombination mit dem besten Verhältnis zwischen finanziellem Aufwand und Nutzen zu bestimmen;
- Kosten-Wirksamkeitsanalysen ergeben die beste Lösung aufgrund der Zielerreichung;
- wohlfahrtstheoretische Ansätze legen die optimale Lösung aufgrund von sozialen Präferenzen fest;
- ökonometrische Ansätze basieren auf mathematischen Modellen, mit denen regelbasiert die optimale Variante bestimmt wird.

Der theoretische Hintergrund der verschiedenen Konzepte ist in der Literatur dokumentiert (vgl. zum Beispiel RAPOPORT 1989, GREGORY 1988, SCHNEEWEISS 1991). Hier wird lediglich auf die wichtigsten Vor- und Nachteile der einzelnen Verfahren bei der Beurteilung von Massnahmenkonzepten eingegangen (siehe auch MERKHOFER 1986).

Kosten-Nutzen-Analysen (KNA) ergeben klare und theoretisch recht genaue Informationen über die Wirtschaftlichkeit von Massnahmen. Sie sind einfach durchzuführen, wenn eine Quantifizierung beider Grössen möglich ist. Bei Massnahmen gegen Naturrisiken trifft das nur bedingt zu. Theoretisch kann der Nutzen (d.h. die Schadenverminderung) zwar als jährliche Rente berechnet und den Kosten gegenübergestellt werden. Viele Massnahmen zielen aber auf seltene Extremereignisse ab, die eventuell während der ganzen Wirkungszeit nicht eintreten. Ein realer Nutzen existiert dann nicht, ein statistischer ist dagegen vorhanden. Ein Nachteil ist auch der hohe Aufwand zur Berechnung des Nutzens. Dazu müssten die probabilistischen Nutzen während der ganzen Lebensdauer der Massnahme zum Beispiel diskontiert, aufsummiert und mit den Kosten verglichen werden. Da die langfristig weder der Nutzen noch die Zinssätzen zuverlässig abschätzbar sind, müssen verschiedene Szenarien analysiert werden. Dies macht die KNA aufwendig, während gleichzeitig die Genauigkeit abnimmt.

Kosten-Wirksamkeitsanalysen (KWA) untersuchen anstelle des wirtschaftlichen Nutzens die Zielerreichung. Obwohl nicht für probabilistische Probleme ausgelegt (RINZA ET AL. 1992), sind sie zur Beurteilung von Massnahmenkonzepten anwendbar, weil die Ziele nichtprobabilistisch sind. KWA sind besonders für nichtmonetäre Fragen geeignet. Sie werden oft auf volkswirtschaftliche und politische Probleme angewandt (zum Beispiel Wirksamkeit von Förderungsprogrammen). Bei staatlichen Stellen sind sie weit verbreitet, während in der Privatwirtschaft meist mit KNA gearbeitet wird (Nutzen ist dort i.d.R. monetär und messbar). Die KWA ist teilweise auch unter anderen Namen bekannt (Nutzwert-Kosten-Analyse etc.). KWA stellen ein leistungsfähiges Instrument zur Prüfung von Schutzmassnahmen bei Naturgefahren dar. Ein Nachteil ist aber die Subjektivität der wichtigsten Parameter (Gewichtung und Zielerreichungsgrad).

Wohlfahrtstheoretische Ansätze setzen mit der «Wohlfahrtsfunktion» die soziale Präferenzen mathematisch um. Grundsätzlich wäre der Ansatz ideal für eine gesamtwirtschaftliche Optimierung, weil alle betroffenen Interessen gemäss ihrer Stärke gewichtet in die zu maximierende Funktion einfliessen. Dem stehen

aber gravierende Nachteile entgegen. Theoretisch kann man gar keine Funktion konstruieren, die alle demokratischen und «einleuchtenden» Anforderungen erfüllt (ARROW 1963). Durch Verzicht auf mindestens eine Anforderung kann man zwar eine axiomatische «soziale Präferenzordnung» bilden und die Wohlfahrtsleistung verschiedener Alternativen bestimmen (D'ASPREMONT 1983). Die praktischen Probleme bleiben aber bestehen: Die Wohlfahrtsfunktion ist in der Realität unmöglich zu bestimmen. Die individuellen Präferenzordnungen aller Betroffenen müssen erhoben werden. Daraus ist die kollektive Präferenzordnung zu bestimmen, wobei man mit Inkonsistenzen rechnen muss. Der daraus resultierende zeitliche, finanzielle und rechnerische Aufwand ist für die Prüfung von Massnahmen gegen Naturrisiken nicht zu rechtfertigen. Das wohlfahrtstheoretische Konzept ist damit nicht von praktischer Bedeutung.

Oekonometrische Modelle ermöglichen eine theoretisch optimale Verwendung der verfügbaren Ressourcen. Die bekanntesten Ansätze dazu liefert die kooperative Spieltheorie (vgl. Anhang G). Die Wirksamkeit einer Ressource bezieht sich hier nicht mehr nur auf die zu prüfende Massnahme, sondern auch auf andere Verwendungsmöglichkeiten (AUMANN 1989). Es findet ein «Wettbewerb um Ressourcen» statt. Wie sie eingesetzt werden, hängt von der Verhandlungsposition der Wettbewerbsteilnehmer ab (Stärke am Markt, Bildung von Koalitionen). Die spieltheoretische Konzepte wurden schon verschiedentlich zur Beurteilung von Massnahmen gegen Naturereignisse angewandt, zum Beispiel durch WILLIAMS (1988).

Der Allokationsansatz hat gegenüber KNA und KWA eine umfassendere Sichtweise: Die optimale Bedürfnisbefriedigung steht im Zentrum, nicht die optimale Massnahme. Im Gegensatz zum Wohlfahrtskonzept ist die Allokationstheorie zudem formell einwandfrei begründbar. Damit wäre er für das Risikomanagement eigentlich ideal. In der Realität gibt es bei der öffentlichen Hand keinen Wettbewerb um Ressourcen, sondern eine festgelegte Verteilung (Budget). Ihre Verwendung kann höchstens innerhalb von Teilbereichen optimiert werden, zum Beispiel durch Vergleich verschiedener Projekte. Dafür ist der ökonometrische Ansatz zwar auch anwendbar, das Resultat hängt aber stark vom spezifischen Lösungskonzept (Auszahlungsschema) ab. Die Subjektivität verlagert sich also von der Massnahme zum Bewertungsverfahren, ohne dass der gesamte Entscheidungsablauf notwendigerweise objektiver wird.

Kosten-Wirksamkeitsanalysen sind aufgrund des einfachen Aufbaus am besten zur Bestimmung der optimalen Massnahmen gegen Naturrisiken geeignet.

7.6 Organisation des Risikomanagements

Die Risikomanagement muss so organisiert sein, dass es seine Funktion unter unterschiedlichsten Einsatzbedingungen erfüllen kann. Massgebend dafür sind die Organisationsform und die Bereitstellung geeigneter Handlungsgrundlagen.

7.6.1 Präventives Risikomanagement

Das Gesetz regelt zwar die Zuständigkeit des Gemeinwesens für das Risikomanagement, enthält aber keine Angaben über dessen Organisation. Diese kann dezentral oder zentral sein.

Traditionell sind für verschiedene Gefahren (technisch, zivilisatorisch, natürlich) und Prozesse unterschiedliche Organe zuständig (dezentrale Org.). Diese Struktur nutzt das bestehende Fachwissen optimal aus, verursacht aber bei der Sicherheitsmaximierung einen hohen Koordinations- und Kooperationsaufwand (Abbildung 7.10). Die Vor- und Nachteile beider Formen werden im folgenden untersucht.

7.6.1.1 Dezentrales Risikomanagement

Das Risikomanagement wird nach Gefahrenprozess sektoriell gegliedert, ohne ein neues Gremium zu schaffen. Kontakte zwischen den Behörden (Koordination, Information, Bewilligungs- und Mitspracheverfahren) sind informell, behördenintern durch Reglement geregelt oder laut Gesetz vorgeschrieben. Eine federführende Behörde für das gesamte Risikomanagement kann, muss aber nicht bezeichnet werden.

Für die beteiligten Behörden ergeben sich folgende Aufgaben:

- Synthese der Resultate aus der Risikoanalyse, Bekanntmachung der Information (vgl. Kap. 5);
- Beschaffung von Informationen über Risikowahrnehmung und -bewertung, Umsetzen in operationelle Sicherheitsziele (vgl. Kap. 6);
- Definition von Problemstellung, Restriktionen, Zielsystem; Festlegen von Strategien, Evaluation von Massnahmen; Umsetzen der Lösung (Abschnitte 7.1-7.5).

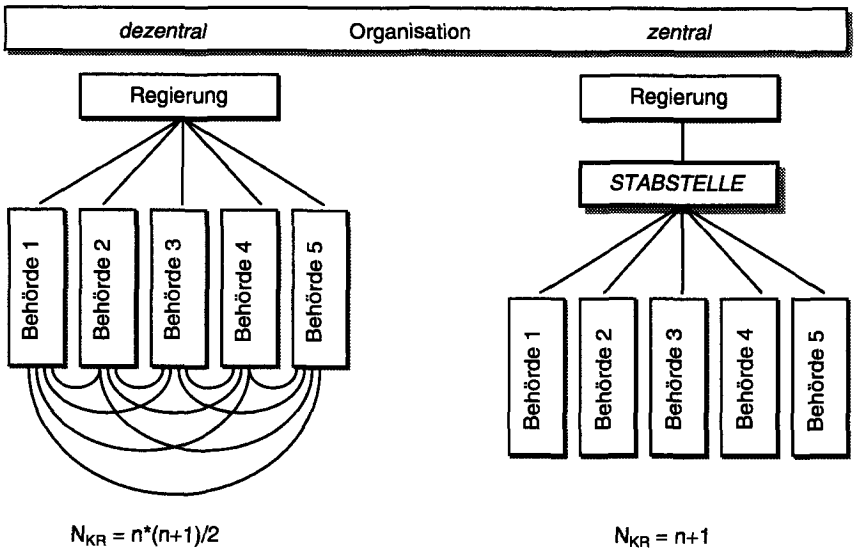


Abb. 7.10 Organisationsformen beim Risikomanagement: Die Darstellung die Zahl der notwendigen Koordinationsrelationen N_{KR} am Beispiel einer RM-Aufgabe mit 5 beteiligten Behörden. Mit der Stabstelle wird sie um mehr als die Hälfte reduziert.

Vorteile dieser Organisationsform sind:

- Das Risikomanagement folgt der bekannten Struktur, es bleibt für die Behörde überblickbar;
- die Fachstellen sind frei bei der Gestaltung der einzelnen Arbeitsschritte;
- die Organisation des Risikomanagements entspricht der administrativen Struktur (Departemente, Abteilungen);
- sie berücksichtigt bestehende Allokationsschemata (separate Budgetierung für jedes Amt).

Dem stehen folgende Nachteile gegenüber:

- Jeder Arbeitsschritt wird durch jede beteiligte Amtsstelle durchgeführt;
- anspruchsvolle Arbeiten, vor allem die Risikokommunikation, müssen durch wenig erfahrenes Personal durchgeführt werden;
- die Konsistenz aller Aktivitäten kann nur durch genaue Vorschriften und Kontrollen sichergestellt werden (Stichwort Rechtsgleichheit);
- die Innovativität des Risikomanagements wird reduziert (bestehende Praktiken werden übernommen);
- eine Mitteloptimierung ist nur sektoriell, nicht aber global möglich;
- Uneinheitlichkeiten in Vorgehen und Inhalt erhöhen den Koordinations- und Nachbearbeitungsaufwand und wirken beim Zielpublikum verwirrend.

7.6.1.2 Zentrales Risikomanagement

Risikomanagement wird einer Stabstelle zugewiesen, die sich ausschliesslich mit dieser Frage beschäftigt. Sie übernimmt die Koordination der sektoriellen Aktivitäten und berät die Exekutive (Regierung). Sie hat keine Weisungsbefugnisse, ist aber auch nicht an Verfahrensvorschriften gebunden.

Beim Risikomanagement geht die Stabsstelle wie folgt vor:

- Beschaffung der Resultate der Risikoanalyse(n) (vgl. Kap. 5);
- Aggregation über alle betrachteten Risiken, Publikation;
- Erfassung der Risikowahrnehmung und -bewertung;
- Festlegung von Sicherheitszielen im Rahmen der Risikobewertung und -kommunikation;
- Operationalisierung der Sicherheitsziele für die einzelnen Fachdisziplinen (vgl. Kap. 6);
- Definition von Problemstellung, Restriktionen, Zielsystem, Strategien (Abschnitte 7.1-7.4);
- Festlegung von Prioritäten, Definition von Aufgaben getrennt nach Fachdisziplinen; Ausarbeiten von Lösungsvorschlägen durch die Fachstellen (Abschnitt 7.5);
- Prüfung der Teilkonzepte (Wirksamkeit, Kompatibilität), Entscheidungsvorschlag und Koordinationsplanung für die Realisierung (durch die Stabstelle);
- Ausführungsplanung durch die Fachstellen.

Diese Organisationsform hat folgende Vorteile:

- Die Stabstelle kann sich ganz auf Managementarbeit konzentrieren;
- die fachliche Kompetenz für einzelne Schritte (Kommunikation) kann gezielt aufgebaut werden (Schulung, Einbezug von erfahrenem Personal);
- die Stabsstelle kann unabhängig von fach- und verfahrensspezifischen Vorschriften arbeiten;
- die Einheitlichkeit des Vorgehens und der Inhalte ist gewährleistet;
- das Risikomanagement bleibt flexibel;
- aufwendige Arbeiten können für alle gefährlichen Prozesse gleichzeitig realisiert werden (zum Beispiel die Festlegung von Sicherheitszielen).

Nachteilig wirken sich dagegen folgende Punkte aus:

- Koordination ist an mehreren Stellen im Verfahren nötig, was die Freiheit der einzelnen Fachgremien einschränkt;
- die Organisationsform berücksichtigt bestehende Strukturen (Aemterzugehörigkeit, Finanzierung) nicht;
- bestehendes Wissen über Prozesse und Objekte wird nicht unbedingt ausgenützt;
- der Erfolg des Risikomanagements hängt von der Mitarbeit der Fachstellen ab;
- die Stabsstelle verursacht Personalaufwand.

7.6.1.3 Gegenüberstellung der beiden Organisationsformen

Ein entscheidender Grund für oder gegen eine der Formen lässt sich nicht ableiten. Im Bereich der technischen Risiken ist ein Trend zum Uebergang auf die zentrale Organisation festzustellen (LOIS 1991). In dieselbe Richtung gehen auch der in Kapitel 2 vorgestellte Ansatz der integralen Sicherheitsbetrachtung oder die Bildung von Risikokommissionen (IRM 1996). Offenbar geht man in der Sicherheitswissenschaft davon aus, dass die Vorteile der Zentralisierung überwiegen.

Die zentrale Organisation erleichtert den Aufbau von Fachkompetenz zum Risikomanagement und verbessert die Koordination.

7.6.2 Reaktives Risikomanagement

Grundsätzlich ist auch beim reaktiven Risikomanagement eine dezentrale Organisation denkbar. Die Realität zeigt aber, dass zumindest bei Grossereignissen fast immer die zentrale Form gewählt wird: Krisenstäbe sind temporäre Stabsstellen für das reaktive Risikomanagement. Koordination und optimaler Mitteleinsatz sind in Katastrophenlagen wichtiger als die Beachtung bestehender behördlicher Zuständigkeiten. Viele Entscheidungen müssen unter Zeitdruck mit unvollständigen Informationen gefällt werden. Der totale Ressourcenbedarf kann nicht genau ermittelt werden, geschweige denn dessen optimale Verteilung. Das organisatorische Poolen der verfügbaren Mittel und deren Aktivierung durch eine Stelle erlaubt, die Effizienz und Effektivität der Reaktion zu verbessern.

7.6.3 Sicherheitspläne als Werkzeug des Risikomanagements

7.6.3.1 Aufgaben und Stellenwert des Sicherheitsplanes

Mit der Erstellung eines Sicherheitsplanes werden folgende Ziele verfolgt:

- Gewährleisten der Kohärenz aller präventiver Risikomanagementaktivitäten;
- Organisatorische Vorbereitung der Reaktion im Katastrophenfall;
- Erkennung von Konflikt- und Mangelsituationen im Rahmen der Intervention;
- Information gegen aussen regeln;
- Sachgrundlagen für die Raumplanung bereitstellen (Sachplanung/Teilrichtplan).

Der Sicherheitsplan erläutert die Ziele, Strategien, Massnahmen, Organisation und den Ablauf des Risikomanagements.

Sicherheitspläne können für verschiedene Objekte erarbeitet werden. Am weitesten fortgeschritten sind betriebliche Planungen (MATOUSEK 1992); integrale Sicherheitspläne auf regionaler oder überregionaler Ebene bilden Ausnahmen. Mit zunehmenden technologischen und natürlichen Risiken steigt aber die Bedeutung einer synoptischen Darstellungsweise, in Zukunft sind daher mehr Sicherheitspläne auf diesen höheren Betrachtungsebenen zu erwarten.

7.6.3.2 Inhalt des Sicherheitsplanes

Die im folgenden dargestellte Struktur ist nicht spezifisch für Naturrisiken. Sie orientiert sich an der Katastrophenplanung von FOSTER (1980), betrifft aber auch das präventive Risikomanagement. Sie entspricht den Anforderungen einer regionalen Planung. Im Plan soll folgendes enthalten sein:

1. Absichtserklärung

Damit bekunden die verantwortlichen Stellen, dass sie das Dokument vorbehaltlos unterstützen. Eine solche Erklärung trägt viel zur Akzeptanz des Plans bei (FOSTER 1980).

2. Gesetzliche Grundlagen, Inkraftsetzungsbedingungen

Teilweise sind die Massnahmen nicht durch normales Recht abgedeckt. Wenn sich der Plan auf Ausnahmeklauseln (allgemeine Polizeiklausel, Notstandsrecht) stützt, sind diese Grundlagen zu erwähnen, um Unklarheiten bei der Umsetzung zu vermeiden (Zeit- und Entscheidungsdruck).

Für jene Teile des Plans, welche nur im Katastrophenfall gültig sind, müssen die Bedingungen definiert sein, unter denen sie wirksam werden (zum Beispiel bei Ausrufung des Notstandes).

3. Zielsetzung des Sicherheitsplanes

Oberziele, strategische Ziele und Prioritäten für den Normal- und den Ereignisfall (Abschnitt 7.3) sind im Plan darzustellen.

Als nächster Punkt folgt bei FOSTER die Abschätzung von Katastrophenwahrscheinlichkeiten und die Darstellung von Szenarien. Bei Naturrisiken ist aber erst die Klärung der administrativen

Einordnung des Planes angezeigt wegen der Kompetenzen und Aufgaben der einzelnen Behörden.

4. Stellung des Planes in der Behördenorganisation

Naturkatastrophen erfordern horizontale und vertikale Koordination. Im Plan sind die dafür massgebenden Informationskanäle und Abläufe zu definieren. Damit können auch persönliche Kontakte geschaffen werden, was unkomplizierte und schnelle Lösungen ermöglicht und das Vertrauen zwischen Instanzen verbessert.

5. Beteiligte Institutionen (Amtsstellen, Stäbe, Freiwilligenorganisationen)

Damit kann dargestellt werden, in welchem organisatorischen Rahmen das Risikomanagement umgesetzt wird. Die Kenntnis dieser Struktur ist nützlich, um im Katastrophenfall effizient zu reagieren.

6. Gefährdungsbilder und Katastrophenszenarien

Im Gegensatz zur Risikoanalyse ist die Wahrscheinlichkeit hier irrelevant, da die Szenarien der Planung vorbehaltener Entschlüsse und der Ausscheidung von Raumeinheiten für Massnahmen dienen (FLEMING 1991, HAMM 1991). Damit können Probleme (zum Beispiel Personalengpässe) und mögliche Vorkehrungen erkannt und reaktive Strategien geprüft werden (WOO 1991).

7. Risikomanagementstrategien

Die Darstellung der Strategien ist wichtig, um Diskrepanzen zwischen kurzfristiger Reaktion im Katastrophenfall und langfristiger Zielsetzung rasch zu erkennen (wenn beispielsweise Notunterkünfte in Gefahrenbereichen errichtet werden).

Foster hat keine Strategien in seine Struktur aufgenommen. Bei einer Katastrophen besteht aber kaum die Zeit, diese Angaben zu beschaffen. Die Koordination wird verbessert, wenn die Strategien dargestellt sind.

8. Massnahmen im Normalzustand

Auch diese Informationen dienen der Koordination mit der Katastrophenplanung. Sofortmassnahmen im Ereignisfall können damit eventuell in ein Langzeitkonzept integriert werden.

Die folgenden Punkte (9 bis 23) betreffen den Katastrophenfall. Zusammen mit dem organisatorischen Teil (Punkte 1 bis 6) bilden sie die Notstandsplanung.

9. Warndispositive

Die Beschreibung (Aufbau und Funktionsweise), die auszulösenden Aktivitäten und vorbereitete Raster für Alarmmeldungen dienen der optimalen Nutzung der verfügbaren Vorbereitungszeit.

10. Vorbereitungen auf Einwirkungen

Aufgrund von vorbehaltenen Entschlüssen können je nach Ereignis Ressourcen bereitgestellt werden, um Schäden zu verhindern. Dazu ist Personal zu avisieren und Ausrüstung in Betrieb zu nehmen. Allenfalls sind auch Reserven zu aktivieren. Im Plan sind das Ausmass und die Lagerungsorte der Ressourcen zu definieren.

11. Evakuationspläne und -routen für den Katastrophenfall

Für die verschiedenen Szenarien sind Evakuationsrouten festzulegen, die in kontinuierlich weniger gefährdete Gebiete führen. Die Kapazität, absehbare Probleme (Engpässen, Unsicherheiten) und kritische Zonen (Schulen, Spitäler etc.) sind darzustellen. Zur Evakuationsplanung gehört zudem die Organisation und Versorgung der Evakuierten im geschützten Gebiet (Registrierung, Information) und bei längerer Dauer die Organisation des Plünderungsschutzes im evakuierten Gebiet.

12. Unterbringung von Evakuierten

Je nach Gefährdungsbildern liegen Unterkünfte eventuell ausserhalb des Planungsgebietes. Für die verschiedenen Einrichtungen sind die Betreuung und die Kommunikation zu regeln. Spezielle Anforderungen an Unterkünfte bestehen bei der Evakuierung von Altersheimen, Spitälern und Gefängnissen.

13. Katastrophen-Leitstellenorganisation

Leitstellen koordinieren die Intervention. Für sie müssen je nach Schadenbild eine geeignete Infrastruktur und die notwendigen personellen und organisatorischen Ressourcen bereitgestellt werden. Leitstellen sollen ausserhalb der gefährdeten Zone angesiedelt werden und wenn möglich bestehende und entsprechend ausgerüstete Installationen nutzen (Zivilschutzeinrichtungen).

Die Einrichtung einer Hauptleitstelle mit möglichst vielen Interventionsmitteln, wie von FOSTER (1980) vorgeschlagen, reduziert ihre Ausfallsicherheit oder die Effizienz: Entweder muss sie im Katastrophengebiet liegen oder die Mittel müssen über lange Distanzen transportiert werden, was zu Verzögerungen beim Einsatz führt.

Vor Ort sind Kommandoposten einzurichten, die zwar keinen Gesamtüberblick haben wie die Leitstelle, dafür rasch und flexibel auf detailliert erkennbare Probleme reagieren können. Sie informieren die Leitstelle und erhalten von dort Anweisungen und Ressourcen zugewiesen. Minimal bestehen sie aus zwei Personen. Eine übernimmt die technische Leitung des Einsatzes, die andere stellt die Verbindung zur Leitstelle sicher.

14. Kommunikationseinrichtungen

Für alle Szenarien ist darzustellen, wie die Kommunikation zwischen Leitstelle und Kommandoposten sichergestellt wird, wenn die bestehende Infrastruktur gestört ist.

15. Informationsbeschaffung: Mittel und Wege

Für verschiedene Szenarien sind jeweils andere Informationen relevant. Der Plan definiert, welche Informationen zu beschaffen sind und wie sie übermittelt werden (Häufigkeit, Art der Verbindung), damit ein kontinuierlicher Ueberblick über die Schadenlage gewährleistet ist und unnütze Angaben ausgefiltert werden.

16. Informationsverbreitung: Organisation und Verantwortlichkeiten

Die Regelung der Information nach aussen hilft, beim Zielpublikum Verwirrungen durch widersprüchliche und unkoordinierte Angaben zu verhindern (vgl. Abschnitt 6.3).

17. Such- und Rettungsorganisation

Neben der Einbindung der «normalen» Dienste in die Katastrophenorganisation sind auch Institutionen und Personen für Sonderaufgaben (Hundeführer, Taucher, Bergsteiger) im Plan aufzuführen, um eine rasche Mobilisierung sicherzustellen.

18. Medizinische Versorgung

Der Plan zeigt die Organisation der medizinischen Erstversorgung (Behandlungsstellen, Transporte) und regelt die Vorkehrungen für extreme Katastrophen (Triage, Umgang mit toten Menschen und Tieren).

19. Schutz gegen anhaltende und sekundäre Gefährdungen

Notstandsmassnahmen führen zu neuen, im voraus nicht absehbaren Gefährdungen (exponiertes Personal, veränderte Einsatzbedingungen). Zur Klärung der Schadenlage und möglicher Folgegefährdungen sind entsprechende Mittel vorzusehen (zum Beispiel Aufbietung von Statikern für die Untersuchung einsturzgefährdeter Gebäude).

20. Wiederherstellung der Infrastrukturdienste

Prioritäten für die Wiederinstandstellung dienen dazu, freie Mittel (Baumaschinen) sofort gezielt einzusetzen. Besonders wichtig sind Einrichtungen, die zum Schutz gegen weitere Schäden (Zufuhr von Material für Sicherung von Bauwerken, Dämmen) und für die Versorgung mit Energie und Trinkwasser nötig sind.

21. Aufrechterhaltung der öffentlichen Ordnung

Mit Plünderungen ist bei Katastrophen erst nach einer Dauer von einigen Tagen zu rechnen (RAPHAEL 1986). Bereits vorher müssen Massnahmen gegen Schaulustige (Absperrungen, Berechtigungsnachweise, Kontrollpunkte) wirksam sein.

22. Weiterführendes Monitoring

Vor allem die Ueberwachung immaterieller Aspekte (psychologische Verfassung der Betroffenen) ist zu regeln, da sonst Mängel in diesem Bereich oft lange unbemerkt bleiben, was zu erheblichen Folgeschäden führen kann.

23. Vereinbarungen mit externen Körperschaften und Institutionen

Im Plan ist darzustellen, auf welche externen Ressourcen zugegriffen werden kann, wenn die eigenen Interventionsmittel nicht ausreichen und wie die Hilfeleistungen organisatorisch geregelt sind (Art, Ausmass, Verrechnung).

24. Anpassung und Revision des Planes

Dieser Punkt regelt die Verantwortlichkeit und die Bedingungen (Häufigkeit, Umfang) für die Aktualisierung des Planwerks. Er stellt sicher, dass die Planung jederzeit einsatzbereit ist.

25. Verteiler

Der Verteiler definiert, welche Stellen mit welchen Teilen des Sicherheitsplanes bedient werden, damit die Empfänger alle für sie minimal nötigen Informationen erhalten (Datenschutz, Handhabung).

Anhang I: Notfalldaten

Er enthält die Namen, Adressen, Telephon-, Faxnummern aller relevanten Personen und Institutionen. Er soll unabhängig vom Rest des Planes verteil- und benutzbar sein.

Anhang II: Ergebnisse von Plantests

Aufgabenstellung, Ergebnisse und Evaluation von Plantests werden ausserhalb des Plans abgelegt. Die Schlussfolgerungen müssen dagegen direkt als Anpassungen in den Plan eingebracht werden (MOSLEH 1991).

Die meisten Angaben des Sicherheitsplans sind bereits verfügbar. Sein Wert besteht in der synoptischen Darstellung der relevanten Informationen des Risikomanagements.

7.7 Beispiele zum praktischen Naturrisikomanagement

Der Begriff Risikomanagement ist bisher bei Naturgefahren nicht verwendet worden. Die Praxis zeigt, dass Massnahmen einen höheren Stellenwert haben, strategische Ueberlegungen fehlen vielfach.

7.7.1 Präventives Risikomanagement

Anhand des Lammbaches in den Brienzer Wildbächen wird untersucht, wie sich das «informelle Risikomanagement» im Verlauf der letzten Jahrhunderte entwickelt hat. Im Zentrum des Interesses stehen nicht Massnahmen, sondern die generellen Leitideen, die die Arbeit geprägt haben.

Schäden durch Murgänge sind im Lammbach ab 1499 bekannt, als der Weiler Kienholz angeblich vernichtet wurde. Das «Risikomanagement» bestand anfangs in einer Anpassung der Akzeptanz an die bestehenden Risiken. Bemerkenswert ist die vorübergehende Bannlegung der Wälder im Einzugsgebiet oberhalb von Hofstetten im Jahr 1599. Durch ein Schiedsgericht wurde diese «Gefahrenreduktionsstrategie» für ungültig erklärt. Technisch wäre der Ansatz realisierbar und vermutlich erfolgreich gewesen, aber die ökonomischen Rahmenbedingungen wurden bei der Strategiewahl zu wenig berücksichtigt (Bedeutung der alpwirtschaftlichen Nutzung).

Das Fehlen einer auf Risikominderung oder mindestens -erhaltung abzielenden Strategie schlägt sich im unkoordinierten Umgang mit der Gefahr und in der zunehmenden Uebernutzung der Einzugsgebiete nieder. Die häufiger auftretenden Schadenereignisse bildeten eine steigende Belastung für die betroffenen Leute und Gemeinden. Reaktives Risikomanagement wurde dominierend, primär durch Absicherung der wirtschaftlichen Schäden (Steuererleichterungen). Präventive Ansätze wurden in einzelnen Fällen zwar auch verfolgt, zum Beispiel durch Höherlegung von Gebäuden in Schwanden (Reduktion der Exposition und z.T. der Empfindlichkeit), sie bilden aber die Ausnahme.

Verschiedentlich wurde angeregt, die gefährdeten Dörfer aufzuheben und die Bewohner andernorts anzusiedeln. Die Strategie der räumlichen Trennung von Prozess und Wertobjekt konnte sich aber nie durchsetzen, obwohl z.T. finanzielle Anreize geschaffen wurden. Selbst wenn er wirtschaftlich rational begründbar ist, hat dieser Ansatz wenig Chancen auf Erfolg, solange die Risiken

nicht existenzbedrohend sind. Die einseitige Ausrichtung auf ökonomische Ziele genügt den politischen Prioritäten in diesem Fall nicht.

Eine Häufung von Schadenereignissen im 19. Jhd. (DASEN 1951) führte zu einer grundlegenden strategischen Neuausrichtung. Mit der Bereitstellung von Ressourcen und der Ausarbeitung von Projekten rückte die aktive Eindämmung der Gefahr als Ansatz in den Vordergrund.

In dieser Phase kommt die Problematik des dezentralen Risikomanagements zum Vorschein: Es gelang den Gemeinden nicht, ihre Anstrengungen aufeinander abzustimmen. Einzelne Arbeiten wurden realisiert, ohne dass damit die Gefahr wesentlich beeinflusst werden konnte.

1894 und 1896 ereigneten sich grosse Murgänge (VON STEIGER 1896). Die bereits ausgeführten Schutzbauten hielten den Belastungen nicht stand. Als Reaktion kam einmal mehr der Vorschlag einer Auflösung des Dorfes Schwanden; er wurde aber erneut verworfen. Stattdessen begann der Staat Bern ein koordiniertes Verbauungsprojekt über das Gebiet aller fünf Brienzer Wildbäche. Durch eine klare Ziel- und Prioritätensetzung konnte innert weniger Jahre die Gefährdung durch Murgänge so stark reduziert werden, dass das verbleibende Risiko seither als akzeptierbar gelten kann. Abbildung 7.11 zeigt graphisch die oben geschilderte Entwicklung.

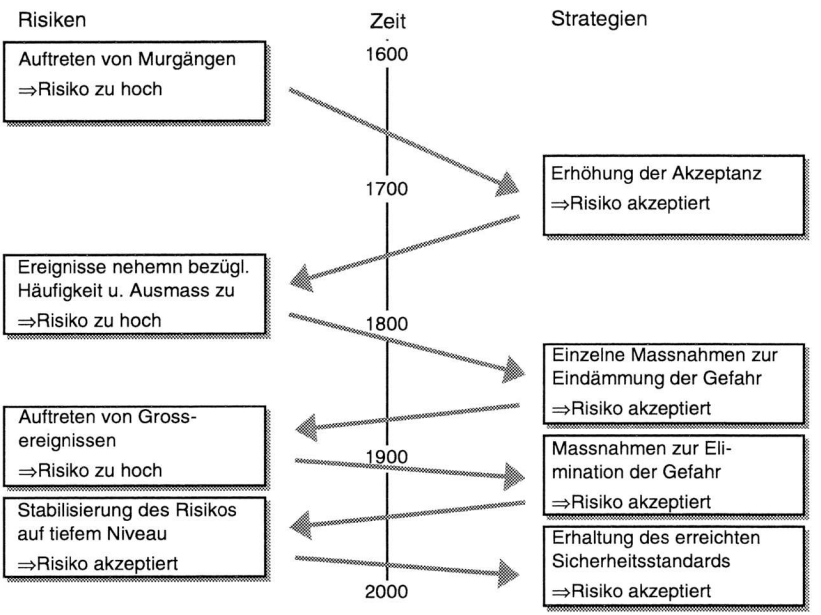


Abb. 7.11 Risiken und Strategien des präventiven Risikomanagements für den Lammbach (Brienzer Wildbäche). Obwohl keine Strategien explizit formuliert vorliegen, lassen sich eigentliche Paradigmenwechsel erkennen. Diese sind nicht nur von den bestehenden Risiken, sondern auch von externen Rahmenbedingungen abhängig.

Die Projekte in den Brienzer Wildbächen dauern weiterhin an. Ursprünglich war beabsichtigt, das Gebiet (bis nahe zum Rothorngipfel auf über 2200 m ü. M.!)

innert kurzer Zeit umfassend zu bewalden und die Gerinnesohle mit Sperren zu sichern. So hätten Murgänge völlig ausgeschaltet werden sollen. Dies entspricht der Strategie der räumlichen Trennung von Exposition und Prozess, wobei ausnahmsweise der Prozess «entfernt» wird. Es zeigte sich aber bald, dass die Degradation der Einzugsgebiete zu stark fortgeschritten war. Die Bedingungen im Einzugsgebiet sind derart extrem, dass die Mehrheit der bis heute gesetzten Pflanzen ausgefallen ist. Die Strategie der räumlichen Trennung kann deshalb nicht weiter verfolgt werden; selbst eine zusätzliche Verminderung der Gefährdung erfordert bereits einen sehr hohen Ressourceneinsatz. Seit den 80er Jahren des 20. Jhd. steht die Erhaltung des erreichten Sicherheitsstandards im Vordergrund. Die bestehenden Werke haben ein Ausmass, dass der Unterhalt praktisch die gesamten verfügbaren Mittel beansprucht.

7.7.2 Reaktives Risikomanagement

Als Fallbeispiel dient das Hochwasser vom August 1987 im Urner Reusstal. Die verwendeten Information stammen aus dem Bericht zur Arbeit des zivilen Führungsstabes (AEBERSOLD 1989). Die Gesamtheit aller Aktivitäten zur Schadenvermeidung und -behebung kann hier nicht besprochen werden. Untersucht wird lediglich die Reaktion in den ersten 24 Stunden.

Verursacht wurden die Hochwasser durch eine Periode von Starkniederschlägen, welche vom 23. bis am 25. August andauerte (Tabelle 7.1).

Eine klare Differenzierung ergibt sich nur bezüglich Niederschlagssumme, nicht aber bei der Verteilung. Es kann angenommen werden, dass die Abflussbildung im ganzen Gebiet in etwa dem gleichen Muster folgt. Entwicklungen, die im oberen Einzugsgebiet (Ursern, Göscheneralptal, Meiental) auftreten, sind zeitlich verschoben auch weiter unten zu erwarten, allenfalls werden sie durch Superposition einzelner Beiträge akzentuiert oder abgeschwächt. Wenn diese Informationen verfügbar sind, lässt sich Zeit für prophylaktische Massnahmen gewinnen: die Laufzeit der Hochwasserwelle von Andermatt bis zur Reussmündung in Seedorf beträgt rund 1 Stunde.

Beim Urner Hochwasserereignis von 1977 mit Schadenschwerpunkt im Schächental bestand dagegen diese Analogie des Ablaufs nicht. Dies zeigt, dass auch Erfahrungen, die nur kurze Zeit zurückliegen, nur begrenzt nützlich sind als Basis für die Bewältigung einer neuen Katastrophe.

Station	*23. 8. (mm)*	*24. 8. (mm)*	*25. 8. (mm)*	*total (mm)*	*23. 8. (%)*	*24. 8. (%)*	*25. 8. (%)*
Gütsch	36.9	115.0	19.0	170.9	22	67	11
Andermatt	39.2	151.8	35.2	226.2	17	67	16
Göscheneralp	42.7	150.4	33.7	226.8	19	66	15
Göschenen	36.2	120.0	30.0	186.2	19	64	16
Bristen	34.0	106.0	29.1	169.1	20	63	17
U.-schächen	35.8	87.9	26.8	150.5	24	58	18
Altdorf	17.8	68.2	14.6	100.6	18	68	15

Tab. 7.1 Niederschlagssumme und -verteilung im Kanton Uri zur Zeit der Hochwasser 1987

Bei den auf kommunaler und kantonaler Ebene ergriffenen Massnahmen fällt auf, dass diese Zeitreserve nicht umgesetzt wird. Die Gemeinden handeln weitgehend autonom und «informationsautark». Ressourcen (Feuerwehr) werden erst bereitgestellt, wenn die Bedrohung an Ort manifest ist. Die externe Koordination ihres Einsatz beginnt mehrheitlich erst mit dem Eintritt von Schäden, wenn die kommunalen Führungsstäbe ihre Arbeit aufnehmen. Der kantonale Führungsstab KAFUR erhielt das Gesamtaufgebot , nachdem in der Reussebene bereits Teile der Nationalstrasse überflutet und Dammbrüche zu erwarten waren. Operationell von Bedeutung als übergeordnete Koordinations- und Leitstelle war der KAFUR erst ab Tagesanbruch des 25. August durch die Vermittlung von Interventionskräften. Bis zu diesem Zeitpunkt war es auch nicht möglich gewesen, einen Ueberblick über die Schadenlage im ganzen Kanton zu erstellen. Ab dem 26. August verlaufen die Aktivitäten zur Schadenverhinderung und -behebung vollständig koordiniert.

Weil der Abfluss in der Nacht seinen Spitzenwert erreicht hat und die grössten Schäden zu dieser Zeit entstanden, war die Arbeit der Interventionskräfte erheblich erschwert. Zudem war selbst auf Gemeindeebene unklar, wie die Bedrohungslage aussieht. Zwischen Gefahrengebieten fand fast kein Informationsaustausch statt, was prophylaktische Massnahmen zusätzlich schwierig machte. Berücksichtigt man diese Rahmenbedingungen, so kann sicher von einem effizienten Katastrophenmanagement gesprochen werden. Hier interessiert aber primär das reaktive Risikomanagement, d.h. wie versucht wird, die zu erwartenden Schäden zu minimieren. Diese Zielsetzung kommt im Bericht zur KAFUR-Arbeit praktisch nicht zum Ausdruck. Die Einberufung von Führungsstäben erst nach dem Eintritt von Schäden lässt darauf schliessen, dass deren Aufgabe nicht als Risikomanagement, sondern als Schadenbehebung verstanden wird.

Die Vorbereitung von Interventionsmitteln, die Sicherstellung der Kommunikation oder die vorbeugende Reduktion der Exposition und der Verletzlichkeit von Wertobjekten ergeben einen grossen Handlungsspielraum zur Verminderung der Schäden. Im Juli 1987 wurden andere Gegenden der Schweiz von ähnlichen Katastrophen betroffen. Die genaue Analyse dieser Ereignisse hätte gezeigt, welche Bedeutung eine frühzeitige Vorbereitung auf die Einwirkungen und das Monitoring haben. Die Prüfung der bestehenden Organisation und ihre Optimierung im Hinblick auf wahrscheinliche Szenarien hätte im Beispiel Uri eine Reduktion der Schäden und eine effizientere Ressourcennutzung erlaubt.

Damit stellt der Kanton Uri aber nicht etwa einen Sonderfall dar. Die bestehenden Strukturen sind auf eine real existierende Situation ausgerichtet und primär technisch optimiert (Katastrophenintervention), während das Risikomanagement auf strategischen Ueberlegungen basiert. Solche können aber nicht ad hoc formuliert werden, sie müssen bereits definiert sein. Lediglich die Umsetzung auf die operationelle Ebene kann und muss situationsbezogen erfolgen.

7.7.3 Folgerungen

In der Praxis wird Risikomanagement nicht als formelle Tätigkeit verstanden. Strategien sind von untergeordneter Bedeutung, Massnahmen im Sinne von Tätigkeiten haben dagegen einen höheren Stellenwert.

Der Umgang mit Naturgefahren findet auf einer pragmatischen Ebene statt. Er ist eher auf die Erhaltung eines bestimmten Zustandes bzw. auf dessen Wiederherstellung ausgerichtet als auf eine langfristige Sicherheitsoptimierung. Viele Schwachstellen und Fehler der Praxis lassen sich auf diesen Umstand zurückführen. Hätte man in den Beispielen auf ein Risikomanagementkonzept (inkl. Sicherheitsplanung) zurückgreifen können, so hätten einige Fehlentwicklungen vermieden werden können. Realisieren lassen sich Verbesserungen indes nur dann, wenn sie von den verantwortlichen Stellen mitgetragen werden. Dazu bedarf es einer institutionalisierten Zusammenarbeit, die weit über das hinausgeht, was heute in der Praxis üblich ist.

Leer - Vide - Empty

8. Diskussion

8.1 Problemstellung und mögliche Lösungen

In der Einleitung wurden vier Fragen formuliert, die die Arbeit beantworten soll:

- Welche Faktoren sind für die Entwicklung der Problematik massgebend?
- Wie können Naturgefahren problemorientiert erfasst werden?
- Welche soziopolitische Bedeutung hat die Problematik?
- Wie kann man die Sicherheit vor Naturgefahren erhöhen?

Mit einem Modell ist es gelungen, den Einfluss der Bevölkerung und der wirtschaftlichen Situation auf die Schadenentwicklung darzustellen. *Die Exposition von Wertobjekten ist für die Sicherheit vor Naturgefahren mindestens so wichtig wie die gefährlichen Prozesse selbst.* Auch wenn sich diese Prozesse in Zukunft nicht ändern, ist deshalb mit einer Verschärfung der Problematik zu rechnen. Dies konnte in Szenarien belegt werden.

Sicherheitsfragen bei Naturgefahren gehen bis heute nicht wesentlich über die Prozesse hinaus. Anhand der Sicherheitswissenschaft wurde gezeigt, wie sich die Betrachtungsweise bei industriellen und grosstechnischen Anwendungen entwickelt hat. Die integrative Sichtweise hat dazu geführt, dass heute in diesen Bereichen bestehende Risiken mess- und vergleichbar erfassbar, beurteilbar und effizient handhabbar gemacht werden. Durch die Ausdehnung der modernen Sicherheitsbetrachtung auf natürliche Systeme ist ein Instrumentarium entstanden, mit dem Naturrisiken problemorientiert behandelt werden können.

Die entwickelte Methodik zur Risikoanalyse erlaubt, Entstehung und Ablauf von gefährlichen Prozessen und ihre Auswirkungen auf Wertobjekte abzubilden und anhand von quantitativen Messgrössen darzustellen. Bereits ein einfaches Fallbeispiel zeigt, wie die differenzierten Resultate wertvolle Hinweise für den Umgang mit Risiken liefern. Neu an der Methodik ist, dass sie *alle Schritte im Rahmen eines abgeschlossenen, formellen Verfahrens* integriert, das *auf ein breites Spektrum von Fragestellungen flexibel anwendbar* ist. Es ersetzt bisherige Erkenntnisse nicht, sondern integriert sie in der Methodik.

Eine vergleichbare methodische Entwicklung ist bei der Risikobewertung nicht möglich. Es ist aber gelungen, ein Modell zu entwickeln, mit dem mindestens eine grobe Abschätzung der zu erwartenden soziopolitischen Bedeutung von Naturrisiken möglich ist. Daraus kann auch auf die Bedeutung der Risikokommunikation geschlossen werden. Durch Verbesserungen in diesem Bereich sollte es künftig möglich sein, Sicherheitsziele bedarfsgerechter festzulegen als nach den traditionellen administrativen Verfahren. Eine wesentliche Neuerung stellt dabei der *gezielte Einbezug aller betroffenen Interessen* in den Prozess dar. Er erlaubt erst, die Richtigkeit bisheriger Vorgaben zu überprüfen. Es ist nicht auszuschliessen, dass dies Aenderungen der Zielsetzung und im Umgang mit Naturrisiken notwendig macht. Wie gezeigt wurde, kann vor allem der *Entscheidungsprozess durch strategische Ueberlegungen noch verbessert* werden. In der Umsetzung besteht ein entsprechendes Potential durch die *Schaffung von Strukturen und Instrumenten*, welche die integrative Behandlung

aller Aspekte nach einheitlichen Prinzipien sicherstellen. Welche quantitativen Verbesserungen damit zu erreichen sind, ist aber aufgrund der vorliegenden Arbeit nicht abschätzbar.

8.2 Offene Fragen

Viele Aspekte einer integrativen Sicherheitsbetrachtung konnten in der Arbeit nur allgemein diskutiert werden. In den drei Bereichen Analyse, Bewertung und Management sind erst noch zentrale Fragen zu beantworten, bevor der Ansatz operationell auf Naturgefahren anwendbar ist.

8.2.1 Risikoanalyse

Die Eignung der «Denkweise» der Risikoanalyse und damit auch das in Abschnitt 5.2 skizzierte Vorgehen ist im Fallbeispiel belegt worden. Nicht geklärt ist jedoch, ob das vorgeschlagene modulare Verfahren mit Fehler- und Ereignisbaum sinnvoll auf alle Untersuchungsobjekte anwendbar ist. Weitere Fallstudien können hier Klarheit bringen.

Eine weitere offene Frage ist das Rationalisierungspotential. Für Analysen auf kleinmassstäblicher Ebene wäre ein vollautomatisch generierbarer erster Ueberblick als Grundlage für die weiteren Prioritäten sehr wertvoll, da sich so detaillierte Erhebungen auf kritische Gebiete konzentrieren lassen. Vor allem die Kombination von einfachen Modellen (zum Beispiel Pauschalgefällen) für die Ereignisabschätzung und bestehenden Datenbanken (Geostat) für die Expositionsanalyse in geographischen Informationssystemen sollte hier geprüft werden. Vielversprechende Ansätze sind von KRUMMENACHER (1995) entwickelt worden. Ebenfalls zu untersuchen wären Hilfsmittel, die spezifisch für technische Risikoanalysen entwickelt wurden, primär die bestehenden Softwarepakete zur Generierung und Quantifizierung von Fehler- und Ereignisbäumen.

Zu klären ist auch, wie man die Resultate einer Risikoanalyse für bestimmte Verwendungszwecke am besten darstellt. Besonders zu prüfen sind verbale Beschreibungen, Tabellen und Karten. Die Wahl einer geeigneten Form ist entscheidend für die Wirkung der Analyse im Rahmen der Umsetzung.

Neben diesen Fragen gibt es noch eine ganze Reihe von Aspekten, die geklärt werden müssen. Vielfach betreffen sie aber situationsspezifische Details bei der Durchführung (zum Beispiel Wahl von geeigneten Prozessmodellen).

8.2.2 Risikobewertung

Die Ueberlegungen zur Risikobewertung basieren auf subjektiven Einstellungen und Einschätzungen des Verfassers. Fakten sind fast nur zur Bewertung technischer Risiken verfügbar.

Bei der Risikobewertung bestehen vorderhand die grössten Wissenslücken. Ob die aufgestellten Hypothesen richtig sind, ist völlig unklar, obwohl versucht wurde, ein Maximum an Plausibilität zu gewährleisten. Um gesicherte Informationen über die Bewertung von Naturrisiken zu erhalten, sind Felduntersuchungen mit soziologischen Methoden nötig. Die Ingenieurwissenschaft kann hier keinen wesentlichen Beitrag zur Klärung leisten.

Die soziopolitische Bedeutung von Naturrisiken ist dringend durch empirische Forschung zu klären, da sonst kein wirksames Risikomanagement möglich ist.

Es ist möglich, dass die Bewertung von Naturrisiken in der Schweiz anderen Gesetzmässigkeiten gehorcht als den hier postulierten. Die dargestellten Folgerungen und Resultate sind möglicherweise qualitativ falsch. Die offenen Fragen zur Risikobewertung können nur in der Realität beantwortet werden.

8.2.3 Risikomanagement

In der vorliegenden Arbeit wird das Risikomanagement unter einem theoretischen Blickwinkel behandelt. Die vorgestellten Konzepte (Zielhierarchie, Massnahmen, Sicherheitsplanung etc.) haben sich in anderen Disziplinen praktisch bewährt. Offen ist daher nicht, ob sie richtig sind, sondern ob sie mit den bestehenden, aus einer langen Entwicklung hervorgegangen organisatorischen Strukturen überhaupt umsetzbar sind. Es ist fraglich, ob bestehende Abläufe, Kompetenzen und Verantwortlichkeiten ohne weiteres geändert werden können. Hier können Pilotstudien Auskunft geben.

Schwer abzuschätzen ist, welche Verbesserungen die einzelnen Konzepte ermöglichen. Am ehesten lässt sich dies beim präventiven Risikomanagement prüfen, wo reale Aufwände verglichen werden können.

Auf operationeller Ebene wäre zu klären, ob sich die erwähnten Methoden (zum Beispiel zur Evaluation von Massnahmen) auf reale Problemstellungen tatsächlich anwenden lassen. Eine Antwort darauf kann in Fallbeispielen gefunden werden.

8.3 Zukünftiger Forschungsbedarf

Die vorgestellten Methoden und Empfehlungen bilden die theoretische Grundlage, wie Naturgefahren problemorientiert behandelt werden können. Ob sich daraus Verbesserungen ergeben, hängt aber von der Umsetzung am konkreten Objekt ab. Priorität hat deshalb die Entwicklung praxistauglicher Werkzeuge.

Bei der Risikoanalyse ist die Entwicklung von Standardrastern für die Durchführung vordringlich. Damit kann den Verantwortlichen eine Basis für ein einheitliches Vorgehen bei Routineaufgaben wie der Projektbeurteilung oder der Festlegung von Handlungsprioritäten zur Verfügung gestellt werden. Am besten geeignet scheinen dazu einige Fallbeispiele mit einem breiten Spektrum an Problemstellungen.

Zu untersuchen ist auch, wie sich das Verhältnis von Aufwand und Resultatgüte bei der Risikoanalyse optimieren lässt. Besonders wichtig ist dabei der Bereich der Datenbeschaffung und -aufbereitung. Der Aufwand steigt vermutlich rascher als die Aussagequalität; für bestimmte Aufgabenstellungen ergibt sich ein Minimum, mit dem die geforderte Güte gerade noch erreicht wird.

Ein drittes Forschungsfeld sind Hilfsmittel für Risikoanalysen. Die Vorarbeiten aus dem Bereich der technischen Risiken sollten dringend auf ihre Anwendbarkeit für Naturgefahren geprüft werden. Die Handhabung grosser Datenmengen, die Durchführung von Dispositions- und Ereignisablaufanalysen

sowie die benutzergerechte Darstellung von Resultaten liessen sich durch den Einsatz solcher Mittel entscheidend verbessern.

Bei der Risikobewertung ist vor allem die empirische Sozialforschung gefordert. In Felduntersuchungen sind Informationen über die tatsächliche Bedeutung von Naturrisiken zu beschaffen. Nur so kann festgestellt werden, wo Sicherheitsbedürfnisse zu befriedigen sind, welche Ressourcen dafür eingesetzt werde sollen und wie die Prioritäten bei der Durchführung von Risikoanalysen sind. Die Forschung zur Bewertung ist gegenüber Entwicklungen im Bereich Risikomanagement unbedingt vorzuziehen. Während die Risikoanalyse nur wenig durch die Bewertung beeinflusst wird, hängt die Umsetzung sehr stark davon ab. Objektspezifische Ziele, Strategien und Massnahmen sind erst vernünftig definierbar, wenn die Bedürfnisse des Zielpublikums bekannt sind.

Viele theoretische Fragen zum Risikomanagement sind durch disziplinäre Forschung bereits geklärt und viele Techniken in anderen Gebieten schon lange erfolgreich eingesetzt worden. Im methodischen Bereich beschränkt sich der Forschungsbedarf auf die Anpassung an Naturrisiken.

Ein wichtiges theoretisches Forschungsfeld zum Risikomanagement stellen Informations-, Leit- und Warnsysteme dar. Erfahrungen aus der Literatur (unter anderem AEBERSOLD 1989, RAPHAEL 1986, PATÉ-CORNELL 1987) zeigen, dass hier noch erhebliche Mängel bestehen. Die Optimierung dieser Systeme basiert auf technischen und naturwissenschaftlichen Prinzipien, entsprechende Forschungsprojekte können unabhängig von den Kenntnissen zur Risikobewertung realisiert werden.

8.4 Schlussfolgerungen

Der in Zukunft zu erwartenden Anstieg der Schäden durch Naturereignisse erfordert eine optimale Verwendung der verfügbaren Ressourcen. Anstelle der bisherigen prozessorientierten Sichtweise sind Naturgefahren problemorientiert anzugehen.

Mit der Sicherheitswissenschaft wurde bei technischen Anwendungen eine Disziplin geschaffen, die heute alle relevanten Aspekte der Analyse, Bewertung und Handhabung von Risiken integriert. Dieses theoretische Konzept ist auch auf Naturgefahren anwendbar. Risikoanalysen können durch Kombination und Anpassung bestehender Ansätze auf Naturgefahren übertragen werden. Bei der Bewertung von Naturrisiken ist zwar davon auszugehen, dass die gleichen Mechanismen spielen wie bei anderen Gefahren; ein empirischer Nachweis ist steht aber noch aus. Die Grundsätze des sicherheitswissenschaftlichen Risikomanagements ergänzen die bisherigen, vorwiegend technischen Massnahmen durch die Integration strategischer Ueberlegungen. Damit kann der Handlungsspielraum im Umgang mit Naturgefahren erweitert und die Effizienz und Effektivität können verbessert werden.

Von der routinemässigen operationellen Anwendung ist das Konzept der Sicherheitswissenschaft bei Naturgefahren aber noch weit entfernt. Die erarbeiteten Resultate haben den Charakter theoretischer Grundlagen und genereller Empfehlungen. In allen Bereichen besteht weiterhin ein erheblicher Forschungs- und vor allem Entwicklungsbedarf.

Grundsätzlich liegt in der Anwendung sicherheitswissenschaftlicher Ueberlegungen ein grosses Potential für Verbesserungen im Umgang mit Naturgefahren. Es kann aber nur erschlossen werden, wenn praxisnahe und -taugliche Instrumente verfügbar sind.

Leer - Vide - Empty

Literaturverzeichnis

AEBERSOLD, R. (1989): Bericht des zivilen kantonalen Führungsstabes des Kantons Uri KAFUR über die Hilfeleistungen anlässlich der Hochwasserkatastrophe in Uri vom 24./25. August 1987. Gamma Druck + Verlag AG, Altdorf.

AEC (1974) Reactor Safety Study WASH-1400. *Edited by* Rasmussen, N. C. U. S. Atomic Energy Commission, Washington D.C.

ALLEN, F. W. (1989): The government as lighthouse: A summary of federal risk communication programs. *In* Effective risk communication: The role of government and nongovernment organizations. Contemporary issues in risk analysis 4. *Edited by* Covello, V. T., Mccallum, D. B., Pavlova, M. T. Plenum Press, New York. pp. 53-61.

AMBROSE, J., VERGUN, D. (1987): Design for lateral forces. Wiley & Sons, New York.

ANDOW, P. (1991): Real Time Fault Diagnosis for Process Plants. *In* Probabilistic Safety Assessment and Management. Elsevier Science Publishing Co., New York. pp. 461-466.

ARKIN, E. B. (1989): Translation of risk information for the public: Message developpment. *In* Effective risk communication: The role of government and nongovernment organizations. Contemporary issues in risk analysis 4. *Edited by* Covello, V. T., Mccallum, D. B., Pavlova, M. T. Plenum Press, New York. pp. 127-135.

ARMANINI, A., SCOTTON, P. (1992): Experimental analysis on the dynamic impact of a debris flow on structures. *In* Proceedings of Interpraevent 1992, Tagungspublikation Band 6. *Edited by* Internat. Forschungsgesellschaft Interpraevent. Interpraevent, Klagenfurt. pp. 107-116.

ARROW, K. J. (1963): Social choice and individual values. 2nd edition. Yale University Press, New Haven.

ASF (1977): Hochwasserschutz in der Schweiz 1877 bis 1977: 100 Jahre Bundesgesetz über die Wasserbaupolizei. Veröffentlichungen des Eidg. Amt für Strassen- und Flussbau. EDMZ, Bern.

AUMANN, R. J. (1989): Lectures on Game Theory. Underground Classics in Economics. Westview Press, Colorado.

BACHMANN, H. (1995): Erdbebensicherung von Bauwerken. Birkhäuser, Basel.

BAGNARA, S. ET AL. (1991): A human Factor Taxonomy based on cognitive Engineering and social and occupational Psychology. *In* Probabilistic Safety Assessment and Management. Elsevier Science Publishing Co., New York. pp. 513-518.

BAKKEHØI, S. ET AL. (1981): On the computation of parameters that model snow avalanche motion. Canadian geotechnical journal **18**: 121-130.

BATTEN, S. ET AL. (1960): Derivation of two simple methods for the computing of radioactive fallout. Rand research memorandum, RM-2460. Rand Corporation, Santa Monica.

BERGIER, J.-F. (1983): Die Wirtschaftsgeschichte der Schweiz von den Anfängen bis zur Gegenwart. Benziger, Zürich.

BEROGGI, G., KROEGER, W. (1993): Risikoanalyse technischer Systeme: Methoden, Modelle, Verfahren und Hilfsmittel. SIA Schweizer Ingenieur und Architekt **47**: 877-883.

BFF / EISLF (1984): Richtlinien zur Berücksichtigung der Lawinengefahr bei raumwirksamen Tätigkeiten. EDMZ, Bern.

BFS (1991) Statistisches Jahrbuch der Schweiz 1990. Verlag NZZ, Zürich.

BICKEL, W. (1947): Bevölkerungsgeschichte und Bevölkerungspolitik der Schweiz. Büchergilde Gutenberg, Zürich.

BLACKMAN, H. S. (1991): Human System Interaction Measures: An Approach to improve System Performance. *In* Probabilistic Safety Assessment and Management. Elsevier Science Publishing Co., New York. pp. 467-471.

BOEHM, B. W. (1988): A spiral model of Software development and enhancement. IEEE Computer **21**: 61-72.

CACCIABUE, P. C., VIVALDA, C. (1991): A dynamic Methodology for evaluating human Error Probabilities. *In* Probabilistic Safety Assessment and Management. Elsevier Science Publishing Co., New York. pp. 507-512.

CALLAGHAN, J. D. (1989): Reaching target audience with risk information: Message developpment. *In* Effective risk communication: The role of government and nongovernment organizations. Contemporary issues in risk analysis 4. *Edited by* Covello, V. T., Mccallum, D. B., Pavlova, M. T. Plenum Press, New York. pp. 137-142.

CARR, S. M., SAVAGE, G. J. (1991): A unified Approach for reliability-based Design of physical Systems. *In* Probabilistic Safety Assessment and Management. Elsevier Science Publishing Co., New York. pp. 671-679.

CARRARA, A. ET AL. (1991): GIS techniques and statistical models in evaluating landslide hazard. Earth Surface Processes and Landforms **16**: 5, 427-445.

CAZZOLI, E.G. ET AL. (1993): Approach to quantification of uncertainties in probabilistic safety assessments. *In* Safety and reliability assessment - an integral approach. Proceedings oft Esrel 93, the European safety and reliability conference. Elsevier, Amsterdam.

CICUREL, R. (1991): Die schweizerische Wirtschaft: Geschichte in drei Akten. 700 Jahre Confoederatio Helvetica. SQP Publication, St.-Sulpice.

CLAROTTI, C.A. (1993): Inevitability of the Bayesian predictive approach to PRA's. *In* Safety and reliability assessment - an integral approach. Proceedings oft Esrel 93, the European safety and reliability conference. Elsevier, Amsterdam.

CLAYBROOK, J. (1983): Motor vehicle occupant restraint policy. *In* The analysis of actual versus percieved risks. Advances in risk analysis 1. *Edited by* Covello, V. T., Flamm, W. G., Rodricks, J. V., Tradiff, R. G. Plenum Press, New York. pp. 21-47.

COOK, N. J. (1993): Wind engineering. Proceedings of the conference Wind engineering organized by the International Association for Wind Engineering and held in Guernsey on 20-24 September 1993. Telford, London.

COOKE, R. M. (1991): Experts in Uncertainty: Opinion and subjective probability in science. Environmental ethics and science policy series. Oxford University press, London.

COVELLO, V. T. (1986): Risk analysis and management: A historical perspective. *In* Risk evaluation and management. Contemporary issues in risk analysis 1. *Edited by* Covello, V. T., Menkes, J. and Mumpower, J. Plenum Press, New York. pp. 461-487.

COVELLO, V.T. ET AL. (1989): Principles and guidelines for improving risk communication. *In* Effective risk communication: The role of government and nongovernment organizations. Contemporary issues in risk analysis 4. *Edited by* Covello, V. T., Mccallum, D. B., Pavlova, M. T. Plenum Press, New York. pp. 3-16.

CUTTER, S.L. (1993): Living with risk. Edward Arnold, London.

CZICHOS, H. (1991): Hütte: Die Grundlagen der Ingenieurwissenschaften. Springer, Berlin.

D'ASPREMONT, C. (1983): Axioms for social welfare orderings. Center for operations research and econometrics Discussion paper Nr. 8349. Université catholique de Louvain, Louvain-la-Neuve.

DAHLGREN, K. (1991): Shiftwork and Safety - the Importance of Shift Scheduling for safe Operations. *In* Probabilistic Safety Assessment and Management. Elsevier Science Publishing Co., New York. pp. 277-282.

DARBY, J. (1979): Alternatives to be considered in benefit:risk decision making. *In* Regulatory aspects of carcinogenesis and food additives: The Delaney Clause. Ecotoxicology and Environmental Quality 2. *Edited by* Coulston, F. Academic Press, New York.

DASEN, E. (1951): Verbauung und Aufforstung der Brienzer Wildbäche. Veröffentlichungen über Verbauungen 5. EDMZ, Bern.

DAVIS, P. A., OLAGUE, N. E. (1991): Treatment of Model Uncertainties in total System Safety Assessments. *In* Probabilistic Safety Assessment and Management. Elsevier Science Publishing Co., New York. pp. 649-652.

DHA (1992): Internationally agreed glossary of basic terms related to disaster management. United Nations Department of humanitarian affairs, Geneva.

DUSIC, M. (1991): Use of Expert Systems in nuclear Safety. *In* Probabilistic Safety Assessment and Management. Elsevier Science Publishing Co., New York. pp. 815-820.

DYCK, S., PESCHKE, G. (1989): Grundlagen der Hydrologie. VEB Verlag für Bauwesen, Berlin.

EFANOV, V. N. ET AL. (1991): Safety and Integrity of large-scale Dynamic Systems and Control Algorithm Structure: The Design Technique. *In* Probabilistic Safety Assessment and Management. Elsevier Science Publishing Co., New York. pp. 741-746.

EGLI, T. (1996) Hochwasserschutz und Raumplanung: Schutz vor Naturgefahren mit Instrumenten der Raumplanung - dargestellt am Beispiel von Hochwasser und Murgängen. ORL-Bericht 100. ETH Zürich, Zürich.

EISLF (1960): Lawinenverbau im Anbruchgebiet: Richtlinien des Eidg. Oberforstinspektorates für den Stützverbau. Mitt. Eidg. Inst. Schnee- und Lawinenforschung 29. EISLF, Davos.

FEMA (1995): Tsunami-Factsheet. Factsheet-Programm der Federal Emergency Management Agency FEMA, elektronisch publiz.: URL http://www.fema.gov/fema/tsunamif.html. FEMA, Washington D.C.

FLEMING, K. N., CHAO-YIE Y. (1991): Risk-based approach to Determination of Emergency Planning Zones for the Republic of China. *In* Probabilistic Safety Assessment and Management. Elsevier Science Publishing Co., New York. pp. 97-102.

FRITZSCHE, A.F. (1986): Wie sicher leben wir? Risikobeurteilung und -bewältigung in unserer Gesellschaft. TUeV Rheinland, Köln.

GÄCHTER, M. (1996): Analyse der Wildbachrisiken dargestellt am Stadtbach von Altstätten - Beitrag zur Risikoanalyse bei Naturgefahren. Diplomarbeit an der Abteilung f. Forstwissenschaften der ETH Zürich. Nicht veröffentlicht.

GARRICK, B. J. (1987): Examining the Realities of Risk Management. *In* Uncertainty in Risk Assessment, Risk Management and Decision Making. Advances in risk analysis 1. *Edited by* Covello, V. T., Flamm, W. G., Rodricks, J. V., Tradiff, R. G. Plenum Press, New York. pp. 421-433.

GREEN, C. H. ET AL. (1987): Estimating the Risk from Flooding and Evaluating Worry. *In* Uncertainty in Risk Assessment, Risk Management and Decision Making. Advances in Risk Analysis 4. *Edited by* Covello, V. T. et al. Plenum Press, New York. pp. 159-176.

GREGORY, G. (1988): Decision Analysis. Plenum Press, New York.

HAAS, E. J., KATES, R. W., BOWDEN, M. J. (1977): Reconstruction following disaster. MIT Press Environmental Studies Series. MIT Press, Cambridge (Mass.).

HAMM, G. L. , WONG, B. (1991): Decision Analysis for Earthquake Hazards Reduction. *In* Probabilistic Safety Assessment and Management. Elsevier Science Publishing Co., New York. pp. 109-114.

HATTIS, D. (1989): Scientific uncertainties and how they affect risk communication. *In* Effective risk communication: The role of government and nongovernment organizations. Contemporary issues in risk analysis 4. *Edited by* Covello, V. T., Mccallum, D. B., Pavlova, M. T. Plenum Press, New York. pp. 117-126.

HAUSER, A. (1993): Marketing für Generalisten. Führungspraxis 7. Staatskundeverlag E. Krattiger, Altstätten.

HOLLENSTEIN, K., (1991): Kriterien für die Murganggefahr in Wildbächen und Runsen. Diplomarbeit an der Abt. f. Forstwissenschaften der ETH Zürich. Nicht veröffentlicht.

HOLLNAGEL, E. (1991): What is a Man that he can be expressed by a Number?. *In* Probabilistic Safety Assessment and Management. Elsevier Science Publishing Co., New York. pp. 501-506.

HOWARD, H. H., FAUST, CH. L. (1991): The HIT Method: A Hazard Identification Technique. *In* Probabilistic Safety Assessment and Management. Elsevier Science Publishing Co., New York. pp. 401-406.

HSE (1978): Canvey: an investigation of potential hazards from operations in the Canvey Island / Thurrock area. Her Majesty's stationery office, London.

HUNGR, O. ET AL. (1987): Debris flow defenses in British Columbia. Reviews in engineering geology **7**: 201-222.

HUTTER, K. ET AL. (1987): Granaular shear flows as models for flow avalanches. *In* Avalanche formation, movement and effects. Proceedings of the Davos Symposium, September 1986. IAHS **162**: 381-394.

IAEA (1992): Procedures for Conducting Probabilistic Safety Assessments of Nuclear Power Plants (Level 1). A Publication within the NUSS Programme. Safety Series 504. International Atomic Energy Agency, Wien.

INAGAKI, T., INOUE, K. (1991): Probabilistic Analysis of Safety Management Policies under annunciated alarms. *In* Probabilistic Safety Assessment and Management. Elsevier Science Publishing Co., New York. pp. 923-928.

JACKSON, L. E. JR. ET AL. (1987): Identification of debris flow hazard on alluvial fans in the Canadian Rocky Mountains. Reviews in engineering geology **7**: 115-123.

KAPLAN, S. (1991): Formalisms for handling phenomenological uncertainties: The Concepts of Probability, Frequency, Variability and Probability of Frequency. *In* Probabilistic Safety Assessment and Management. Elsevier Science Publishing Co., New York. pp. 1281-1287.

KASHYAP, R.L., RAO, A.R. (1976): Dynamic Stochastic Models from Empirical Data. Mathematics in Science and Engineering 122. Academic Press, New York.

KASPERSON, R. E., KASPERSON, J. X. (1991): Hidden hazards. *In* Acceptable Evidence: Science and Values in Risk Management. Environmental Ethics and Science Policy Series 1. *Edited by* Mayo, D. G. and Hollander, R. D. Oxford University Press, New York. pp. 9-28.

KASPERSON, R. E., PALMLUND, I. (1989): Evaluating risk communication: Message developpment. *In* Effective risk communication: The role of government and nongovernment organizations. Contemporary issues in risk analysis 4. *Edited by* Covello, V. T., Mccallum, D. B., Pavlova, M. T. Plenum Press, New York. pp. 143-158.

KATES, R. W., PIJAWKA, D. (1977): From Rubble to Monument: The Pace of Reconstruction. *In* Reconstruction following disaster. MIT Press Environmental Studies Series 123. *Edited by* Haas, E. J., Kates, R. W., Bowden, M. J. MIT Press, Cambridge (Mass.).

KELLY, G. B. ET AL. (1991): Consideration of seismic Events in severe Accidents. *In* Probabilistic Safety Assessment and Management. Elsevier Science Publishing Co., New York. pp. 871-876.

KIENHOLZ, H. (1995) Gefahrenbeurteilung und -bewertung – auf dem Weg zu einem Gesamtkonzept. Schweiz. Z. Forstwesen **146**: 9, 701-725.

KLETZ, T. A. (1983): Hazop and hazan: Notes on the idetification and assessment of hazards. *In* Loss prevention information exchange scheme. The institution of chemical engineers, Rugby.

KOELLA, E. (1986) Zur Abschätzung von Hochwassern in Fliessgewässern an Stellen ohne Direktmessungen. Mitt. 87 der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie. ETH Zürich, Zürich.

KÖNIG, M. A. (1984) Geologische Katastrophen und ihre Auswirkungen auf die Umwelt. Ott, Thun.

KRÄTZIG, W.B. ET AL. (1991): Structural dynamics 1. Balkema, Rotterdam.

KROEGER, W. (1992): Grundzüge der Sicherheit technischer Systeme. Autographie zur Vorlesung an der ETHZ Zürich.

KRUMMENACHER, B. (1995): Modellierung der Wirkungsräume von Erd- und Felsbewegungen mit Hilfe Geographischer Informationssysteme (GIS). Schweiz. Z. Forstwesen **146**: 9, 741-761.

LOCHER, R. (1992): Risikokontrolle: Basel wirkt als Pionier. *In* Risiko zwischen Chance und Gefahr. *Edited by* Locher, R. Reto Locher & Partner, Basel. pp. 52-61.

LOIS, E. (1991): Organizational Factors Research for Regulatory Use. *In* Probabilistic Safety Assessment and Management. Elsevier Science Publishing Co., New York. pp. 37-41.

MALLAGH, C., RAVETZ, J. R. (1985): The "third mode": Technology regulation by insurance. *In* Risk analysis in the private sector. Advances in risk analysis 3. *Edited by* Whipple, C. and Covello, V. T. Plenum Press, New York. pp. 417-428.

MARCUS, A. A., NICHOLS, M. L. (1991): Assessing organizational Safety in adapting, learning Systems: Empirical Studies of nuclear Power. *In* Probabilistic Safety Assessment and Management. Elsevier Science Publishing Co., New York. pp. 165-170.

MASLOW, A. G. (1987) Motivation und Persönlichkeit. Rowohlt, Hamburg.

MASON, J. O. (1989): The federal role in risk communication and public education. *In* Effective risk communication: The role of government and nongovernment organizations. Contemporary issues in risk analysis 4. *Edited by* Covello, V. T., Mccallum, D. B., Pavlova, M. T. Plenum Press, New York. pp. 19-25.

MATOUSEK, M. (1992): Quality Assurance. *In* Engineering Safety. *Edited by* Blockley, D. I. MacGraw-Hill, New York.

MATTMÜLLER, M. (1987): Bevölkerungsgeschichte der Schweiz, Teil I: Die frühe Neuzeit 1500 - 1700, Band 1 u. 2. Basler Beiträge zur Geschichtswissenschaft 154. Helbing und Lichtenhahn, Basel.

MEARS, A.I. (1976): Guidelines and methods for detailed snow avalanche hazard investigations in Colorado. Colorado Geological Survey bulletin **38**: 11-25.

MEIER, M. (1992): "Man gewöhne sich mit der Zeit daran" – Risiken im Basel des 19. Jahrhunderts. *In* Risiko zwischen Chance und Gefahr. *Edited by* Locher, R. Reto Locher & Partner, Basel. pp. 72-81.

MENKES, J., LAVE, L. B. (1987): Value and Function of Information in Risk Management. *In* Uncertainty in Risk Assessment, Risk Management and Decision Making. Advances in Risk Analysis 4. *Edited by* Covello, V. T. et al. Plenum Press, New York. pp. 213-220.

MERKHOFER, M. W. (1986): Comparative analysis of formal decision-making approaches. *In* Risk evaluation and management. Contemporary issues in risk analysis 1. *Edited by* Covello, V. T., Menkes, J. and Mumpower, J. Plenum Press, New York. pp. 183-219.

MESAROVIC, M. D., TAKAHARA, Y. (1975): General Systems Theory: Mathematical Foundations. Mathematics in Science and Engineering 113. Academic Press, New York.

MEYER, J., BUNCH, D. (1991): PRA, Design Bases, and severe Accidents. *In* Probabilistic Safety Assessment and Management. Elsevier Science Publishing Co., New York. pp. 787-791.

MINSSEN, H. (1878): Statistik der Dampfkessel-Explosionen im Deutschen Reiche 1877. Mittheilungen aus der Praxis des Dampfkessel- und Dampfmaschinen-Betriebes **1:** 133-134.

MODARRES, M. (1991): Direct Evaluation of Systems using Expert System Technology. *In* Probabilistic Safety Assessment and Management. Elsevier Science Publishing Co., New York. pp. 801-807.

MOIENI, P. ET AL. (1991): Modeling and Treatment of Recovery Actions in PRAs. *In* Probabilistic Safety Assessment and Management. Elsevier Science Publishing Co., New York. pp. 1123-1129.

MOSLEH, A. ET AL. (1991): A Method for Evaluation and Integration of Safety Performance Indicators. *In* Probabilistic Safety Assessment and Management. Elsevier Science Publishing Co., New York. pp. 43-48.

MOSLEH, A., KAPLAN, S. (1991): A bayesian Approach for Estimation of Aircraft Crash Frequency. *In* Probabilistic Safety Assessment and Management. Elsevier Science Publishing Co., New York. pp. 601-606.

MOSS, T. H. (1985): Institutional initiatives for risk management. *In* Risk analysis in the private sector. Advances in risk analysis 3. *Edited by* Whipple, C. and Covello, V. T. Plenum Press, New York. pp. 323-325.

MULVIHILL, R. A. (1991): The Role of quantitative Risk Analysis in the Implementation of Risk Management and Prevention Programs. *In* Probabilistic Safety Assessment and Management. Elsevier Science Publishing Co., New York. pp. 49-54.

NAEF, F., JAEGGI, M. (1989): Das Hochwasser vom 24./25. August 1987 im Urner Reusstal aus hydrologischer und flussbaulicher Sicht. wasser, *energie, luft* **82:** 9, 222-227.

NEMEC, J. ET AL. (1993) Prediction and Perception of Natural Hazards. Advances in Natural and Technological Hazards Research 2. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.

NOWOTNY, H. (1992): "Es geht um die Gesellschaft der Zukunft". *In* Risiko zwischen Chance und Gefahr. *Edited by* Locher, R. Reto Locher & Partner, Basel. pp. 26-31.

NRC (1991): Computers at risk: Safe computing in the information age. National Academy Press, Washington D.C.

OKRENT, D. (1989): Safety goals, uncertainties and defense in depth. *In* Risk analysis and management of natural and man-made hazards, *Edited by* Haimes, Y. Y. and Stakhiv, E. Z. ASCE, New York. pp. 268-282.

OMANG, J. (1983): The perception of risk: A journalist's perspective. *In* The analysis of actual versus percieved risks. Advances in risk analysis 1. *Edited by* Covello, V. T., Flamm, W. G., Rodricks, J. V., Tradiff, R. G. Plenum Press, New York. pp. 267-271.

ONESTI, L.J. (1987): Slushflow release mechanism: A first approximation. *In* Avalanche formation, movement and effects. Proceedings of the Davos Symposium, September 1986. IAHS **162**: 331-336.

OPSCHOOR, G. ET AL. (1991): Methods for Calculation of Damage resulting from physical Effects of the accidental Release of dangerous Materials. *In* Probabilistic Safety Assessment and Management. Elsevier Science Publishing Co., New York. pp. 153-158.

PATE-CORNELL, M. E. (1985): Warning systems and risk reduction. *In* Risk analysis in the private sector. Advances in risk analysis 3. *Edited by* Whipple, C. and Covello, V. T. Plenum Press, New York. pp. 469-482.

PATE-CORNELL, M. E. (1989): Warning systems in risk management: the benefit of monitoring. *In* Risk analysis and management of natural and man-made hazards, *Edited by* Haimes, Y. Y. and Stakhiv, E. Z. ASCE, New York. pp. 253-267.

PATE-CORNELL, M. E., BENITO-CLAUDIO, C. P. (1987): Warning Systems: Response Models and Optimization. *In* Uncertainty in Risk Assessment, Risk Management and Decision Making. Advances in Risk Analysis 4. *Edited by* Covello, V. T. et al. Plenum Press, New York. pp. 475-468.

PERLA, R.I. (1980): Avalanche release, motion and impact. *In* Dynamics of snow and ice masses, *Edited by* Colbeck, S. S. Academic press, New York. pp. 397-462.

PERLA, R.I. ET AL. (1980): A two-parameter model of snow-avalanche motion. Journal of glaciology **94**: 26, 197-207.

PETAK, W. J., ATKISSON, A. A. (1982): Natural Hzard Risk Assessment and Public Policy. Springer Series on Environmental Management. Springer, New York.

PFISTER, CHR. (1984): Klimageschichte der Schweiz 1525-1860 (Band I). Bevölkerung, Klima und Agrarmodernisierung 1525 - 1860 (Band II). Academica Helvetica 6. Haupt, Bern.

PPRS (1993): Definitionen für das Polyprojekt Risiko und Sicherheit technischer Systeme. Zürich.

RAPHAEL, B. (1986): When Disaster strikes: How individuals and communities cope with catastrophe. Basic Books, New York.

RAPOPORT, A. (1986): General System Theorie: Essential concepts & applications. Cybernetics and Systems Series. Abacus Press, Cambridge (Mass.).

RAPOPORT, A. (1989): Deciosion Theory and Deciosion behavior: Normative and descriptive approaches. Theory and Decision library Series B: Mathematical and statistical methods 15. Kluwer Academic Press, Dordrecht.

RAYNER, S. (1987): Learning from the blind man and the elephant, or seeing things whole in risk management. *In* Uncertainty in Risk Assessment, Risk Management and Decision Making. Advances in Risk Analysis 4. *Edited by* Covello, V. T. et al. Plenum Press, New York. pp. 207-212.

RINZA, P., SCHMITZ, R. (1992): Nutzwert-Kosten-Analyse, Betriebswirtschaft und Betriebspraxis. VDI, Düsseldorf.

ROBERTSON, L. S. (1983): Public perception and behavior in relation to vehicle passenger restraints. *In* The analysis of actual versus percieved risks. Advances in risk analysis 1. *Edited by* Covello, V. T., Flamm, W. G., Rodricks, J. V., Tradiff, R. G. Plenum Press, New York. pp. 11-20.

RÖTHLISBERGER, G. (1991): Chronik der Unwetterschäden in der Schweiz. Ber. WSL 330. WSL, Birmensdorf.

ROGERS, G. O. (1985): On determining public acceptability of risk. *In* Risk analysis in the private sector. Advances in risk analysis 3. *Edited by* Whipple, C. and Covello, V. T. Plenum Press, New York. pp. 469-482.

ROTH, E. M. ET AL. (1991): Cognitive Environment Simulation: A Tool for modeling Operator cognitive Performance during Emergencies. *In* Probabilistic Safety Assessment and Management. Elsevier Science Publishing Co., New York. pp. 959-964.

ROUHIAINEN, V. (1993): Definition of goals and planning of resources. *In* Quality management of safety and risk analysis. Elsevier, Amsterdam. pp. 61-69.

ROUHIAINEN, V., SUOKAS, J. (1993): Performance of the analysis. Documentation of safety analysis. Evaluation of the results. *In* Quality management of safety and risk analysis. Elsevier, Amsterdam. pp. 220-259.

RÜCK (1992) Sigma 3/92. Schweizer Rück, Zürich.

SAATY, T. L. (1980): The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Ressource Allocation. McGraw-Hill, New York.

SALM, B. ET AL. (1990): Berechnung von Fliesslawinen: eine Anleitung für den Praktiker mit Beispielen. Mitt. Eidg. Inst. f. Schnee- u. Lawinenforschung 47. EISLF, Davos.

SANDER, P., BADOUX, R. (1991): Bayesian Methods in Reliability. Topics in Safety, Reliability and Quality 1. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.

SANDMAN, P. M. (1989): Hazard versus outrage in the public perception. *In* Effective risk communication: The role of government and nongovernment organizations. Contemporary issues in risk analysis 4. *Edited by* Covello, V. T., Mccallum, D. B., Pavlova, M. T. Plenum Press, New York. pp. 45-49.

SANER, H. (1992): Fragen, für die es keine Experten mehr gibt: Ueber die Formen des Risikos. *In* Risiko zwischen Chance und Gefahr. *Edited by* Locher, R. Reto Locher & Partner, Basel. pp. 46-51.

SARS (1983): Safety criteria - requirement, establishment and application. Chameleon Press, London.

SCHIFF, D. (1990): Dynamic analysis and failure modes of simple structures. Wiley, New York.

SCHNEEWEISS, CH. (1991): Planung: Systemanalytische und entscheidungstheoretische Grundlagen. Springer, Berlin.

SCHNEIDER, J. (1996): Sicherheit und Zuverlässigkeit im Bauwesen. vdf Hochschulverlag, Zürich.

SCHUDSON, M. (1991): Living with the Risk of Risk Communication. *In* Probabilistic Safety Assessment and Management. Elsevier Science Publishing Co., New York. pp. 989-994.

SCHWARZBLAT, M. ET AL. (1991): PC-FTA: An expert System for Fault Tree Construction. *In* Probabilistic Safety Assessment and Management. Elsevier Science Publishing Co., New York. pp. 793-799.

SENNI, S. ET AL. (1991): ADMIRA - An analytical Dynamic Methodology for integrated Risk assessment. *In* Probabilistic Safety Assessment and Management. Elsevier Science Publishing Co., New York. pp. 407-412.

SEV (1893): Statuten des Schweizerischen elektrotechnischen Vereins. Jahrbuch des Schweizerischen elektrotechnischen Vereins 4: 15-18. SEV, Neuchâtel.

SHRADER-FRECHETTE, K. (1986): Risk-cost-benefit methodology and equal protection. *In* Risk evaluation and management. Contemporary issues in risk analysis 1. *Edited by* Covello, V. T., Menkes, J. and Mumpower, J. Plenum Press, New York. pp. 275-295.

SIA (1989) SIA-Norm 160: Einwirkungen auf Tragwerke. SIA, Zürich.

SILBERGELD, E. K. (1991): Risk Assessment and Risk Management: An uneasy divorce. *In* Acceptable Evidence: Science and Values in Risk Management. Environmental Ethics and Science Policy Series. *Edited by* Mayo, D. G. and Hollander, R. D. Oxford University Press, Oxford. pp. 99-114.

SLOVIC, P. ET AL. (1981): Lay foibles and experts fables in judgements about risks. *In* Progress in resource management and environmental planning. *Edited by* O'Riordon, T. and Turner, R. K. Wiley & Sons, Chichester.

SLOVIC, P. ET AL. (1986): The psychometric study of risk perception. *In* Risk evaluation and management. Contemporary issues in risk analysis 1. *Edited by* Covello, V. T., Menkes, J. and Mumpower, J. Plenum Press, New York. pp. 324.

SPURGIN, A. J., MOIENI, P. (1991): An Evaluation of current human reliability Assessment Methods. *In* Probabilistic Safety Assessment and Management. Elsevier Science Publishing Co., New York. pp. 821-826.

SPURGIN, A. J., MOIENI, P. (1991): Interpretation of Simulator Data in the Context of human Reliability Modeling. *In* Probabilistic Safety Assessment and Management. Elsevier Science Publishing Co., New York. pp. 965-970.

STARR, C. (1969): Social benefit versus technological risk. Science **165**: 1232-1238.

STARR, C. (1985): Risk analysis and risk management. *In* Risk analysis in the private sector. Advances in risk analysis 3. *Edited by* Whipple, C. and Covello, V. T. Plenum Press, New York. pp. 285-296.

STARR, C. (1987): Risk Management, Assessment and Acceptability. *In* Uncertainty in Risk Assessment, Risk Management and Decision Making. Advances in Risk Analysis 4. *Edited by* Covello, V. T. et al. Plenum Press, New York. pp. 63-70.

STOECKER, H. (1993): Taschenbuch mathematischer Formeln und moderner Verfahren. Harri Deutsch, Thun.

SUOKAS, J. (1993): Quality of safety analysis. *In* Quality management of safety and risk analysis. Elsevier, Amsterdam. pp. 25-43.

TAKAHASHI, T. (1981): Estimation of potential debris flow and their hazardous zones: Soft countermeasures for a disaster. Journal of natural disaster science **3**: 57-89. Dohosha Co., Kyoto.

TELLER, K.-J. (1975): Die Allgemeine Systemtheorie als Basis für Richtlinien zur Gestaltung von Management-Informationssystemen. Diss. Uni. Aachen. Aachen.

TIEDEMANN, H. (1992): Earthquake and Volcanic eruptions: A handbook on risk assessment. Swiss Re, Zürich.

TILLI, T. (1991): Fuzzy-Logik: Grundlagen, Anwendungen, Hard- und Software. Franzis, München.

TRUNK, A. D., TRUNK, E. V. (1983): Impact of the Three Mile Island accident as percieved by those living in the surrounding community. *In* The analysis of actual versus percieved risks. Advances in risk analysis 1. *Edited by* Covello, V. T., Flamm, W. G., Rodricks, J. V., Tradiff, R. G. Plenum Press, New York. pp. 225-233.

VON BERTALANFFY, L. (1973): General System Theorie: Foundations, Developpment, Applications. Penguin Books, Harmondsworth.

VON STEIGER, H. (1896): Die Ausbrüche des Lammbaches. K. J. Wyss, Bern.

VON WINTERFELDT, D. ET AL. (1991): The formal Elicitation of Expert Judgement for Performance Assessment of HLW Repositories. *In* Probabilistic Safety Assessment and Management. Elsevier Science Publishing Co., New York. pp. 653-658.

WAHLSTRÖM, B. (1991): Influence of Organization and Management on human Error. *In* Probabilistic Safety Assessment and Management. Elsevier Science Publishing Co., New York. pp. 519-523.

WAKEFIELD, D. J., NASS, S. A. (1991): Application of Riskman 2.0 to the Beaver Valley Power Station IPE. *In* Probabilistic Safety Assessment and Management. Elsevier Science Publishing Co., New York. pp. 1019-1024.

WARNER, K. E. (1983): Reactions to percieved risk: Changes in the behavior of cigarette smokers. *In* The analysis of actual versus percieved risks. Advances in risk analysis 1. *Edited by* Covello, V. T., Flamm, W. G., Rodricks, J. V., Tradiff, R. G. Plenum Press, New York. pp. 183-201.

WELLS, J. E., RYAN, T. G. (1991): Integrating human Factors Expertise into the PRA Process. *In* Probabilistic Safety Assessment and Management. Elsevier Science Publishing Co., New York. pp. 577-582.

WHITE, J. A. ET AL. (1984): Principles of engineering economic analysis. Wiley & Sons, Chichester.

WICKMANN, D. (1990): Bayes-Statistik: Einsicht gewinnen und entscheiden bei Unsicherheit. Mathematische Texte 4. BI Wissenschaftsverlag, Mannheim.

WILLIAMS, J. C. (1991): The Management Assessment Guidelines in the Evaluation of Risk (Manager) Technique. *In* Probabilistic Safety Assessment and Management. Elsevier Science Publishing Co., New York. pp. 583-588.

WILLIAMS, M. A. (1988): An empirical test of cooperative game solution concepts. Behavioral Science **33**: 224-237.

WOO, G. (1991): The Risk Management of rare geological Hazards. *In* Probabilistic Safety Assessment and Management. Elsevier Science Publishing Co., New York. pp. 331-336.

WREATHALL, J., APPIGNANI, P. (1991): On Search for Measures of Maintenance Effectiveness in Safety. *In* Probabilistic Safety Assessment and Management. Elsevier Science Publishing Co., New York. pp. 31-35.

WREATHALL, J. ET AL. (1991): An Observation on Human Performance and Safety: The Onion Model of Human Performance Influence Factors. *In* Probabilistic Safety Assessment and Management. Elsevier Science Publishing Co., New York. pp. 25-30.

WYLER, E., BOHNENBLUST, H. (1991): Disaster Scaling - A multi-attribute Approach based on Fuzzy Set Theory. *In* Probabilistic Safety Assessment and Management. Elsevier Science Publishing Co., New York. pp. 665-670.

XANG, X., OKRENT, D. (1991): Expert System Reasoning under Uncertainty. *In* Probabilistic Safety Assessment and Management. Elsevier Science Publishing Co., New York. pp. 809-814.

ZADEH, L. A. (1968): Probability Measures of Fuzzy Events. J. Math. Analysis and Appl. **10**: 421-427.

ZELLER, J. ET AL. (1977) Starkniederschläge des schweizerischen Alpen- und Alpenrandgebietes 2. EAFV, Birmensdorf.

ZIMMERMANN, R. (1991): Institutional Response to environmental Risk and Safety. *In* Probabilistic Safety Assessment and Management. Elsevier Science Publishing Co., New York. pp. 557-562.

Leer - Vide - Empty

Anhang

Anhang A: Einschätzung der Entwicklung von Naturrisiken durch Sachversicherer, Tiefbau- und Forstämter

A1 Fragebogen

Die Daten für die in Abschnitt 4.2 dargestellte Untersuchung wurden mit dem folgenden Fragebogen erhoben:

---

1. Allgemeine Angaben

Bezeichnung Ihrer Stelle / Gesellschaft: _____

Zuständigkeit geographisch: _____

Zuständigkeit thematisch: _____

2. Art der Beschäftigung mit Naturgefahren

- ❑ planerisch (zum Beispiel Erstellung von Gefahrenkarten, Ausscheidung von Zonen nach Raumplanungsgesetz)
- ❑ Entwurf, Vorbereitung, Projektierung und Realisierung von Massnahmen gegen Naturgefahren (zum Beispiel Verbauungen)
- ❑ Gefahrenvorsorge:_____
- ❑ Katastrophenhilfe, Krisenbewältigung:_____
- ❑ Behebung von Schäden (finanziell u. materiell)
- ❑ Ueberwachung und Warnung
- ❑ Forschung:_____

3. Aufwand für den Bereich Naturgefahren

- ❑ Hauptaufgabe
- ❑ wichtiger Teilbereich der Arbeit
- ❑ Nebenaufgabe
- ❑ von untergeordneter Bedeutung

4. zeitliche Entwicklung

- ❑ Bereich Naturgefahren hat in den letzten 20 Jahren an Bedeutung gewonnen
  - ❑ finanziell
  - ❑ politisch
  - ❑ zeitlich
  - ❑ bezüglich _____
- ❑ Bereich Naturgefahren hat in den letzten 20 Jahren an Bedeutung verloren
  - ❑ finanziell
  - ❑ politisch
  - ❑ zeitlich
  - ❑ bezüglich _____

❑ Bereich Naturgefahren hat in den letzten 20 Jahren an Bedeutung weder gewonnen noch verloren
- ❑ finanziell
- ❑ politisch
- ❑ zeitlich
- ❑ bezüglich _____

5. Einschätzungen für die Zukunft

❑ Thematik wird mittel- bis längerfristig viel wichtiger werden, weil:

_____

_____

❑ Thematik wird mittel- bis längerfristig wichtiger werden, weil:

_____

_____

❑ Thematik wird mittel- bis längerfristig ihre Bedeutung behalten, weil:

_____

_____

❑ Thematik wird mittel- bis längerfristig weniger wichtig werden, weil:

_____

_____

❑ Thematik wird mittel- bis längerfristig wesentlich weniger wichtig werden, weil:

_____

_____

6. Bedeutung der Naturrisiken im Vergleich zu anderen Risiken

Bem.: Unter dem Begriff Risiko wird hier die technische Verwendung des Begriffes, also die Multiplikation von Eintrittshäufigkeit und Schadenausmass, verstanden. Dagegen bezeichnet der Terminus Gefahr nur einen Prozess, der Schaden verursachen kann, sagt aber nichts über die Häufigkeit und das Ausmass aus.

Als "andere" Risiken gelten zum Beispieldie technischen Risiken (Chemie etc.) oder Zivilisationsrisiken (Umweltbelastung, Krankheiten)

Im Vergleich zu solchen Risiken sind diejenigen durch Naturgefahren für uns

- ❑ vernachlässigbar
- ❑ gering
- ❑ vergleichbar
- ❑ grösser

7. Bedeutung der einzelnen Gefahrenprozesse

Bitte geben Sie durch Numerierung an, welche Prozesse für Ihre Arbeit wichtig und welche weniger wichtig sind (1 = wichtigster P.)

7.1. aktuell

- ❑ Steinschlag
- ❑ Felssturz
- ❑ Bergsturz
- ❑ Rutschung
- ❑ Murgang
- ❑ Uebersaarung, Geschiebetransport
- ❑ Wildbach, Hochwasser
- ❑ Lawinen
- ❑ Eisabbrüche

Von gleicher oder grösserer Bedeutung als diese Prozesse sind für uns folgende Naturgefahrenarten:_____

7.2. Zukünftige Entwicklung:
Wird sich die Wichtigkeit der einzelnen Gefahrenarten in Zukunft verändern, wenn sich zum Beispiel die Erdatmosphäre erwärmt (Zeithorizont 50 Jahre)?

❑ nein
❑ ja, an Bedeutung gewinnen werden:_____
_____, *weniger bedeutend werden:*_____
_____

8. Beurteilung der Wissensgrundlagen

Sind Sie der Ansicht, dass das heute verfügbare bzw. anwendbare Wissen zur Beurteilung der wesentlichen Gefahrenprozesse

❑ genügt, weil _____
_____

❑ verbessert werden muss, v.a. in folg. Bereichen:_____
_____
_____

❑ sehr stark verbessert werden muss, weil _____
_____

❑ Forschungsprioritäten liegen nach unserer Ansicht bei folgenden Themen:
1._____
2._____
3._____

9. Zusätzliche Angaben

Der Finanzbedarf für die unter Frage 7 erwähnten Gefahrenprozesse beträgt für unsere Institution jährlich rund _____ Fr. (entspricht einem Anteil von _____ % am Gesamtfinanzbedarf) und teilt sich wie folgt auf:

❑	Massnahmen zur Reduktion der Gefahr:	_____	Fr	_____	%
❑	Massnahmen zur Reduktion der Schäden:	_____	Fr	_____	%
❑	Katastrophenvorsorge (Material etc.):	_____	Fr	_____	%
❑	Katastrophenbewältigung:	_____	Fr	_____	%
❑	Schadendeckung	_____	Fr	_____	%
❑	planerischer Aufwand (Gefahrenkarten etc.):	_____	Fr	_____	%
❑	Forschung, Untersuchungen:	_____	Fr	_____	%
❑	andere:_____:	_____	Fr	_____	%

A2 Antworten

Nachstehend sind die Resultate der Umfrage, die als Grundlage für die Auswertung dienen, tabellarisch dargestellt.

vergangene Entwicklung

Angabe	gestiegen	gleichgebl.	abgenommen	Summe
Kategorie				
Versicherungen	12	2	0	14
%	85.71	14.29	0	100
Tiefbau	9	4	0	13
%	69.23	30.77	0	100
Forst	22	4	2	28
%	78.57	14.29	7.14	100
Summe	43	10	2	55
%	78.18	18.18	3.64	100
Region				
Alpen	10	2	0	12
%	83.33	16.67	0	100
Voralpen	21	3	1	25
%	84	12	4	100
Mittelland	7	2	1	10
%	70	20	10	100
Jura	4	3	0	7
%	57.14	42.86	0	100
Summe	42	10	2	54
%	77.78	18.52	3.70	100
Tätigkeit				
Planung	27	2	1	30
%	90	6.67	3.33	100
Massnahmen	24	7	1	32
%	75	21.88	3.13	100
Gefahrenvorsorge	22	4	0	26
%	84.62	15.38	0	100
Katastrophenhilfe, -bewältigung	12	4	0	16
%	75	25	0	100
Schadenbehebung	31	7	1	39
%	79.49	17.95	2.56	100
Ueberwachung, Warnung	20	2	1	23
%	86.70	8.70	4.35	100
Forschung	3	1	0	4
%	75	25	0	100
Summe	139	27	4	170
%	81.76	15.89	2.35	100
Bedeutung in der Arbeit				
Hauptaufgabe der Institution	5	1	0	6
%	83.33	16.67	0	100
wichtiger Teilbereich der Arbeit	23	1	1	25
%	92	4	4	100
Nebenaufgabe	12	2	0	14
%	85.71	14.29	0	100
von untergeordneter Bedeutung	3	6	1	10
%	30	60	10	100
Summe	43	10	2	55
%	78.18	18.18	3.64	100

zukünftige Entwicklung

	stark zun.	zunehm.	gleichbl.	abnehm.	stark abn.	Summe
Kategorie						
Versicherungen	2	7	4	1	0	14
%	14.29	50	28.57	7.14	0	100
Tiefbau	1	5	7	0	0	13
%	7.69	38.46	53.85	0	0	100
Forst	6	14	6	1	0	27
%	22.22	51.85	22.22	3.70	0	100
Summe	9	26	17	2	0	54
%	16.67	48.15	31.48	3.70	0	100
Region						
Alpen	1	5	6	0	0	12
%	8.33	41.67	50	0	0	100
Voralpen	7	11	6	0	0	24
%	29.17	45.83	25	0	0	100
Mittelland	0	7	2	1	0	10
%	0	70	20	10	0	100
Jura	0	3	3	1	0	7
%	0	42.86	42.86	14.29	0	100
Summe	8	26	17	2	0	53
%	15.09	49.06	32.08	3.78	0	100
verg. Entwicklung						
Bedeutung ist gestiegen	9	23	10	0	0	42
%	21.43	54.76	23.81	0	0	100
Bedeutung ist gleichgeblieben	0	2	7	1	0	10
%	0	20	70	10	0	100
Bedeutung ist gesunken	0	1	0	1	0	2
%	0	50	0	50	0	100
Summe	9	26	17	2	0	54
%	16.67	48.15	31.48	3.70	0	100
Bedeutung in der Arbeit						
Hauptaufgabe der Institution	1	3	2	0	0	6
%	16.67	50	33.33	0	0	100
wichtiger Teilbereich der Arbeit	5	13	7	0	0	25
%	20	52	28	0	0	100
Nebenaufgabe	3	6	4	0	0	13
%	23.08	46.15	30.77	0	0	100
von untergeordneter Bedeutung	0	4	4	2	0	10
%	0	40	40	20	0	100
Summe	9	26	17	2	0	54
%	16.67	48.15	31.48	3.70	0	100
Tätigkeit						
Planung	4	17	8	1	0	30
%	13.33	56.67	26.67	3.33	0	100
Massnahmen	7	15	10	0	0	32
%	21.88	46.88	31.25	0	0	100
Gefahrenvorsorge	6	12	8	0	0	26
%	23.08	46.15	30.77	0	0	100
Katastrophenhilfe, -bewältigung	1	6	9	0	0	16
%	6.25	37.5	56.25	0	0	100
Schadenbehebung	5	20	13	1	0	39
%	12.82	51.28	33.33	2.56	0	100
Ueberwachung, Warnung	3	13	7	0	0	23
%	13.04	56.52	30.43	0	0	100
Forschung	2	1	1	0	0	4
%	50	25	25	0	0	100
Summe	28	84	56	2	0	170
%	16.47	49.41	32.94	1.18	0	100

Bedeutung vergl. m. and. R.

	zu vernachl.	gering	vergleichbar	grösser	Summe
Kategorie	0	1	2	3	
Versicherungen	0	5	6	1	12
%	0	41.67	50	8.33	100
Tiefbau	1	4	3	5	13
%	7.69	30.77	23.08	38.46	100
Forst	3	9	11	4	27
%	11.11	33.33	40.74	14.81	100
Summe	4	18	20	10	52
%	7.69	34.62	38.46	19.23	100
Region					
Alpen	0	2	4	6	12
%	0	16.67	33.33	50	100
Voralpen	1	8	10	5	24
%	4.17	33.33	41.67	20.83	100
Mittelland	2	5	3	0	10
%	20	50	30	0	100
Jura	1	3	2	0	6
%	16.67	50	33.33	0	100
Summe	4	18	19	11	52
%	7.69	34.62	36.54	21.15	100
vergangene Entwicklung	0	1	2	3	
Bedeutung ist gestiegen	2	14	17	10	43
%	4.65	32.56	39.53	23.26	100
Bedeutung ist gleichgeblieben	1	4	1	3	9
%	11.11	44.44	11.11	33.33	100
Bedeutung ist gesunken	1	0	1	0	2
%	50	0	50	0	100
Summe	4	18	19	13	54
%	7.41	33.33	35.19	24.07	100

wichtigster Gefahrenprozess

	SS	FS	BS	RU	MU	ÜS	WB	HW	LA	ES	Sum
Kategorie											
Versicherungen	0	0	0	3	1	0	4	4	0	0	12
%	0	0	0	25	8.3	0	33.3	33.3	0	0	100
Tiefbau	0	1	0	5	0	0	6	1	1	0	14
%	0	7.1	0	35.7	0	0	42.9	7.1	7.1	0	100
Forst	1	0	0	15	1	0	1	1	8	0	27
%	3.7	0	0	55.6	3.7	0	3.7	3.7	29.6	0	100
Summe	1	1	0	23	2	0	11	6	9	0	53
%	1.9	1.9	0	43.4	3.8	0	20.8	11.3	17.0	0	100
Region											
Alpen	0	0	0	1	1	0	4	0	6	0	12
%	0	0	0	8.3	8.3	0	33.3	0	50	0	100
Voralpen	0	1	0	15	1	0	3	1	3	0	24
%	0	4.2	0	62.5	4.2	0	12.5	4.2	12.5	0	100
Mittelland	0	0	0	4	0	0	2	4	0	0	10
%	0	0	0	40	0	0	20	40	0	0	100
Jura	1	0	0	3	0	0	2	1	0	0	7
%	14.3	0	0	42.9	0	0	28.6	14.3	0	0	100
Summe	1	1	0	23	2	0	11	6	9	0	53
%	1.9	1.9	0	43.4	3.8	0	20.8	11.3	17.0	0	100

SS: Steinschlag, FS: Felssturz, BS: Bergsturz, RU: Rutschung, MU: Murgang, ÜS: Ueberesarung, WB: Wildbach, HW: Hochwasser, LA: Lawinen, ES: Eissturz

relative Wichtigkeit Prozesse

	ändert nicht	ändert	Summe
Kategorie			
Versicherungen	2	10	12
%	16.67	83.33	100
Tiefbau	4	9	13
%	30.77	69.23	100
Forst	5	18	23
%	21.74	78.26	100
Summe	11	37	48
%	22.92	77.08	100
Region			
Alpen	0	10	10
%	0	100	100
Voralpen	4	18	22
%	18.18	81.82	100
Mittelland	4	5	9
%	44.44	55.56	100
Jura	3	3	6
%	50	50	100
Summe	11	36	47
%	23.40	76.60	100

Beurteilung Kenntnisse

	genügend	verbessern	stark verb.	Summe
Kategorie				
Versicherungen	3	7	0	10
%	30	70	0	100
Tiefbau	7	5	1	13
%	53.85	38.46	7.69	100
Forst	7	12	5	24
%	29.17	50	20.83	100
Summe	17	24	6	47
%	36.17	51.06	12.77	100
Region				
Alpen	4	4	3	11
%	36.36	36.36	27.27	100
Voralpen	7	12	3	22
%	31.82	54.55	13.64	100
Mittelland	4	4	0	8
%	50	50	0	100
Jura	2	3	0	5
%	40	60	0	100
Summe	17	23	6	46
%	36.96	50	13.04	100
vergangene Entwicklung				
Bedeutung ist gestiegen	9	23	6	38
%	23.68	60.53	15.79	100
Bedeutung ist gleichgeblieben	6	1	0	7
%	85.71	14.29	0	100
Bedeutung ist gesunken	2	0	0	2
%	100	0	0	100
Summe	17	24	6	47
%	36.17	51.06	12.77	100

zukünftige Entwicklung				
stark zunehmend	1	6	1	8
%	12.5	75	12.5	100
zunehmend	8	14	3	25
%	32	56	12	100
gleichbleibend	7	4	2	13
%	53.85	30.77	15.38	100
abnehmend	1	0	0	1
%	100	0	0	100
Summe	17	24	6	47
%	36.17	51.06	12.77	100
Bedeutung in der Arbeit				
Hauptaufgabe der Institution	2	3	0	5
%	40	60	0	100
wichtiger Teilbereich der Arbeit	6	11	6	23
%	26.09	47.83	26.09	100
Nebenaufgabe	4	8	0	12
%	33.33	66.67	0	100
von untergeordneter Bedeutung	5	2	0	7
%	71.43	28.57	0	100
Summe	17	24	6	47
%	36.17	51.06	12.77	100

Anhang B: Klimaentwicklung seit dem Jahr 1500

In seiner Arbeit zur Klimageschichte der Schweiz unterscheidet PFISTER (1984) für die Zeit von 1525 bis 1860 sieben Perioden mittlerer Dauer.

- 1530 bis 1564: Warmphase , vergleichbar mit dem Wärmegipfel des 20. Jhd., meist warme Spätfrühlings- und Sommermonate in Verbindung mit kühlen und trockenen Wintern
- 1565 bis 1629: markante Reduktion der Temperatur in allen Jahreszeiten kombiniert mit einer Konzentration der Niederschläge auf die Sommermonate (wobei zwischen 1561 und 1576 z.T sehr grosse Schneemengen fielen), Ausdehnung der kalten Jahreszeit in den Frühling hinein, Verminderung der Sommertemperatur um ca. 1,3°; diese Phase ist durch eine extreme Variation teilweise von Jahr zu Jahr bzw. sogar innerhalb eines Jahres gekennzeichnet
- 1630 bis 1687: Periode mit niederschlagsarmen Wintern und Frühlingen (ohne Kompensation im Sommer/Herbst), ab 1677 Zunahme der Anzahl extrem kalter Monate, stark fluktuierender Frühjahrstemperatur und weitgehendem Fehlen trockenheisser oder nasskalter Sommer
- 1688 bis 1701: vermutlich aufgrund eines Einstrahlungsrückganges sehr kalte Periode mit simultan beginnender Abkühlung aller Jahreszeiten (wenn auch im Sommer wenig ausgeprägt), teilweise fast niederschlagsfreien Wintern, Zunahme der Niederschläge im Herbst
- 1702 bis 1730: Wiedererwärmung, in der zweiten Hälfte der Periode sind die Frühjahrs- und Sommermonate im Schnitt gleich warm wie heute oder sogar wärmer, auch die Wintertemperaturen steigen wieder auf die Werte vor der Kaltperiode (wobei immer noch vereinzelt strenge Winter verzeichnet werden), sie sind aber teilweise sehr schneereich
- 1731 bis 1811: Phase mit kontinentalen Klimatendenzen, kalte und trockene Winter wechseln mit warmfeuchten Sommern ab, denen ein trockener Herbst folgt; v.a. gegen Ende der Periode ist die Niederschlagssumme markant geringer als heute
- 1812 bis 1860: bezüglich Dauer und Ausmass des Wärmemangels ausgeprägteste Kaltperiode seit 1525, im ersten Drittel zu trocken, im letzten zu feucht, Winter kühl und trocken, im ersten Jahrzehnt ausserordentlich viele kalte Sommer

Vergleichende Attribute (zu trocken, zu kalt, Wärmemangel) beziehen sich auf die in der Zeit von 1901 bis 1960 gemessenen Mittelwerte.

Anhang C: Wichtigkeit verschiedener Anforderungen an ein Risikoanalyseverfahren

In der folgenden Matrix wird die Wichtigkeit der verschiedenen Anforderungen für die Eignung eines Verfahrens zur Analyse von Naturrisiken durch paarweisen Vergleich ermittelt.

	KOMB	INTE	STOC	QUAL	RAUM	UNVO	VERT	NEUE	MODE	GEFA	VERG	MANA	KOST	AUFW
KOMB														
INTE	0													
STOC	–	–												
QUAL	–	–	+											
RAUM	0	0	+	+										
UNVO	–	–	0	–	–									
VERT	0	0	+	+	0	+								
NEUE	–	–	0	–	–	0	–							
MODE	0	0	+	0	–	+	0	+						
GEFA	–	–	–	–	–	–	–	0	–					
VERG	–	–	0	–	–	0	–	+	–	+				
MANA	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+			
KOST	0	0	+	0	–	+	–	+	–	+	–	–		
AUFW	0	0	+	0	–	+	–	+	–	+	–	–	0	
NACH	+	+	+	+	+	+	+	+	–	+	–	–	+	+

Die Symbole bezeichnen die Wichtigkeit der Anforderung in der Zeile verglichen mit derjenigen der Anforderung in der Spalte. Die unterlegten Felder unterhalb der Hauptdiagonale bezeichnen Vergleiche, welche logisch widersprüchlich sind.

Anhang D: Erfüllungsgrade verschiedener Analyseverfahren

Nachstehend ist in tabellarischer Form dargestellt, wie gut die in Abschnitt 5.3 vorgestellten Risikoanalyseverfahren die Anforderungen gemäss Abschnitt 5.5.2 erfüllen. x_i ist der Erfüllungsgrad (0 xi 1).

Checklistenverfahren CHKL

Anford.	x_i	*Bemerkungen, Stichworte*
KOMB	0.15	nur über Einbezug in Liste möglich, probabilistisch gar nicht
INTE	0.3	Systematik d. Integration fehlt meist (willkürlich)
STOC	0.25	Abbildung nicht formal, sondern willkürlich
QUAL	0.1	Transformation qual. ↔ quant. praktisch nicht möglich, nur qual.
RAUM	0.15	formale Abbildung der räumlichen Variabilität nicht gut möglich
UNVO	0.4	Einbezug einfach, Gefahr grober Fehler im Resultat gross
VERT	0.05	a priori nicht von Interesse, binäre Annahmen (in Liste od. nicht)
NEUE	0.15	Update ändert in der Regel die Struktur der gesamten Liste
MODE	0.9	sofern nicht rein stochastische, sondern kausale Modelle
GEFA	0.5	verbal einfach, aber schwierig zu deuten (Interpretationsspielraum gross)
VERG	0.2	Folgenanalyse fehlt normalerweise, Analyse systemspezifisch
MANA	0.05	praktische keine Aussage über die einzelnen Risikobeiträge
KOST	0.9	sehr billig
AUFW	0.95	schnell und ohne grosse zusätzl. Humanressourcen machbar
NACH	0.4	wiederholbar, aber nicht wirklich aktualisierbar

bisherige Anwendung bei NG: selten als formales Verfahren

Automatisierbarkeit: praktisch nicht machbar wegen hoher Systemspezifität der Checkliste, bringt wenig Einsparungen

allg.: wird bei komplexen Systemen rasch problematisch (grosse Anzahl Listen, Gefahr von Lücken)

Preliminary Hazard Analysis PHA

Anford.	x_i	*Bemerkungen, Stichworte*
KOMB	0.15	stat. indirekt, probabilistisch nur sehr beschränkt, nicht formell
INTE	0.3	objektive Information soweit Systembeschreibung stimmt
STOC	0.2	geht von deterministischen Sys.-Elementen aus, nicht formal möglich
QUAL	0.3	quant. Info qual. verwertet, Transformation retour nur sehr bedingt möglich (ordinal), da quant. Formalismus fehlt
RAUM	0.35	möglich, soweit als Subsysteme darstellbar
UNVO	0.5	Einbezug als Blackbox einfach, Gefahr grober Fehler gross
VERT	0.35	möglich bei Stoffflüssen, aber nicht formalmathemat. richtig
NEUE	0.4	wenn keine wesentliche Aenderung in Systemkonstellation
MODE	0.95	exkl. stochast. Modelle prakt. alles möglich
GEFA	0.4	Konzept der Stoffflüsse u. Komponenten nicht einfach übertragbar auf Naturereignisse
VERG	0.3	meist nur level-1, oft systemspezifisch, bei geeigneter Indikatorenwahl bedingt kompatibel
MANA	0.2	nur grobe Rangierung von Risiken möglich, keine Quantifizierung
KOST	0.85	bei bestehenden Systemen ev. bereits erhebliche Kosten (Beschreibung)
AUFW	0.85	in Projekten Humanressourcen i.d.R. schon vorhanden
NACH	0.8	sofern Stoffe und Systemstruktur erhalten bleiben

bisherige Anwendung bei NG: als formales Verfahren bisher nicht verwendet

Automatisierbarkeit: praktisch nicht möglich, da in hohem Masse systemspezifisch aufgebaut

allg.: sehr stark auf noch nicht bestehende Systeme ausgerichtet

Failure Mode and Effect Analysis FMEA

Anford.	x_i	*Bemerkungen, Stichworte*
KOMB	*0.25*	*sehr bedingt, hängt von Zielsetzung ab, nur beschränkt formal richtig*
INTE	0.2	Systematik der Integration fehlt, subj. Info selten als W'keit geg.
STOC	0.15	geht von weitestgehend deterministischem Systemverhalten aus
QUAL	0.3	quantitativer Informationsgehalt nur beschränkt verwertbar
RAUM	0.45	sofern diese als Komponenten sinnvoll definierbar sind
UNVO	0.1	Effects von Lücken lassen sich nicht ermitteln
VERT	0.05	geht von 0/1-Zuständen (failure) aus
NEUE	0.35	bedingt oft teilweise Wiederholung (zum Beispiel bei neuen Interaktionen)
MODE	0.6	Modelle müssen für Komponenten 0/1-Output liefern können
GEFA	0.75	in der Form von "wenn-dann"-Aussagen Rückschlüsse auf kritische Subsysteme möglich
VERG	0.1	level-1, gibt Risiken nicht als Wahrscheinlichkeiten
MANA	0.5	risikorelevante Subsysteme qualitativ eruierbar
KOST	0.5	Kosten z. Bestimmung d. failure-modes bei NG ev. sehr hoch
AUFW	0.5	bedingt in hohem Masse Denken in Syst. u. damit ev. zusätzl. Humanressourcen
NACH	0.5	revidierbar ja, aktualisierbar nur sehr bedingt

bisherige Anwendung bei NG: nicht als formale Methodik

Automatisierbarkeit: wegen grosser Systemspezifität sehr gering

allg.: ev. verändert verwendbar für Dispositionsanalysen mit dem "wenn-dann"-Denkschema (zum Beispiel bei Prozessen mit Schwellenwerten)

Hazard and Operability Study HAZOP

Anford.	x_i	*Bemerkungen, Stichworte*
KOMB	0.25	über Wahrscheinlichkeit anomaler Bedingungen teilweise mögl.
INTE	0.2	ist prinzipiell f. Input (Anomalie) möglich, aber in hohem Masse systemspezifisch, bringt nur beschränkten Mehrnutzen
STOC	0.2	setzt prinzipiell deterministische Kausalketten voraus
QUAL	0.35	Wert quant. Inputs durch qual. Betrachtung d. Kausalketten nicht umsetzbar
RAUM	0.1	widerspricht dem Konzept d. Knoten (wo Abweichung messen?)
UNVO	0.2	grosse Gefahr, dass relevante Knoten nicht analysiert werden
VERT	0.1	Abweichungen binär angenommen
NEUE	0.7	durch Weglassen / Hinzufügen von Störungsketten
MODE	0.55	Normalzustand und Abweichung müssen sinnvoll definiert sein
GEFA	0.75	gibt direkt mögl. Ereignisse
VERG	0.35	i.d.R. level-1, Operability ist für Folgen selten sinnvoll definierbar
MANA	0.25	zeigt mögl. Interventionen, aber nicht deren Wirksamkeit
KOST	0.5	viel Aufwand bei Definition der relevanten Knoten
AUFW	0.4	bedingt Denken im System, Knotenkonzept erfordert meist zusätzliche Humanressourcen
NACH	0.85	aktualisierbar durch Definition neuer Knoten, wenn Struktur bestehender Kausalketten dadurch nicht ändert

bisherige Anwendung bei NG: nicht als formale Methodik

Automatisierbarkeit: wegen hoher Spezifität der einzelnen Knoten und Kausalketten minimal

allg.: Konzept eignet sich ev. zur Entwicklung von Ueberwachungseinrichtungen (angepasstes Design durch Messung am entspr. Knoten)

Zürich Hazard Analysis ZHA

Anford.	x_i	*Bemerkungen, Stichworte*
KOMB	0.3	i.d.R. nicht formal richtig umsetzbar durch Struktur d. Analyse
INTE	0.15	Möglichkeiten zur Verifikation fehlen weitgehend, da es sich um eine ganze level-3-Analyse handelt
STOC	0.25	bedingt über Kategorisierung d. Häufigkeit
QUAL	0.35	Einbezug problemlos, alle Info auf halbquant. Form gebracht, dadurch starke Reduktion des Informationswertes
RAUM	0.8	falls in der Beschreibung des Gesamtsystems integrierbar
UNVO	0.1	ganze Ereignisketten ev. übersehen, Gefahr grober Fehler
VERT	0.15	Klassierung eliminiert Verteilungscharakter
NEUE	0.75	durch neue Elemente od. Verschiebungen im Raster einfach
MODE	0.75	gewahrt, wenn Modelle Klassierung zulassen
GEFA	0.5	keine eigentliche Ereignisanalyse
VERG	0.9	entspricht der Form d. level-3-Analyse, Aussagen pauschal
MANA	0.5	gibt relative Bedeutung der einzelnen Ereignisketten, zeigt keine Einflussmöglichkeiten
KOST	0.35	erfordert sehr gute Systembeschreibung mit nachfolgender Abstraktion
AUFW	0.35	v.a. für Folgenanalyse i.d.R. zusätzl. Humanressourcen nötig
NACH	0.85	Raster ändert nicht

bisherige Anwendung bei NG: nicht unter diesem Namen, aber in dieser Form schon vermehrt angewendet

Automatisierbarkeit: gering, da in hohem Masse systemspezifisch und nicht auf Aussagenlogik beruhend

allg.: gut verwendbar zum Beispiel zum Erstellen von Grundlagen für planerische und politische Entscheidungen, da Resultate einfach und sofort ersichtlich sind

Fault Tree Analysis FTA

Anford.	x_i	*Bemerkungen, Stichworte*
KOMB	0.85	stat. Input für probab. Analyse, ist formell richtig möglich
INTE	0.65	ist möglich, erfordert aber i.d.R. gewisse Vorgaben (zum Beispiel a-priori-Wahrscheinlichkeit beim Bayes-Theorem)
STOC	0.65	sofern Konstellation dadurch nicht stochastisch wird (Fehlerbäume müssen stabil bleiben)
QUAL	0.7	indirekt möglich (zum Beispiel mit Fuzzy-Logik)
RAUM	0.35	müssen als Komponenten oder Vorfälle definierbar sein
UNVO	0.5	als Blackboxes möglich, erlaubt Sensitivitätsanalysen (Minmax-Szenarien)
VERT	0.75	in diskretisierter Form handhabbar
NEUE	0.65	theoretisch möglich, da auf logischen Verknüpfungen aufbauend, praktisch schwierig realisierbar)
MODE	0.9	grundsätzlich gegeben, ev. quantitativer Modelloutput erforderl.
GEFA	0.35	nur bedingt geschlossen darstellbar, wird sehr schnell komplex
VERG	0.55	i.d.R. nicht als level-3 durchgeführt, aber prinzipiell möglich
MANA	0.75	gute Aussagen über relative Beiträge einzelner Pfade, zeigt Eingriffsmöglichkeiten
KOST	0.3	sehr detaillierte Systembeschreibung erforderlich
AUFW	0.4	komplexe Analysen bedingen meist Beizug von Spezialisten
NACH	0.85	Aktualisierbarkeit erhöht den strukturellen Aufwand d. Analyse

bisherige Anwendung bei NG: sehr wenig auf Ereignisse, vereinzelt zur Folgenanalyse

Automatisierbarkeit: zu grossen Teilen automatisierbar, da auf Aussagenlogik beruhend (Programme vorhanden)

allg.: Verwendung zur Dispositionsanalyse gut möglich (mit Ereignis als Top-Event)

Event Tree Analysis ETA

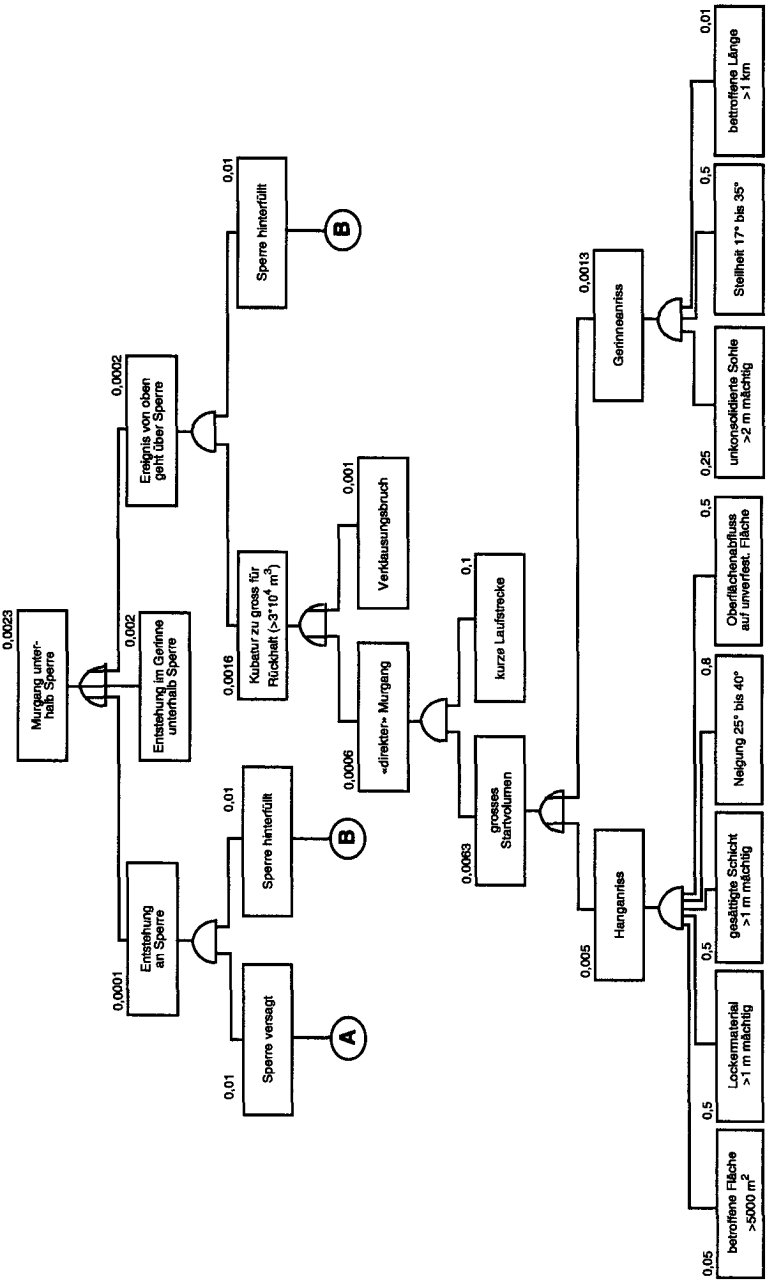
Anford.	x_i	*Bemerkungen, Stichworte*
KOMB	0.9	Einbezug probab. Information zum Beispiel aus FTA, stat. aus Daten formal richtig mögl.
INTE	0.55	möglich, ev. sind gewisse Vorgaben nötig (zum Beispiel a-priori-W'keit beim Bayes-Theorem)
STOC	0.5	Pfade dürfen dadurch nicht ändern (d.h. ET müssen strukturell stabil sein)
QUAL	0.6	möglich (zum Beispiel mit Fuzzy-Logik), Aufwand eher geringer als bei FTA, da vorwärtsrechnend
RAUM	0.8	prinzipiell problemlos möglich, reduziert aber unter Umständen Präzision d. Aussage
UNVO	0.45	ev. mit Blackbox Sensitivitätsanalyse möglich, bei Lücken betreffend Systemkenntnis ev. grosse Fehler (total neue Pfade)
VERT	*0.95*	*diskretisiert problemlos, kontinuierlich theoret. ebenfalls möglich (Anzahl* Pfade →)
NEUE	0.55	ev. zu ganz anderen Pfaden u. v.a. W'keiten führend
MODE	0.95	fast ohne Einschränkung gegeben
GEFA	0.35	wenn nicht geschlossen darstellbar sehr viele Ausgänge
VERG	0.95	problemlos als level-3-Analyse durchführbar, Indikatoren frei wählbar
MANA	0.8	retrospektiv sind einzelne Beiträge bestimmbar, zeigt Eingriffsmöglichkeiten auf
KOST	0.15	Kosten sehr hoch, v.a. wegen Systembeschreibung und ev. vorgelagerten FTA
AUFW	0.35	komplexe quantitative Analysen praktisch nur durch Spezialisten möglich
NACH	0.8	gegeben, bedingt aber meist grossen Aufwand im Unterhalt

bisherige Anwendung bei NG: *als formelle Methode praktisch nie*

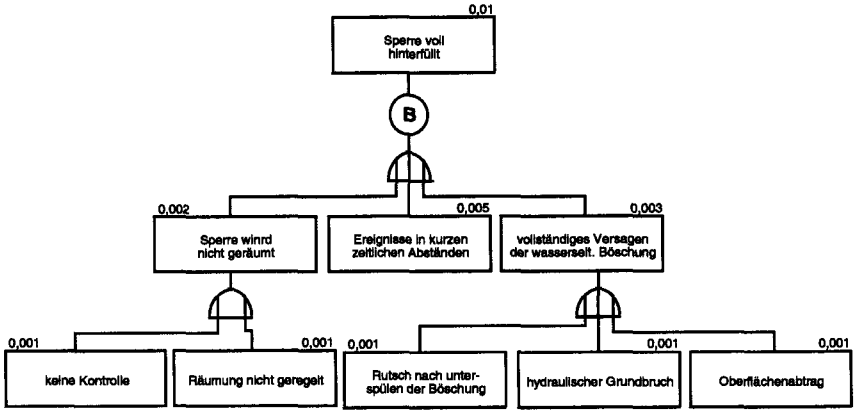
Automatisierbarkeit: sehr gut, da auf Aussagenlogik basierend (Programme vorhanden)

allg.: für level-3-Analysen bei NG durchaus geeignet (Ereignis als initiating event), sehr flexibel in der Darstellung verschiedener Ereignisausmasse

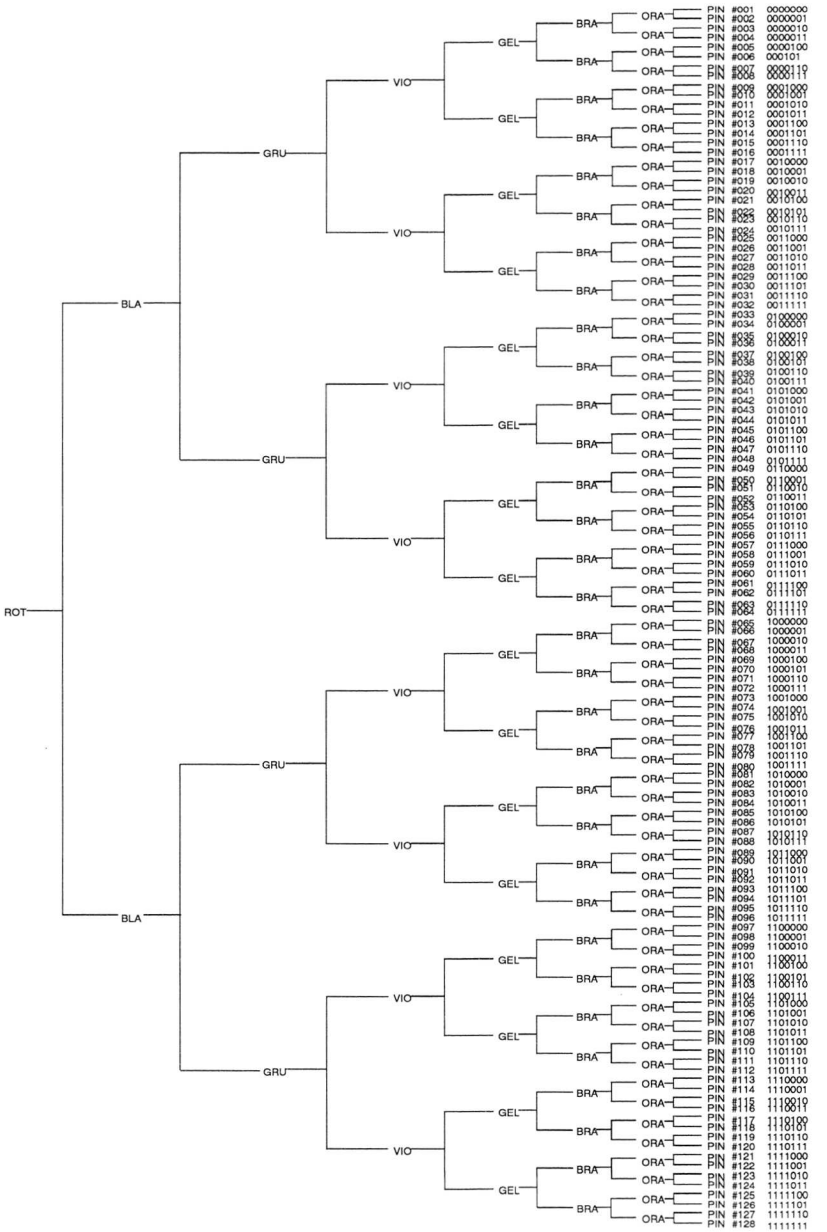
Anhang E: Beispiel eines FT zur Dispositionsanalyse



Die Graphik auf der vorhergehenden Seite zeigt den Fehlerbaum, der zur Abklärung der Murgangdisposition im Fallbeispiel (Abschnitt 5.7) eingesetzt wurde. An den Stellen A und B wurde die Baumstruktur der Uebersichtlichkeit halber getrennt. Die untenstehende Graphik zeigt den Teilfehlerbaum B.



Anhang F: Beispiel eines ET zur Ereignisablauf- und Folgenanalyse



Anhang G: Kooperative Spieltheorie als Allokationsschema

Im Zusammenhang mit Massnahmen gegen Naturrisiken stellt sich oft die Frage, wie die dafür notwendigen Ressourcen beschafft bzw. die verfügbaren Mittel eingesetzt werden sollen. Einen vielversprechenden Ansatz zur Lösung solcher Allokationsprobleme stellt die kooperative Spieltheorie dar. Sie geht von einer Menge von «Spielern» aus, denen verschiedene Strategien zur Verfügung stehen. Sie können gegenseitig Informationen austauschen und durch Bildung von Koalitionen ihre «Auszahlung», d.h. den Spielertrag, erhöhen. Koalitionen sind nur realisierbar und stabil, wenn die zusätzliche Auszahlung nach einem Schlüssel verteilt wird, der von ihren Mitgliedern akzeptiert wird. Für kein Mitglied darf ein genügender Antrieb bestehen, aus einer Koalition auszusteigen (i.e. die "propensity to disrupt" darf nicht zu gross werden).

Die Spieltheorie kennt verschiedene derartige Verteilungsschlüssel. Einige von ihnen sind in veränderter Form auch in Richtlinien zur Wirtschaftlichkeitsprüfung übernommen worden. Im folgenden sollen die wichtigsten in Frage kommenden Allokationskonzepte kurz vorgestellt werden. Weitere Angaben sind in der Literatur zu finden (zum Beispiel Aumann 1989).

Eine Funktion

$$V: S \rightarrow V(S) \qquad \text{mit } S = \text{Koalition von Spielern, } S \subseteq I$$

$$f \rightarrow \mathbb{R} \qquad \text{mit } f = \text{Potenzmenge von } I$$

heisst charakteristische Funktion und ist ein 2^n-Vektor. V(S) wird Wert der Koalition S genannt (Aumann 1989).

Die charakteristische Funktion hat insbesondere folgende Eigenschaften:

$V(\varnothing) = 0$ (Koalition ohne Mitglieder hat Wert 0)

$V(S \cup T) \quad V(S) + V(T)$, falls $S \cap T = \varnothing$ (sog. Superadditivität)

Beispiel: Gegeben sei folgendes Spiel: Spieler 1 hat nur eine Strategie f1, Spieler 2 hat Strategien h1 und h2. Die Auszahlungen in Abhängigkeit der gewählten Strategie sind:

	h1	h2
f1	(0, -1000)	(10, 0)

wobei die erste Zahl den Gewinn von Spieler 1, die zweite jenen von Spieler 2 darstellt.

Die charakteristische Funktion lautet nun

$$V(\{1\}) = V(\{2\} = 0, V(\{1,2\}) = 10$$

Die Koalition aus beiden Spielern kann sich also einen Gewinn von 10 sichern, während sich jeder Spieler individuell nur den Gewinn 0 sichern kann.

Ein Auszahlungsvektor

$$\underline{x} = (x_1, x_2, x_3, \ldots, x_n) \in I^n$$

ist eine Imputation des Spieles (I, V) falls folgende zwei Bedingungen erfüllt sind:

$x_i \geq V(\{i\}) \; \forall \; i \in I$ individuelle Rationalität

(jeder Spieler erhält nach diesem Schema mindestens soviel, wie er sich alleine sichern kann)

$\sum_{i \in I} x_i = V(I)$ kollektive Rationalität, Pareto-Effizienz

wobei I die Menge der Spieler und V wiederum den Wert einer Koalition (vgl. oben) bezeichnet. Pareto-Effizienz bedeutet, dass kein Spieler seine Auszahlung verbessern kann und gleichzeitig diejenigen der übrigen Spieler mindestens gleich gut bleiben (d.h. die gesamte mögliche Auszahlung wird realisiert und verteilt).

Beispiel: Eine isolierte Liegenschaft soll mit einer Abwasser- (A), einer Strom- (S) und einer Telephonleitung (T) erschlossen werden. Alle Leitungen sollen in Gräben verlaufen. Die Kostenvoranschläge für die Arbeiten ergeben folgendes Bild:

Bau Leitung	Kosten (Fr.)
A	15'000.--
S	12'000.--
T	18'000.--
A u. S	20'000.--
A u. T	27'000.--
S u. T	25'000.--
A u. S u. T	35'000.--

Die maximal mögliche Einsparung bei gleichzeitiger Realisierung aller Leitungen beträgt somit Fr. 10'000.--.

Eine Imputation liegt dann vor, wenn die auf eine Leitung umgelegten Kosten tiefer sind als jene, die bei isolierter Erstellung anfallen (individuelle Rationalität) und die Summe der umgelegten Kosten Fr. 35'000.-- ergibt (Pareto-Effizienz). Diese Bedingungen werden zum Beispiel erfüllt durch

Imputation	Kostenteil A	Kostenteil S	Kostenteil T
$\underline{x}^{(1)}$	11'000.--	8'500.--	15'500.--
$\underline{x}^{(2)}$	7'000.--	11'000.--	17'000.--

Es ist aber sofort ersichtlich, dass die Lösung $\underline{x}^{(2)}$ für S u. T nicht ideal ist, da die Koalition {S, T} ihre Leitungen für Fr. 25'000.-- realisieren könnte. Individuelle und kollektive Rationalität sind also nicht hinreichend für ein stabiles Allokationsmodell.

Ein Spiel (I, V) heisst wesentlich, falls gilt

$$V(I) > \sum_{i \in I} V(\{i\})$$

Strategisch äquivalent sind zwei Spiele (I, U) und (I, V), wenn gilt:

$$\exists\ r, \alpha_1, \ldots, \alpha_n = \text{const. mit}$$

$$U(S) = r \cdot V(S) \qquad r = \text{Skalierungsgrösse}$$

$$U(S) = r \cdot V(S) + \sum_{i \in S} \alpha_i \qquad \forall\ S \subseteq I$$

Die zweite Bedingung besagt, dass einmalige Transferzahlungen vor Spielbeginn den Ausgang nicht beeinflussen.

Ein Spiel (I, U) ist auf [0, 1] normiert, falls gilt

$$U(\{i\}) = 0 \qquad \forall\ i \in I$$

$$U(\{I\}) = 1$$

Es lässt sich nun zeigen, dass jedes wesentliche Spiel genau einem Spiel in der [0, 1]-Normierung strategisch äquivalent ist.

Damit ist es möglich, Spiele mit Auszahlungen ganz verschiedenen Ausmasses miteinander zu vergleichen. In der Regel nimmt man für die Herleitung von numerischen Werten für die Allokationsmodelle denn auch diese [0, 1] Normierung als Grundlage.

Eine allgemein gültige Vorschrift, wie ein Allokationskonzept auszusehen hat, gibt es nicht. Gerade der Anspruch, dass mit einem solchen Schlüssel reale wirtschaftliche Probleme bearbeitbar sein sollen, macht jeden Variante für Kritik anfällig. Die beschriebenen Lösungsvorschläge stellen nur eine Auswahl der bestehenden Konzepte dar; allerdings sind die wichtigsten darin enthalten.

Ein erstes Lösungskonzept ist der Kern (Core). Er ist wie folgt definiert:

Der Kern C eines Spiels (I, V) ist die Menge aller Imputationen x, für die gilt:

$$\sum_{i \in S} x_i \geq V(S)$$

Neben der individuellen und kollektiven Rationalität haben die Imputationen im Kern auch der sog. Gruppenrationalität zu genügen, welche besagt, dass keine Gruppierung S ein anderes Auszahlungsschema $\underline{x}'$ durchsetzen kann, das für ihre Mitglieder günstiger ist als $\underline{x}$.

Der Kern besteht nur aus jenen Auszahlungsvektoren, gegen die keine Einwände (im Sinne einer Verwerfung) vorgebracht werden können. Damit handelt es sich hier um ein sehr strenges Allokationsschema, dass praktisch keinen Spielraum für Verhandlungen lässt.

Es ist sofort ersichtlich, dass von den im obigen Beispiel genannten Imputationen $\underline{x}^{(1)}$ und $\underline{x}^{(2)}$ nur erstere im Kern liegt, da die Koalition {S, T} ein Auszahlungsschema durchsetzen kann, welches geringere Kosten aufweist als $\underline{x}^{(2)}$.

Allgemein gilt für ein Spiel mit drei Spielern in [0, 1]-Normierung:

$V(\emptyset) = 0$

$V(\{i\}) = 0 \qquad \forall\, i \in \{1, 2, 3\}$

$V(\{1, 2, 3\}) = 1$

$V(\{2, 3\}) = a_1;\ V(\{1, 3\}) = a_2;\ V(\{1, 2\}) = a_3$

Wegen der Superadditivität gilt ferner

$0 \quad a_i \quad 1,\ i = 1, 2, 3$

Eine Imputation $\underline{x}$ liegt im Kern, wenn gilt:

$x_1, x_2, x_3 \quad 0$

$x_1 + x_2 + x_3 = 1$

$x_2 + x_3 \quad a_1; x_1 + x_3 \quad a_2; x_1 + x_2 \quad a_3$

Daneben gilt

$$C \neq \emptyset \Leftrightarrow \sum_{i=1}^{3} a_i \leq 2$$

Wenn also die Zweierkoalitionen zu stark sind, ist der Kern leer. Es zeigt sich aber in der ökonomischen Praxis, dass solche Konstellationen sehr selten auftreten. Trotzdem wurde der Kern als Allokationskonzept für wirtschaftliche Fragestellungen lange Zeit vernachlässigt, da er nicht in jedem Fall eine Lösung liefert (Müller 1992).

Das nächste Lösungskonzept, der Shapley-Wert, weist diesen (theoretischen) Mangel nicht auf. Er basiert auf einem Axiomensystem, das jedem Spiel $\Gamma = (I, V)$ genau einen Auszahlungsvektor $\underline{x} \in \mathbb{R}^n$ zuweist.

Dabei gelten folgende Definitionen:

Zwei Spieler i, j sind Stellvertreter bezüglich Γ, wenn $V(S \cup \{i\}) = V(S \cup \{j\})$ $\forall S \subseteq I \setminus \{i, j\}$. Ein Spieler i ist ein Nullspieler bezüglich , wenn $V(S \cup \{i\}) = V(S)$ $\forall S \subseteq I$.

Nun sei G die Menge aller charakteristischen Funktionen $V: f \rightarrow \mathbb{R}$ (f = Potenzmenge v. I) mit $V(\emptyset) = 0$ und $V(S \cup T) \quad V(S) + V(T)$ $\forall S, T \subseteq I$ $S \cap T = \emptyset$. Sei ferner Φ eine Funktion mit $\Phi: (I, V) \rightarrow \Phi(V)$ und $\Phi(V+W) = \Phi(V) + \Phi(W)$. Dann gilt folgende Definition:

Der Shapley-Wert ist eine Funktion Φ: G $\rightarrow$ I^n mit den Eigenschaften:

- Symmetrie: i, j Stellvertreter bez. (I, V) Æ $\Phi(V) = j\Phi(V)$
- für jeden Nullspieler ist $\Phi(V) = 0$
- Effizienz: $\sum_{i \in I} \Phi_i(V) = V(I)$
- Additivität: $\Phi(V) + \Phi(W) = \Phi(V+W)$

Nun gilt (ohne Beweis):

- Jeder charakteristischen Funktion V$\in$G entspricht genau ein Shapley-Wert $\Phi(V)$.
- $\Phi_i(V) = \sum_{S \subseteq I} \gamma_n(s)\left[V(S) - V(S \setminus \{i\})\right]$ mit s=#S (Mächtigk. v. S) u. $\gamma_n(s) = \frac{(s-1)!(n-s)!}{n!}$

Der Shapley-Wert weist jedem Spieler i diejenige Auszahlung zu, die er (gemittelt über alle möglichen Reihenfolgen der Koalitionsbildung) einer Koalition durch seinen Beitritt zusätzlich sichern kann.

Der Shapley-Wert ist nicht nur kollektiv (vgl. Effizienzbedingung), sondern auch individuell rational wegen

$$V(S) - V(S \setminus \{i\}) \geq V\{i\}\ \forall i \in S \quad \Rightarrow \quad \Phi_i(V) \geq V(\{i\})$$

Somit ist $\Phi(V)$ eine Imputation. Weiter ist $\Phi(V)$ wegen

$$V(S) = rU(S) + \sum_{i \in S} \alpha_i\ \forall S \subseteq I(V) \quad \Rightarrow \quad \Phi_i(V) = r\Phi_i(U) + \alpha_i\ \forall i \in I$$

invariant unter strategischer Aequivalenz.

Dagegen ist beim Shapley-Wert die Gruppenrationalität (die aus der Menge der Imputationen jene des Kerns ausscheidet) nicht gefordert. Es ist also möglich, dass einzelne echte Koalitionen ein für ihre Mitglieder besseres Auszahlungsschema durchsetzen könnten.

Ein Vorteil des Shapley-Wertes gegenüber dem Kern ist, dass er immer existiert. Ein Nachteil ist aber, dass er nicht notwendigerweise im Kern liegt, selbst wenn letzterer nicht leer ist.

Es gibt verschiedene Allokationskonzepte, die die Vorteile beider genannter Lösungen kombinieren. Sie weisen immer eine Lösung auf, die möglichst nahe an den Kern mit seiner hohen Selbstbindungskraft kommt. Eine Erweiterung bilden die sog. Verhandlungslösungen: die Grundidee ist, dass Spieler einander Vorschläge machen, aber auch in der Lage sind, Einwände und Gegeneinwände durchzusetzen. Sie können also ihre Strategien aufeinander abstimmen.

Das erste solche Konzept ist die Verhandlungsmenge. Im Gegensatz zum Kern, der nur jene Menge von Auszahlungsvektoren enthält, gegen die kein Einwand möglich ist, enthält sie auch diejenigen, gegen die kein berechtigter Einwand möglich ist. Sie wird wie folgt hergeleitet.

Gegeben sei ein Spiel $\Gamma = (I, V)$. Eine Koalitionsstruktur $B = \{B_1, B_2, ..., B_k\}$ ist eine vollständige Partition der Menge der Spieler, d.h.

$$i \neq j \quad \Rightarrow \quad B_i \cap B_j = \varnothing, \quad \bigcup_{i=1}^{k} B_i = I$$

Sei nun X_B wie folgt definiert:

$$X_B = \{x \in E^n | x(B_i) = V(B_i) \text{ für } i = 1,...,k \text{ und } x^i \geq V(\{i\}) \; \forall i \in I\}$$

d.h. der ganze Wert einer B_i Koalition wird unter deren Mitgliedern verteilt und das Schema ist individuell rational. Ist $B = \{I\}$, so ist X_B die Menge der Imputationen.

Gegeben seien nun $\Gamma = (I, V)$, B, $\underline{x} \in X_B$, $B_k \in B$ und zwei Mitglieder i und j von B_k. Ein Einwand von i gegen j besteht aus einer Menge S mit $i \in S$ und $j \notin S$ und einem Punkt $y \in E^S$ so dass $y^i > x^i$, $y^l \; x^l$ für alle $l \in S$ und y(S) V(S). Spieler i kann also mit einer Gruppe zusammengehen, die j nicht enthält und eine für sich bessere Auszahlung realisieren, ohne dass ein anderes Gruppenmitglied schlechter gestellt wird.

Ein Gegeneinwand von j gegen i besteht aus einer Menge T mit $j \in T$ und $i \notin T$ und einem Punkt $z \in E^T$ so dass $z^j > x^j$, $z^l \; x^l$ für alle $l \in T$ und $z^l \; y^l$ für alle $l \in S \cap T$ und z(T) V(T). Ein Einwand ist berechtigt, wenn es keinen Gegeneinwand gibt.

Die Verhandlungsmenge M(V,B) ist die Menge aller Auszahlungsvektoren, gegen die keine berechtigten Einwände existieren.

Innerhalb der Verhandlungsmenge sind zwei Konzepte besonders interessant. Das erste ist der sog. Kerbel. Er basiert auf der "Stärke" eines Spielers (d.h. seiner Fähigkeit, Einwände gegen einen Auszahlungsvektor $\underline{x}$ zu machen bzw. Einwänden gegen $\underline{x}$ zu begegnen). Diese ist wie folgt definiert:

Der Ueberschuss (Exzess) $e(\underline{x}, S)$ einer Koalition S ist

$$e(\underline{x},S) := V(S) - x(S) \qquad \text{mit} \qquad x(S) = \sum_{i \in S} x_i .$$

Dies ist nichts anderes als die Differenz zwischen dem, was sich eine Koalition S alleine sichern kann und dem, was sie mit einem vorgeschlagenen Auszahlungsschema erhalten würde. Der Ueberschuss ist damit ein Mass für die Unzufriedenheit.

Gegeben sei $\Gamma = (I, V)$, B, $B_k \in B$, zwei Mitglieder i und j von B sowie S mit $i \in S$ und $j \notin S$. Der maximale Ueberschuss von i gegen j ist dann

$$s_{ij} \equiv \max\{V(S) - x(S) | i \in S \text{ und } j \notin S\}$$

Dann ist

$$K = \{x \in X | \forall B_k \in B; i,j \in B_k; s_{ij} \leq s_{ji} \vee x^j = V(\{j\})\}$$

der Kernel. Er ist eine nichtleere Teilmenge der Verhandlungsmenge.

Sowohl die Verhandlungsmenge als auch der Kernel gehen implizit davon aus, dass es zu Verhandlungen zwischen den Spielern i und j kommt, d.h. dass Einwände und Gegeneinwendungen vorgebracht werden können.

Das nächste Lösungskonzept in der Verhandlungsmenge ist der Nucleolus. Er geht aus von einem Spiel $\Gamma = (I, V)$ mit $V: f \rightarrow \mathbb{R}$ und $V(S \cup T) \quad V(S) + V(T) \; \forall S, T \subseteq I \; S \cap T = \emptyset$. Sei zusätzlich E die Menge aller Imputationen, d.h.

$$E := \left\{ x \in \mathbb{R}^n \middle| x_i \geq V(\{i\}), i \in I; \sum_{i=1}^{n} x_i = V(I) \right\}$$

Ferner sei wiederum $e(\underline{x}, S)$ der Ueberschuss wie oben definiert.

Nun werden die $K = 2^n - 2$ Koalitionen (i.e. alle ohne die leere Menge und die grosse Koalition) so angeordnet, dass

$$e(\underline{x}, S_1) \quad e(\underline{x}, S_2) \quad e(\underline{x}, S_3) \quad \ldots \quad e(\underline{x}, S_k)$$

Nun bildet man den Vektor $\underline{\delta}(\underline{x}) \in \mathbb{R}^k$ mit $\delta_i(\underline{x}) = e(\underline{x}, S_i)$, i=1, ..., k.

Ferner sei $\underline{y} \in \mathbb{R}^k$ lexikographisch grösser als $\underline{z} \in \mathbb{R}^k$ (Notation $\underline{y} \overset{L}{>} \underline{z}$) falls gilt

$$\exists i_0 \in \{1, \ldots, k\} \quad \text{mit} \quad y_i = z_i \; \forall i < i_0 \quad \text{und} \quad y_{i_0} > z_{i_0}$$

Dann ist

$$Nu(V) := \{\underline{x} \in E | \text{es existiert kein } \underline{x}' \in E \text{ mit } \delta(\underline{x}) \overset{L}{>} \delta(\underline{x}')\}$$

der Nucleolus. Nu(V) ist also das lexikographische Minimum $\delta(\underline{x}')$, $\underline{x}' \in E$ und insbesondere ist der maximale Ueberschuss

$$\max_{\substack{S \subseteq I \\ S \neq \emptyset, I}} \{V(S) - x(S)\}$$

nicht reduzierbar.

Im Gegensatz zum Kernel und der Verhandlungsmenge ist beim Nucleolus nicht mehr der Aspekt des Verhandelns im Vordergrund. Zentral ist, wie gross der Antrieb zum Verwerfen eines vorgeschlagenen Auszahlungsschemas ist. Die lexikographische Ordnung ist dabei wie folgt zu interpretieren: Zuerst wird die Unzufriedenheit der am schlechtesten gestellten Koalition S minimiert, dann jene der zweitschlechtesten usw. Dieser Minimierungsprozess erfolgt nicht durch individuelles Verhandeln, sondern durch eine externe Regelung (im Sinne eines Schiedsrichters).

Der Nucleolus hat folgende Eigenschaften:

- Er besteht aus genau einem Element, d.h. $Nu(V) = \{\underline{x}^{Nu}\}$
- Er ist eine Teilmenge des Kernels.
- Er ist im Kern, wenn dieser nicht leer ist, d.h. $C \neq \emptyset \Rightarrow \underline{x}^{Nu} \in C$
- Er ist invariant unter strategischer Aequivalenz.

Ein letztes Konzept, das sich v.a. in der Praxis von monopolistischen Unternehmungen (was Massnahmen bei Naturereignissen darstellen) als wichtig erwiesen hat, ist die sog. "Equal Propensity to disrupt". Sie basiert auf folgender Ueberlegung:

Die grosse Koalition (d.h. jene, in der alle Spieler Mitglieder sind), ist effizient, kann sich also den maximalen Gewinn V(I) sichern. Für jeden Spieler wird nun folgender Quotient berechnet:

$$d_i = \frac{\sum_{I, j \neq i} x_j - V(I \setminus \{i\})}{x_i - V(\{i\})}$$

Die "Propensity to disrupt" d_i bezeichnet also das Verhältnis zwischen dem Verlust der Gegenkoalition und dem Verlust des Spielers i, wenn dieser die grosse Koalition verlässt. Je grösser d_i, umso wirkungsvoller ist die Drohung mit dem Ausstieg und umso besser die Möglichkeit, die eigene Auszahlung zu erhöhen. Das Konzept bestimmt also die Auszahlungsfunktion so, dass dieser Wert für alle Spieler gleich gross wird. Dabei kann $\underline{x}$ ausserhalb des (nichtleeren) Kerns liegen.

Lebenslauf

1966	11. April: geboren in Thun/BE
April bis Juli 1973	Primarschule in Wengen/BE
August 1973 bis April 1979	Primarschule in Herisau/AR
April 1979 bis April 1981	Sekundarschule in Herisau/AR
April 1981 bis September 1985	Kantonsschule in Trogen/AR, Matura Typus C
Oktober 1986 bis Dezember 1991	Studium der Forstwissenschaften an der ETH Zürich
August 1989 bis Oktober 1990	Praxis zur Erlangung der Wählbarkeit an eine höhere Forstbeamtung (Aug. 89 bis Feb. 90: Arr. for. 3 in Porrentruy / JU, Apr. 90 bis Okt. 90: FIO Spiez / BE)
seit März 1992	Assistent am Departement Wald- und Holzforschung, Professur forstliches Ingenieurwesen, ETH Zürich