UMWELT-MATERIALIEN
NR. 85

Naturgefahren

Methoden zur Analyse und Bewertung von Naturgefahren

Bundesamt für
Umwelt, Wald und
Landschaft
BUWAL

UMWELT-MATERIALIEN
NR. 85

Naturgefahren

Methoden zur Analyse und Bewertung von Naturgefahren

Eine risikoorientierte Betrachtungsweise

Diese Publikation ist Teil der Flankierenden Massnahmen (FLAM) des Walderhebungsprogramms (WEP) 1992-1995, Modul Naturgefahren

Herausgegeben vom Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft BUWAL
Bern, 1998

Impressum

Herausgeber:	Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL)
Auftraggeber:	BUWAL / Eidg. Forstdirektion
Autoren:	– *Prof. Dr. Hans R. Heinimann*, Professur Forstliches Ingenieurwesen, ETH Zürich (Kap. 5) – *Dr. Kurt Hollenstein*, Professur Forstliches Ingenieurwesen, ETH Zürich (Kap. 1, Kap. 2) – *Prof. Dr. Hans Kienholz*, Geographisches Institut der Universität Bern, Hallerstrasse 12, 3012 Bern (Kap. 3, Kap. 9) – *Dr. Bernhard Krummenacher*, Geotest AG, Birkenstrasse 15, 3052 Zollikofen (Kap. 6, Kap. 8) – *Peter Mani*, Geo7, Neufeldstrasse 3, 3012 Bern (Kap. 4, Kap. 7, Kap. 8)
Begleitung BUWAL:	Reto Baumann, Sektion Naturgefahren, Eidg. Forstdirektion
Redaktion:	Dr. Kurt Hollenstein, ETHZ; Norbert Knechtle, ETHZ
Zitiervorschlag:	Heinimann, H. R. et al. (1998*): Methoden zur Analyse und Bewertung von Naturgefahren.* Umwelt-Materialien Nr. 85, Naturgefahren. Hrsg.: Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL), Bern. 248 S.

Download PDF
www.umwelt-schweiz.ch/publikationen
(eine gedruckte Fassung ist nicht erhältlich)
Code: UM-85-D

© BUWAL 1998

Inhalt

Abstract **5**

Vorwort **7**

Dank **8**

TEIL I **9**

1 Grundlagen zur Risikoanalyse (RA) **9**
1.1 Einleitung 9
1.2 Konzept und Begriffe 11
1.3 Vorgehen bei der Risikoanalyse für Naturgefahren 12
1.4 Praktische Anwendung 19
1.5 Probleme und offene Fragen 19
1.6 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen 20
1.7 Literatur 20

2 Grundlagen zur Erhebung des Schadenpotentials **21**
2.1 Einleitung 21
2.2 Begriff und Konzept des Schadenpotentials 22
2.3 Messverfahren und Skalen 23
2.4 Datenbeschaffung 26
2.5 Vorgehen, Ablaufschema 29
2.6 Schlussfolgerungen, Ausblick 30
2.7 Literatur 30

3 Konzept Gefahrenbeurteilung und -bewertung **31**
3.1 Naturgefahren - Gliederung und Definitionen 31
3.2 Gefahrenbeurteilung und -bewertung 39
3.3 Handlungsebenen 41
3.4 Wichtige Prinzipien 44
3.5 Wichtige Gesichtspunkte der Gefahrenbeurteilung 48
3.6 Prinzipielle Ansätze der Gefahrenbeurteilung 53
3.7 Ausgangsdaten und Grundlagen 60
3.8 Literatur 65

4 Geographische Informationssysteme in der Gefahrenbeurteilung **71**
4.1 Einleitung 71
4.2 Simulationsmodelle in der GIS-basierten Gefahrenbeurteilung 74
4.3 Literatur 76

5 Aufbau und Nachführung von Ereigniskatastern **79**
5.1 Einleitung 79
5.2 Abgrenzung des Problems 79
5.3 Struktur eines Naturgefahrenkatasters 82
5.4 Lösungskonzept 84
5.5 Fallbeispiel 93
5.6 Dank 98
5.7 Literatur 98

TEIL II **99**

6 Erhebung des Schadenpotentials auf der Ebene Richtplanung 101
6.1 Einleitung 101
6.2 Grundlagendaten 102
6.3 Aufbereitung, Umsetzung und Darstellung des Schadenpotentials 105
6.4 Auswertung der Resultate und weitere Verwendung 106
6.5 Literatur 106

7 Daten für die GIS-basierte Gefahrenbeurteilung 107
7.1 Überblick 107
7.2 Datenaufbereitung 107
7.3 Digitale geologische Grundlagen 113
7.4 Literatur 113

8 Gefahrenbeurteilung auf der Richtplanebene 115
8.1 Beurteilung der Wildbachgefahr 115
8.2 Beurteilung der Sturzgefahr 139
8.3 Beurteilung der Rutschgefahr 156
8.4 Zusammenfassung und Ausblick 165
8.5 Literatur 171

TEIL III **173**

9 Gefahrenbeurteilung und –bewertung auf der Ebene Nutzungsplanung und forstlicher Vorprojekte 175
9.1 Struktur und Inhalt von Gefahrenkarten 175
9.2 Verfahren und Methoden der Gefahrenbeurteilung: allgemeine Hinweise 190
9.3 Literatur 198

ANHANG **199**

A Fallbeispiel Erlibach 199
A.1 Beurteilung der Bedeutung für die Abflussbildung 200
A.2 Ausscheidung Gerinne und Runsen 202
A.3 Ausscheidung geschieberelevante Fläche 203
A.4 Gewichtung der geschieberelevanten Fläche 204
A.5 Ausscheidung der Murganganrissgebiete 204
A.6 Murgangsimulation 205
A.7 Abschätzung der Ereignisfracht und der Ereignishäufigkeit 206
A.8 Abflussabschätzung 206
A.9 Gesamtbeurteilung 207
A.10 Literatur 207

B Anwendungsbeispiel Digitale Gefahrenhinweiskarte des Kantons Bern 209
B.1 Zielsetzungen und Auftrag 209
B.2 Projektablauf 209
B.3 Inhalt der Gefahrenhinweiskarten 211
B.4 Ausscheidung von Schutzwald (SF) und Wald mit besonderer Schutzfunktion (BSF) 220
B.5 Kartenerstellung und Layout 229

Abstract

Methoden zur Analyse und Bewertung von Naturgefahren

Die Beurteilung von Naturgefahren ist Teil einer umfassenden raumbezogenen Risikoanalyse.

Teil I des vorliegenden Berichts behandelt: theoretische Grundlagen zur Risikoanalyse und zur Erhebung des Schadenpotentials; ein Konzept zur Gefahrenbeurteilung und –bewertung; allgemeine Hinweise zum Einsatz von geographischen Informationssystemen und Simulationsmodellen sowie Grundsätze zum Aufbau und zur Nachführung von Ereigniskatastern.

Teil II beschreibt Methoden zur GIS-basierten Gefahrenbeurteilung auf Richtplanebene.

Der kurz gefasste Teil III gibt allgemeine Hinweise zur Gefahrenbeurteilung und –bewertung auf lokaler Ebene.

Die Forderung nach effizientem Einsatz der Mittel und klarer Prioritätensetzung verlangt, dass Schlüsselstellen für die Gefahrenbeurteilung und Konflikte mit der Raumnutzung rationell für ausgedehnte Gebiete festgestellt werden können. Deshalb wurde das Schwergewicht der Arbeiten auf die Methodik für die Ebene Richtplanung (Übersichtsmassstab 1:25'000) gelegt. Im Anhang wird die Methodik anhand von zwei Fallbeispielen erläutert.

Keywords: Naturgefahren, Risikoanalyse, Risk Management, Gefahrenbeurteilung, Gefahrenkarte, GIS, Modellierung, Kataster, Wildbach, Rutschung, Steinschlag.

Methods for Analysing and Assessing Natural Hazards

A comprehensive geographical risk analysis includes the assessment of natural hazards.

Part I of the present report deals with theoretical principles of analysing risks and ascertaining potential damage; a conceptual framework of hazard assessment and evaluation; general notes on the use of geographical information systems and simulation models; and guidelines for the design and maintenance of event registers.

Part II describes methods for GIS-based hazard assessment on the scale of a directoral zoning plan.

The short Part III gives general suggestions for hazard assessment and evaluation on a local scale.

To use resources efficiently and set clear priorities, key sites for hazard assessment and conflict over land use must be established efficiently for extended areas. The emphasis of the present study is thus on methodology at the level of the directoral zoning plan (scale 1:25'000). The methodology is clarified in the Appendix using two case studies.

Keywords: Natural hazards, risk analysis, risk management, hazard assessment, hazard map, GIS, modelling, land register, torrential hazards, landslides, rockfall.

Méthodes d'analyse et d'évaluation des dangers naturels

L'évaluation des dangers naturels fait partie d'une vaste analyse des risques dans un espace donné.

La partie I du présent rapport traite des éléments suivants: bases théoriques nécessaires pour analyser les risques et déterminer le potentiel de dégâts; stratégie en vue d'évaluer les dangers; indications générales concernant l'utilisation du système d'information géographique (SIG) et les modèles de simulation ainsi que règles pour établir et mettre à jour des cadastres des événements.

La partie II décrit des méthodes basées sur le SIG permettant d'évaluer les dangers à l'échelon des plans directeurs.

La brève partie III donne des informations générales permettant d'évaluer les dangers à l'échelle locale.

Il est nécessaire d'utiliser plus efficacement les moyens disponibles et de fixer des priorités claires: pour cela, il faut pouvoir déterminer de manière rationnelle, pour des régions étendues, les positions-clé permettant d'évaluer les dangers et cerner les conflits pouvant surgir dans l'utilisation du territoire. C'est pourquoi l'accent a été mis sur la méthode utilisée au niveau de l'élaboration du plan directeur (échelle 1:25'000). Cette méthode est exposée en annexe à l'aide de deux exemples.

Keywords: Dangers naturels, analyse des risques, gestion des risques, évaluation des dangers, carte des dangers, SIG, modélisation, cadastre, torrent, glissement de terrain, chute de pierres.

Metodi d'analisi e di valutazione dei pericoli naturali

La valutazione dei pericoli naturali è parte integrante di un'analisi dei rischi relativa al territorio, effettuata in modo esaustivo.

La parte I del presente rapporto tratta di: basi teoriche per l'analisi dei rischi e il rilevamento dei potenziali danni; una concezione concernente la valutazione e la stima dei pericoli; indicazioni generali per l'impiego di sistemi d'informazione geografica e di modelli di simulazione, nonché di principi per l'elaborazione e l'attualizzazione dei catasti delle catastrofi.

La parte II descrive, sul piano della pianificazione direttrice, metodi di valutazione dei pericoli basata sul SIG.

La parte III, più breve, fornisce indicazioni generali per la valutazione e la stima dei pericoli su base locale.

La ricerca di un impiego efficiente dei mezzi e di una chiara determinazione delle priorità richiede che, per vaste regioni e in vista della valutazione dei pericoli, possano essere fissate in modo razionale località chiave suscettibili di generare conflitti a livello di utilizzazione del territorio. Pertanto, per il livello di pianificazione direttrice, i lavori si sono concentrati sulla pratica (panoramica su scala 1:25'000). Nell'allegato, il metodo viene spiegato mediante due esempi concreti.

Keywords: Pericoli naturali, analisi dei rischi, gestione dei rischi, valutazione dei pericoli, carta dei pericoli, SIG, allestimento di modelli, catasto, torrente, scoscendimento di terreno, caduta di pietre.

Vorwort

Verschiedene Naturkatastrophen im letzten und in diesem Jahrhundert bewirkten, dass die öffentliche Hand grosse Anstrengungen unternahm, um Menschen und Sachwerte zu schützen. Die Probleme wurden in der Regel objektbezogen gelöst. Zeugnisse davon sind Verbauungen von Gewässern, Aufforstungen, Sanierungen von Rutschungen, Lawinen- und Steinschlagverbauungen. Eine vorausschauende und vorbeugende Abwehrstrategie bestand allerdings nur in Ansätzen. Mit dem zunehmend besseren Verständnis der Naturgefahren entwickelte sich die Einsicht, dass diese umfassend analysiert und bewertet werden müssen. Bei der Abwehr der Naturgefahren ist vermehrt das Vorsorgeprinzip anzuwenden. Diese Sichtweise konnte 1991 sowohl ins Waldgesetz (WaG) als auch ins Wasserbaugesetz (WBG) integriert werden.

Der bewusste Umgang mit Naturgefahren setzt voraus, dass die Risiken bekannt sind. Erst dann kann über den Einsatz der Mittel zur Risikoreduktion und über die angestrebte Sicherheit diskutiert werden. Um die verantwortlichen Behörden, Planer und Naturgefahren-Spezialisten in der Analyse und Bewertung der Naturgefahren zu unterstützen, mussten praxistaugliche Arbeitsinstrumente entwickelt werden. Im Rahmen der flankierenden Massnahmen (FLAM) zum Walderhebungsprogramm (WEP) initiierte die Eidgenössische Forstdirektion deshalb das Modul «Naturgefahren» mit folgenden Zielen:

1. Vorschläge zur einheitlichen Dokumentation der Naturgefahren erarbeiten;
2. Bestehende Ansätze für Gefahrenkartierungen überprüfen und weiterentwickeln;
3. Kriterien für die Gefahrenbewertung definieren;
4. Möglichkeiten der Umsetzung der Gefahrenbewertung bei forstlichen Projekten und in der Raumplanung aufzeigen.

Dank der engen Zusammenarbeit mit der Praxis konnten bereits während des laufenden Projektes die erarbeiteten Methoden getestet werden. So entstand u.a. die Gefahrenhinweiskarte des Kantons Bern.

Der Bericht möge mit seiner Fülle von interessanten Informationen und Lösungsvorschlägen all jenen eine Hilfe sein, die mit der Abwehr von Naturgefahren zu tun haben.

BUNDESAMT FÜR UMWELT,
WALD UND LANDSCHAFT
Der Forstdirektor

H. Wandeler

Dank

Während mehr als drei Jahren hat das Projektteam «FLAM-Naturgefahren» im Auftrage der Eidgenössischen Forstdirektion ein Gesamtkonzept für die Analyse und Bewertung von Naturgefahren in Gebirgsräumen entwickelt. Diese herausfordernde Aufgabe hätte nicht bewältigt werden können ohne die Mitwirkung verschiedenster Kolleginnen und Kollegen, die sich in ihrer praktischen Tätigkeit mit Naturgefahren auseinandersetzen. Herausgeber und Projektteam sprechen an dieser Stelle allen, die zum Gelingen beigetragen haben, den herzlichsten Dank aus, insbesondere:

- den Vertretern verschiedenster Amtsstellen des Bundes: Martin Rickenbacher (Bundesamt für Landestopographie, L+T), Olivier Lateltin (Landeshydrologie und -geologie, LHG), Jean-Pierre Tripet (Landeshydrologie und -geologie, LHG), Dr. Armin Petraschek (Bundesamt für Wasserwirtschaft, BWW), Roberto Loat (Bundesamt für Wasserwirtschaft, BWW);
- dem Projektteam «Gefahrenhinweiskarte des Kantons Bern»: Heinrich Buri und Ueli Ryter (Amt für Wald des Kantons Bern, KAWA), Gianni della Valle (Kantonsgeologe, Wasser- und Energiewirtschaftsamt des Kantons Bern, WEA), Heinz Roth (Tiefbauamt des Kantons Bern);
- den weiteren Mitgliedern der temporären Arbeitsgruppe Naturgefahren: Daniel Bollinger (Büro Kellerhals + Haefeli, Bern), Thomas Egli (Ingenieurbüro Barth, St. Gallen), Hansruedi Keusen (Geotest AG, Bern), Roberto Loat (Bundesamt für Wasserwirtschaft, BWW);
- Vertretern der kantonalen Forstdienste, insbesondere Sepp Hess (Engelberg, OW);
- dem Projektteam FLAM-Minimalpflege: Ernst Zeller (Leiter Gebirgswaldpflegegruppe, GWG), Brächt Wasser (Ingenieurbüro IMPULS, Thun), Monika Frehner (Ingenieurbüro, Sargans), Ernst Ott (ETH, Zürich);
- der Projektleitung FLAM-Waldfunktionen/Planung: Fritz Pfister und Hubert Dürrstein (Büro DENDRON, Muntelier), Brächt Wasser (Ingenieurbüro IMPULS, Thun), Monika Frehner (Ingenieurbüro, Sargans), Ernst Ott (ETH, Zürich);
- der forstlichen Arbeitsgruppe Naturgefahren: Danilo Zuffi (Kantonsforstamt Fribourg, verstorben), Arthur Sandri (Kreisforstamt 8, Graubünden).

Teil I

1 Grundlagen zur Risikoanalyse (RA)

1.1 Einleitung

Sicherheit mit Aspekten wie Gesundheit, materielles Wohlergehen usw. ist ein grundlegendes menschliches Bedürfnis. Sie wird durch Ursachen technischer, zivilisatorischer oder natürlicher Art beeinträchtigt. Eine Sicherheitsoptimierung ist nur möglich, wenn nicht nur die Ursachen, sondern auch deren Folgen, also Schäden, betrachtet werden. Eine solche Betrachtung erlaubt, verschiedene Ursachen bezüglich ihrer tatsächlichen Bedeutung zu vergleichen. Eine reine Prozessanalyse, deren Ergebnis physikalische Parameter (z.B. Geschwindigkeit, Druck) sind, kann die dazu notwendigen Angaben in der Regel nicht liefern.

Risikoanalysen sind ein im technischen Bereich bewährter Ansatz zur problem-, d.h. schadenorientierten Darstellung möglicher Gefährdungen, Schadenpotentiale und Auswirkungen.

Risikoanalysen entstanden aus der Notwendigkeit, Anlagen aus betrieblicher und gesellschaftlicher Sicht so sicher wie möglich zu gestalten. Dabei standen ursprünglich wirtschaftliche Fragen (Zuverlässigkeit, Verfügbarkeit, Haftung) im Vordergrund. Eine optimale Gestaltung solcher Systeme ist aber nur realisierbar, wenn deren Aufbau und mögliche Schwachstellen bekannt sind.

Tabelle 1.1 zeigt den Anwendungsbereich der Risikoanalyse für verschiedene Bereiche von Schadenursachen.

Bereich	*Natur*	*Technik*	*Gesellschaft*	*Wirtschaft*
Umwelt	natürliche Umwelt	technische Umwelt	soziopolitische Umwelt	ökonomische Umwelt
	(Geo-, Hydro-, Atmosphäre, Klima, Wetter, Flora, Fauna)	(Fabriken, Leitungen, Kraftwerke, Verkehrsmittel, Maschinen)	(polit. Verhältnisse, Bevölkerung, Ausbildung)	(Wirtschaftsstruktur, Arbeitsmarkt, Produktion, Einkommen)
Abweichung vom gewünschten Zustand **Gefahrenbeurteilung**	Naturereignisse	Störfälle	gesellschaftliche Krisen	ökonomische Krisen
	(Erdbeben, Hochwasser, Lawinen, Waldbrände, Epidemien)	(Blockage, Leck, Überhitzung, Kurzschluss, Programmfehler)	(Veränd. Ideale, Verlust v. Beziehungen, demographische Veränderungen)	(Inflation, Rezession, Abbau von Arbeitsplätzen, reduzierte Produktivität)
betroffene Werte **Risikoanalyse**	Naturrisiken	technische Risiken	soziale Risiken	ökonomische Risiken
	(Tote, Verletzte, Zerstörung von Sachwerten, Unterbruch von Strassen)	(Tote, Verletzte, Zerstörung von Sachwerten, Umweltschäden)	(Zerstörung von Sozialgefügen, Unruhen, Spannungen, Kriege)	(Arbeitslosigkeit, Armut, Verlust von Produktionsmitteln)

Tab. 1.1 Gefahrenbeurteilung und Risikoanalyse: Vergleich verschiedener Anwendungsbereiche

Der Rahmen und die verschiedenen Methoden der Risikoanalyse geben ein strukturiertes und formalisiertes Vorgehen, wie solche Systeme untersucht werden können. Sie ermöglichen dem Analysierenden, sich im Untersuchungsablauf jederzeit zu positionieren.

Natürliche Systeme sind wesentlich komplexer als technische Anlagen und nur bedingt gestaltbar. Ihnen liegen andere Ursachen-Wirkungsgefüge zugrunde. Das Ziel der Sicherheitsmaximierung oder -optimierung ist aber gleichermassen gültig. Die generelle Aufgabenstellung ist damit vergleichbar, und auch das Vorgehen unterscheidet sich nicht von einer technischen Risikoanalyse. Eine Risikoanalyse ist, verglichen mit einer traditionellen Prozessbetrachtung, eine Erweiterung des Blickwinkels, welche die Frage der betroffenen Werte in den Vordergrund rückt.

Inhaltlich sind Risikoanalysen naturwissenschaftlich-technische Abklärungen. Sie geben lediglich Auskunft über die Grösse der von einer bestimmten Ursache zu erwartenden Beeinträchtigung, sagen aber nichts über deren praktische Relevanz aus (vgl. Abb. 1.1). Die Beurteilung der soziopolitischen Bedeutung von Risiken ist die Aufgabe der Risikobewertung. Den Umgang mit einer bestehenden Risikosituation regelt das Risikomanagement.

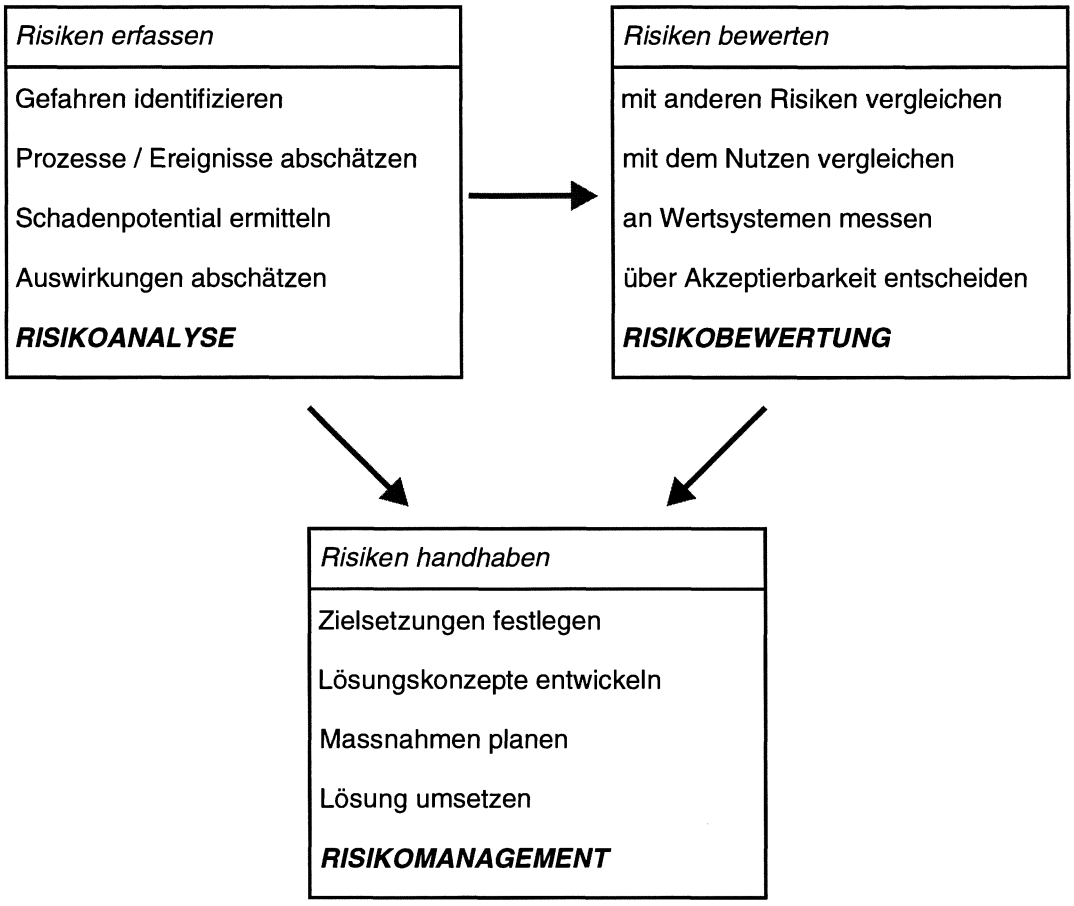


Abb. 1.1 Die drei Teile einer modernen Risikobetrachtung: Analyse, Bewertung und Management

Im folgenden wird dargestellt, welche Ideen dem Konzept zugrundeliegen, wie eine Risikoanalyse bei Naturereignissen vom theoretischen Vorgehen her und im praktischen Beispiel aussieht und welche Anforderungen bezüglich Genauigkeit auf verschiedenen Analyseebenen etwa sinnvoll sind. Detailliertere ergänzende Angaben zu einzelnen Teilschritten sind in den jeweiligen Unterkapiteln zu finden.

1.2 Konzept und Begriffe

Für bekannte, wiederkehrende Naturereignisse am selben Ort bestehen oft Messreihen oder Aufzeichnungen. Diese sind vergangenheitsbasiert und nur unter der Annahme gleicher Umweltbedingungen (Systemzustände) auch für die Zukunft gültig. In der Praxis sind aber oft Prognosen für Situationen erforderlich, die räumlich, zeitlich oder thematisch ausserhalb der bekannten Verhältnisse liegen und nur bedingt mit bestehenden Daten zu beschreiben sind.

Diese Problemstellung führte zur Entwicklung der ersten technischen Risikoanalysen: die Notwendigkeit, Aussagen über die zu erwartenden Häufigkeiten und Ausmasse bzw. Intensitäten von Er-

eignissen zu machen bevor diese eingetreten sind, und sie a priori so selten und so unbedeutend wie möglich zu machen.

Häufigkeit und Ausmass (Intensität) sind im sicherheitswissenschaftlichen Konzept zentrale Aspekte (vgl. auch Kap. 3.5.2). Ein Ereignis ist umso kritischer, je häufiger es eintritt und je grösser die damit verbundenen negativen Konsequenzen sind. Die Verknüpfung dieser Faktoren wird als Risiko bezeichnet und wie folgt definiert:

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

Häufig wird eine multiplikative Verknüpfung der beiden Grössen angewandt, was Quantifizierbarkeit voraussetzt.

1.3 Vorgehen bei der Risikoanalyse für Naturgefahren

Eine Risikoanalyse lässt sich grob in vier Teilschritte gliedern:

1. Beschreibung und Abgrenzung des Untersuchungsobjektes (im folgenden Systemabgrenzung und Systembeschreibung genannt)
2. Gefahrenbeurteilung, bestehend aus Gefahrenidentifikation und Prozessabschätzung (bezüglich Ausmass und Häufigkeit)
3. Analyse der potentiell betroffenen Schadenobjekte (Expositionsanalyse)
4. Abschätzung der zu erwartenden Auswirkungen der Ereignisse (Folgenanalyse)

Dieses Vorgehen gilt nicht nur für Naturgefahren, sondern auch für andere Ursachen. Risikoanalysen für Naturgefahren unterscheiden sich in zwei Punkten wesentlich von anderen Anwendungen:

- Sie gehen von einer Immissionssichtweise aus, d.h. Naturereignisse werden als von aussen auf Schadenobjekte einwirkende Prozesse betrachtet. Bei technischen Systemen handelt es sich dagegen um eine Emissionsbetrachtung; es wird ermittelt, welche Risiken von der untersuchten Anlage ausgehen.
- Naturgefahren sind in Entstehung und Ablauf räumliche Prozesse. Es macht Sinn, sie auf den gleichen Betrachtungsebenen zu analysieren, auf denen auch die übrigen raumplanerischen Tätigkeiten abgewickelt werden.

Nach Raumplanungsgesetz (RPG 1979, SR 700) ist zu unterscheiden zwischen Richt- und Nutzungsplanung. Diese Gliederung findet sich auch im forstlichen Bereich mit regionalen Waldplänen, Waldentwicklungsplänen usw. einerseits und Betriebs- oder Wirtschaftsplänen andererseits. Entsprechend der regionalen Optik wird erstere etwa im Massstab 1:10'000 bis 1:50'000 durchgeführt und dargestellt. Auf der lokalen, parzellenscharfen Ebene (Nutzungsplanung) ist der entsprechende Bereich ca. 1:1'000 bis 1:10'000 (vgl. dazu Kap. 3.3).

Risikoanalysen basieren auf Modellen. Diese sind von der Auflösung her der jeweiligen Aufgabenstellung anzupassen; für Abklärungen auf «Richtplanniveau» genügen oft stark aggregierte Informationen, während auf «Nutzungsplanniveau» wesentlich mehr ins Detail gegangen werden muss. Die generelle Struktur der Risikoanalyse ändert dadurch nicht.

Einige allgemeine Aspekte, sowie Aufgaben und Ergebnisse der einzelnen Teilarbeiten, werden nachstehend kurz beschrieben. Detailliertere Informationen, besonders bezüglich Prozess- und Schadenpotentialanalyse, sind in den Kapiteln 2 und 3 zu finden.

1.3.1 Allgemeines zu Risikoanalysen

Risikoanalysen sollen die in einem Gebiet bestehenden Risiken mittels statistischer oder probabilistischer Verfahren ermitteln. In beiden Fällen ist die Verwendung von Modellen zentral. Ein Modell (physikalischer oder mathematischer Natur) ist eine vereinfachte Darstellung der Realität. Vereinfachungen vermindern den Bearbeitungsaufwand, vergrössern aber die Unsicherheit der Resultate. Eine Risikoanalyse muss bei geringem Aufwand operationell verwendbare Ergebnisse liefern; die Unschärfe muss in Grenzen gehalten werden. Die Unsicherheiten können dabei verschiedenen Ursprungs sein:

- Datenunsicherheit: die vorliegenden Informationen sind mit Fehlern behaftet;
- Modellunsicherheit: das Modellverhalten entspricht nicht dem realen Verhalten des Systems;
- Unvollständigkeit: wesentliche Sachverhalte bleiben unberücksichtigt.

Diese Punkte gelten nicht nur für Risikoanalysen, sondern auch für andere Verfahren. Da sich aber die meisten spezifischen Risikoanalyse-Methoden an logischen Konstrukten orientieren, sind sie hier besonders wichtig. Daten- und Modellunsicherheit können durch eine Risikoanalyse nicht reduziert, aber quantifiziert und dargestellt werden. Unvollständigkeit kann dagegen durch sorgfältiges Arbeiten weitgehend vermieden werden. Dazu dient v. a. die Systembeschreibung.

Risikoanalysen haben keinen physikalischen Inhalt. Sie sind vielmehr abstrakte Denkmodelle für das Vorgehen. Für die Verarbeitung von Daten sind sie auf bestehende Kenntnisse angewiesen. Welche Parameter ein bestimmtes Ereignis aufweist, kann nur durch ein spezifisches Prozessmodell bestimmt werden. Risikoanalysen sind deshalb auch nicht ein Ersatz, sondern eine Erweiterung der bisherigen Methoden.

Ein wichtiger Vorteil der Risikoanalyse ist, dass sich jederzeit nachvollziehen lässt, was in einem Arbeitsschritt gemacht wird und welche Grundlagen dazu verwendet werden. Damit kann eine Risikoanalyse wesentlich besser mit neuen Erkenntnissen ergänzt bzw. revidiert werden, als dies bei wenig formellen Verfahren der Fall ist. Aktuelle Risikoanalysen sind ein zentraler Teil eines integralen Konzepts zur Überwachung von Gefährdungen und zur Gewährleistung von Sicherheitsansprüchen.

1.3.2 Systemabgrenzung und Systembeschreibung

Grundsätzlich soll eine Risikoanalyse eine systemische oder ganzheitliche Betrachtung sein. Das Untersuchungsobjekt ist nicht eine lineare Kausalkette, sondern ein Komplex aus verscheidenen, zu einander in Wechselwirkung stehenden Elementen, d.h. ein System.

Die Systembeschreibung stellt dar, welche Teile des Untersuchungsgebietes kausal (und damit auch räumlich) miteinander in Zusammenhang stehen und welche Attribute sie aufweisen. Sie bildet die physikalische Basis für die Modelle, mit welchen die Prozesse (Einwirkungen) und Folgen (Auswirkungen) abgeschätzt werden.

Bei Naturprozessen ist ein deterministischer Modellaufbau und eine scharfe Abgrenzung oft schwierig. Bezüglich dreier Aspekte muss aber ersichtlich sein, was in der Analyse behandelt wird bzw. unberücksichtigt bleibt:

- Räumliche Begrenzung: geographisches Gebiet der Abklärung, relevante Einwirkungen von aussen (Inputs) und nach aussen (Outputs);
- konditionelle Begrenzung: Umweltbedingungen, welche der Analyse zugrunde gelegt werden und ab welchen Änderungen die Analyse ihre Gültigkeit verliert;
- thematische Begrenzung: untersuchte Prozesse und Schadenobjekte.

Zeit ist nicht explizit als Dimension in der Systemabgrenzung enthalten, implizit wird sie über die Umweltbedingungen einbezogen. Bleiben diese gleich, so sind die Analyseresultate prinzipiell immer gültig.

Ein Beispiel einer groben Systemabgrenzung zeigt Tabelle 1.2.

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

Tab. 1.2 Systemabgrenzung für eine Risikoanalyse bei Naturgefahren

Modelle liegen bei Naturprozessen oft in empirischer und stark aggregierter Form, d.h. als sogenannte Blackboxes, vor (z.B. Hochwasserabflussformeln). Die Systembeschreibung soll diesem Umstand Rechnung tragen, indem sie nicht weiter detailliert werden soll als zur Bestimmung der Eingangsgrössen für die Modelle notwendig ist. Anstelle von Komponenten werden dann Sub- oder Teilsysteme betrachtet, die nicht weiter differenziert werden. Dies verringert besonders auf«Richtplanniveau»die Arbeiten erheblich.

Abbildung 1.2 zeigt eine ausschnittsweise Systembeschreibung auf regionalem Niveau («Richtplanebene») am Beispiel eines Prozesssubsystems. Tabelle 1.3 listet einige Attribute zu den Komponenten in Abbildung 1.2 auf.

Die Systembeschreibung kann dank ihrer Objekt-Attribut-Struktur gleichzeitig auch zur Organisation der Daten für die weiteren Schritte der Risikoanalyse dienen.

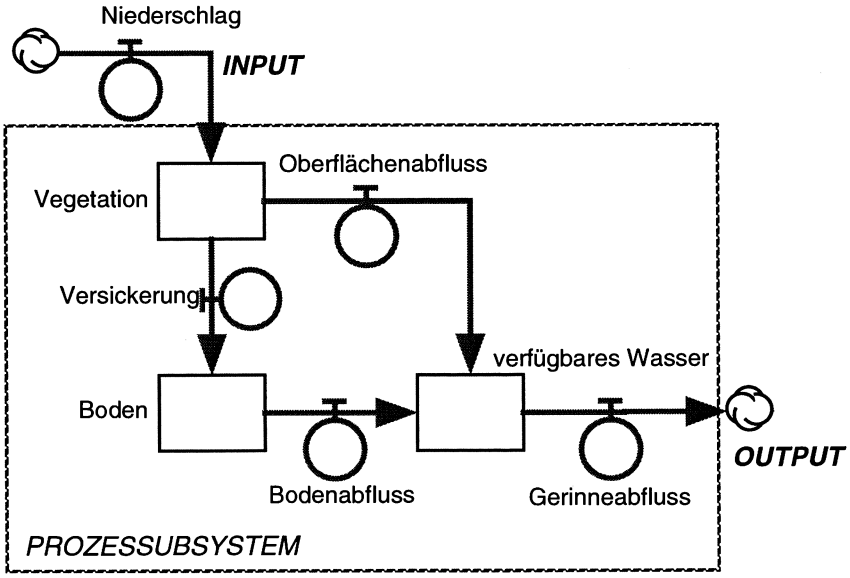


Abb. 1.2 Prozessubsystem zur Modellierung des Wasserabflusses in einem Wildbach

Komponente	*Attribute*	*Komponente*	*Attribute*	*Komponente*	*Attribute*
Niederschlag	Intensität	Boden	Mächtigkeit	Gerinneabfluss	Rauhigkeit
	Dauer		Porosität		Geometrie
	Phase		Porenverteilung	Wasserangebot	Menge
	Menge		Wassergehalt	Oberfl.-Abfluss	Hangneigung
Vegetation	Transpiration		Kohäsion		Rauhigkeit
	Interzeption		Reibungswinkel		Mikrotopographie
	Wurzeltiefe	Versickerung	Durchlässigkeit	Bodenabfluss	Durchlässigkeit
	Deckungsgrad		hydr. Gradient		hydr. Gradient

Tab. 1.3 Komponenten und Attribute des in Abbildung 1.2 dargestellten Prozesssubsystems

1.3.3 Gefahrenbeurteilung: Identifikation und Prozess abschätzung

Die Gefahrenidentifikation soll folgende Angaben liefern:

- Wo Schadenprozesse bisher entstanden sind (aufgrund von Aufzeichungen usw.) oder potentiell entstehen können (mittels Dispositionsüberlegungen), d.h. das sogenannte Entstehungs- oder Startgebiet (vgl. Tab. 3.5);
- auf welchem Weg (Trajektorie) sich die Prozesse bewegen, das sogenannte Transitgebiet;
- wo die Prozesse ihre Dynamik verlieren, z.B. das Ablagerungsgebiet.

Bei der Prozessabschätzung wird untersucht, welche Relation zwischen dem Ausmass bzw. der Intensität und der Häufigkeit des potentiellen Schadenprozesses besteht. Dabei ist zu unterscheiden zwischen (vgl. dazu Abb. 1.3 sowie Kap. 9.1.3)

- periodischen Prozessen, bei denen eine statistisch berechenbare Beziehung Ausmass-Häufigkeit besteht (z.B. Abflussmengen mit Extremalverteilungen) und
- sporadischen Prozessen, bei denen eine solche Relation nicht ersichtlich ist, weil sie nicht besteht oder mangels Daten nicht ermittelt werden kann.

Periodische Prozesse erlauben oft, die interessierenden Werte für die Expositionsanalyse und die Folgenabschätzung direkt statistisch zu bestimmen. Bei episodischen müssen sie dagegen in der Regel aufgrund von Beobachtungen, ergänzt mit modelltheoretischen Überlegungen (Verteilungen von Inputparametern etc.) und Simulationen, probabilistisch bestimmt werden und sind meist nicht geschlossen (als Funktion) darstellbar. Abbildung 1.3 zeigt ein Beispiel dieser Relation für periodische und episodische Prozesse.

Auf«Richtplanniveau» kann sowohl die Gefahrenidentifikation als auch die Prozessabschätzung mit einfachen Modellen vorgenommen werden (z.B. Pauschalgefälle). Auf «Nutzungsplanstufe» müssen meist komplexere (und damit auch aufwendigere) Ansätze gewählt werden, da die Aussagen hier «parzellenscharf», d.h. mit einer Aussagegenauigkeit von 10 m, sein sollen (vgl. Kap. 9.1.5).

Anhand von bestimmten Abbruchkriterien für die Wahrscheinlichkeit wird bestimmt, welches maximale Ausmass des Prozesses noch berücksichtigt wird. Grössere Ereignisse können wohl eintreten, da aber im Normalfall (zumindest mathematisch) kein oberer Grenzwert für das Ereignisausmass definiert ist, muss eine minimale Häufigkeit«willkürlich»festgelegt werden, um endliche Werte zu erhalten. Üblicherweise werden bei Naturgefahren minimale Wahrscheinlichkeiten im Bereich von 0,01 bis 0,001 pro Jahr (Wiederkehrperioden von 100 bzw. 1000 Jahren) angewendet.

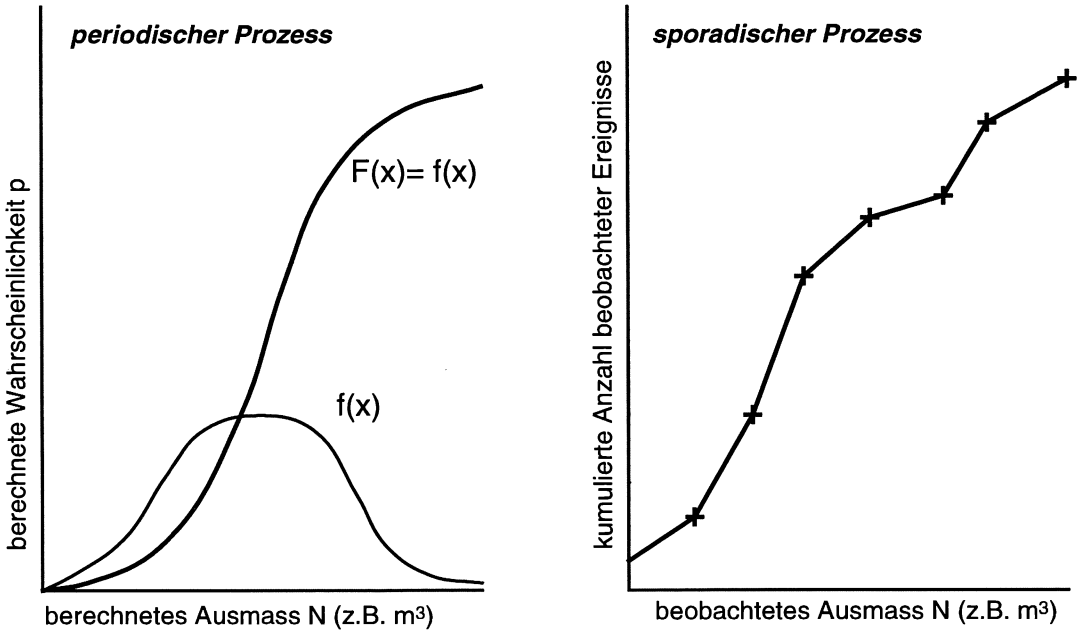


Abb. 1.3 Relation von Ausmass und Häufigkeit bei periodischen und sporadischen Prozessen

1.3.4 Expositions- oder Schadenpotentialanalyse

Aufgabe der Expositionsanalyse ist die Bestimmung der potentiell durch den Prozess beeinträchtigten Schadenobjekte. Vorderhand unberücksichtigt bleibt die Schwere der zu erwartenden Schäden. Diese wird erst bei der Folgenabschätzung bestimmt.

Die Expositionsanalyse ist also eine Beschreibung der Objekte. Dazu kommen zwei Ansätze in Frage:

- Gliederung nach Kategorien (vgl. z.B. Uri 1992)
- Quantifizierung nach Indikatoren (vgl. Kap. 2)

Auf regionaler Stufe genügt in der Regel ersteres, da die Aussagegenauigkeit der anderen Teilschritte ebenfalls beschränkt ist. Auf lokaler Stufe ist dagegen der Indikatorenansatz vorzuziehen, da mit ihm tatsächlich relevante Messgrössen erfasst werden können.

Die Expositionsanalyse soll nicht nur räumlich differenzieren, sondern auch die zeitliche Verteilung des Schadenpotentials berücksichtigen. Dies ist v. a. in Gebirgsgegenden mit teilweise extremen jahreszeitlichen Nutzungsänderungen (z.B. bei touristischen Einrichtungen) von zentraler Bedeutung.

Für einen Sommerferienort könnten diese Informationen auf«Richtplanniveau»z. B. wie in Abbildung 1.4 dargestellt werden.

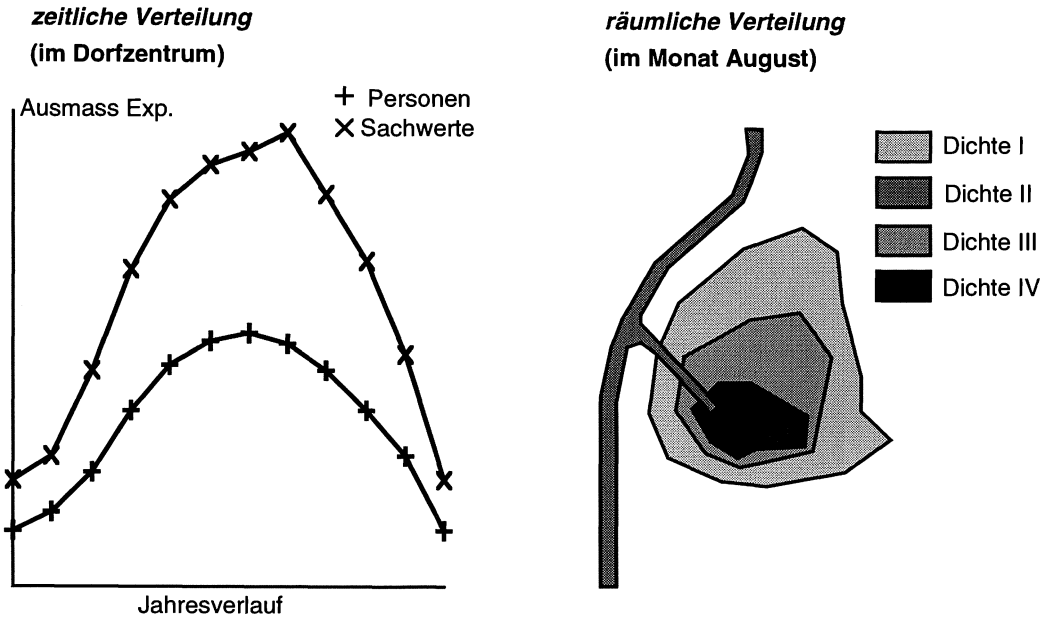


Abb. 1.4 Expositionsanalyse: Zeitliche und räumliche Verteilung des Schadenpotentials

Wie aus der Abbildung hervorgeht, müssen beide Aspekte (Zeit und Raum) miteinander kombiniert betrachtet werden, um aussagekräftige Angaben zu erhalten.

Die Perimeter für Gefahrenbeurteilung und Expositionsanalyse hängen voneinander ab. Es ist wichtig, diese Tatsache bei der Abgrenzung der entsprechenden Gebiete zu berücksichtigen, um den Aufwand möglichst gering zu halten. Primär versucht man, die Gefahrenbeurteilung auf jene Gebiete zu beschränken, in denen auch ein Schadenpotential vorhanden ist. Die Verteilung der Schadenobjekte muss dazu zumindest grob bekannt sein; im Normalfall sind diese Informationen bei der Definition des Untersuchungsgebietes bereits verfügbar (z.B. als Gefahrenhinweiskarte entsprechend dem Beispiel des Kantons Bern, vgl. Anhang B).

1.3.5 Folgenabschätzung

Aufgrund der Informationen über die gefährlichen Prozesse und die betroffenen Objekte müssen nun die zu erwartenden Schäden abgeschätzt werden. Das Ergebnis dieses Schrittes ist das Risiko entsprechend obenstehender Definition.

Zur Festlegung des Massstabs für das Risiko kommen wiederum die schon genannten Ansätze, Kategorien und Indikatoren, in Frage. Die Aussagen auf «Richtplanstufe» haben meist qualitativen oder höchstens semiquantitativen, jene auf «Nutzungsplanniveau» bei Verwendung geeigneter Indikatoren voll quantitativen Charakter.

Die Hauptschwierigkeit der Folgenabschätzung liegt in der Unsicherheit der Beziehungen zwischen Einwirkung, Schadenobjekt und Auswirkung. Nur unter sehr speziellen Bedingungen lassen sie sich theoretisch herleiten (z.B. Schwingungen von Bauten unter Erdbebeneinwirkung). In praktisch allen hier interessierenden Fällen (Impulswirkungen) muss mit groben Modellansätzen oder gutachtlich gearbeitet werden. Die Resultate weisen deshalb meist grosse Streubreiten auf, typischerweise im Bereich von ± einer Grössenordnung. Immerhin kann bei statistisch einwandfreiem Vorgehen und klar deklarierten Annahmen der wahrscheinlichste Wert recht genau bestimmt werden.

1.4 Praktische Anwendung

Bis heute liegen nur wenige Informationen über die Anwendung formalisierter Risikoanalysen bei Naturgefahren in der Schweiz vor. Im Zusammenhang mit Forschungsprojekten, aber auch mit der Realisierung von Infrastrukturanlagen, wurden immerhin Arbeiten unternommen, die sich nicht nur mit den Gefahrenprozessen, sondern auch explizit mit den zu erwartenden Folgen befassen. Erwähnenswert sind z.B. die Fallstudien Naxbergwald Goeschenen/Wassen und Bannwald Altdorf über Sicherheitsplanung in Schutzwaldprojekten (Günter et al. 1989).

1.5 Probleme und offene Fragen

Bei der Anwendung von Risikoanalysen auf Naturgefahren ist mit dem Auftreten folgender, vorderhand noch nicht gelöster Probleme zu rechnen:

- Aufwand: Die Durchführung einer vollständigen Risikoanalyse ist gegenüber einer reinen Prozessanalyse mit zusätzlichem Aufwand verbunden. Dieser ist nur gerechtfertigt, wenn sich durch die Resultate eine mindestens gleich grosse Einsparung (Minderaufwand bzw. Mehrertrag) bei der Umsetzung erzielen lässt. Dies kann nicht immer a priori garantiert werden, zumal Erfahrungszahlen für die Aufwandschätzung bisher nicht vorliegen.
- Datenorganisation: Ein grosser Teil des Aufwandes entsteht bei der Datenbeschaffung. Die Sicherstellung dieser Investition bedingt eine saubere Datenorganisation. Bei räumlichen Daten sind dazu komplexe Datenmodelle notwendig. Erfahrungen aus dem Bereich der geographischen Informationssysteme (GIS) zeigen, dass diese Frage ein Kernproblem der ganzen Analysetätigkeit sein wird.
- Unsicherheit: Eine Risikoanalyse kann bestehende Wissenslücken über physikalische Abläufe nicht schliessen. Sie bietet lediglich die Mittel zur korrekten Darstellung und Verarbeitung von Daten- und Modellunschärfen.

Im Rahmen des FLAM-Moduls Naturgefahren und weiterführender Projekte sind für diese Probleme verschiedene Lösungsansätze entwickelt worden:

- Die durchgeführten Fallbeispiele (vgl. Anhänge A und B) zeigen auf, wie durch die Verwendung weitgehend automatisierter Verfahren der Aufwand für eine Risikoanalyse gering gehalten werden kann.
- Aus den Fallbeispielen gehen auch erste Angaben über den Zeitbedarf und die Kosten von Analysen auf Richtplanebene hervor. Zusätzliche Daten sind aus weiteren Pilotuntersuchungen im Rahmen des Entwicklungsprojektes «Risikoanalyse bei forstlichen Projekten» der Eidg. Forstdirektion (zur Zeit im Gang) zu erwarten.

- In Kapitel 5 wird ein Vorschlag für den Aufbau und die Nachführung eines Ereigniskatasters präsentiert. Es hat sich gezeigt, dass derartige Strukturen bei geringer Komplexität bereits sehr gut Dienste bei der Analyse von Naturrisiken leisten.
- In den Kapiteln 8 und 9 werden neue Ansätze für die Prozessabschätzung auf Richt- und Nutzungsplanstufe (bzw. Vorprojektstufe) vorgestellt. Diese Verbesserungen erlauben, die Unsicherheit in den Prognosen zu reduzieren.

Risikoanalysen schaffen nicht grundsätzlich neue Probleme, sie zeigen aber bestehende Lücken klarer auf. Lediglich der zusätzliche Aufwand steht ursächlich mit der Risikoanalyse im Zusammenhang; er dürfte aber vor allem bei komplexen Untersuchungsobjekten von sekundärer Bedeutung sein.

1.6 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Risikoanalysen sind ein für Naturgefahren geeignetes Verfahren zur Erfassung und Darstellung operativ relevanter Sicherheitsaspekte. Sie sind stufengerecht anwendbar und an spezifische Aufgabenstellungen anpassbar. Sie liefern die notwendigen Informationen zur Erreichung und Gewährleistung von Sicherheitsvorgaben. Ihre Resultate lassen einen Vergleich zwischen verschiedenen Arten von Gefährdungen zu.

Risikoanalysen stellen eine methodische Ergänzung der bisherigen, v.a. auf den Gefahrenprozess konzentrierten Abklärungen dar. Sie behandeln Naturgefahren unter dem Gesichtspunkt der zu erwartenden Schäden. Dabei kommt eine ganzheitliche Sichtweise zur Anwendung, bei der räumliche, physikalische und zeitliche Aspekte berücksichtigt werden können.

Die wesentlichsten Probleme bei der Durchführung einer Risikoanalyse sind der zusätzliche Aufwand, die Organisation der Datengrundlage und die Unsicherheit der Resultate. Die beiden letztgenannten Aspekte sind aber nicht direkt eine Folge der Risikoanalyse, sondern allgemein gültig bei der Verarbeitung räumlicher Daten mittels Modellen.

1.7 Literatur

Günter, R.; Pfister, F. (1989): Sicherheitsplanung in Schutzwaldprojekten; dargestellt an den Beispielen Naxbergwald Göschenen/Wassen und Bannwald Altdorf. Bericht WSL 312. Birmensdorf.

PPRS (1993): Definitionen für das Polyprojekt Risiko und Sicherheit technischer Systeme. ETH Zürich. *Nicht veröffentlicht.*

Uri (1992): Richtlinien für den Hochwasserschutz. Kanton Uri. Altdorf.

2 Grundlagen zur Erhebung des Schadenpotentials

2.1 Einleitung

Isoliert betrachtet sind Naturereignisse physikalische Prozesse. Als solche stellen sie noch kein Problem dar. Sobald sie aber mit menschlichen Werten in Kontakt kommen, entstehen daraus Risiken (vgl. Definition Kap. 1). Damit erhalten sie eine soziopolitische Bedeutung, weil Sicherheitsbedürfnisse befriedigt werden müssen. Damit bestimmt werden kann, wo solche Bedürfnisse bestehen, müssen also zuerst die massgebenden menschlichen Werte erfasst werden. Sie bilden das Schadenpotential.

Zusammensetzung und Grösse des Schadenpotentials hängen sehr stark von menschlichen Aktivitäten ab. Damit sind auch Richtung und Tempo seiner Entwicklung in hohem Masse steuerbar. Eine solch ausgeprägte anthropogene Beeinflussung ist beim Gefahrenprozess in der Regel nicht gegeben. Zudem beschreibt das Schadenpotential (im Gegensatz zum Gefahrenprozess) nicht einen Ablauf, sondern einen Zustand. Aus diesen Gründen ist es sinnvoll, das Schadenpotential getrennt vom Gefahrenprozess zu erfassen. Dieser Schritt bildet die zweite wichtige Grundlage für die Durchführung einer Risikoanalyse (vgl. Kap. 1 und Abb. 2.1).

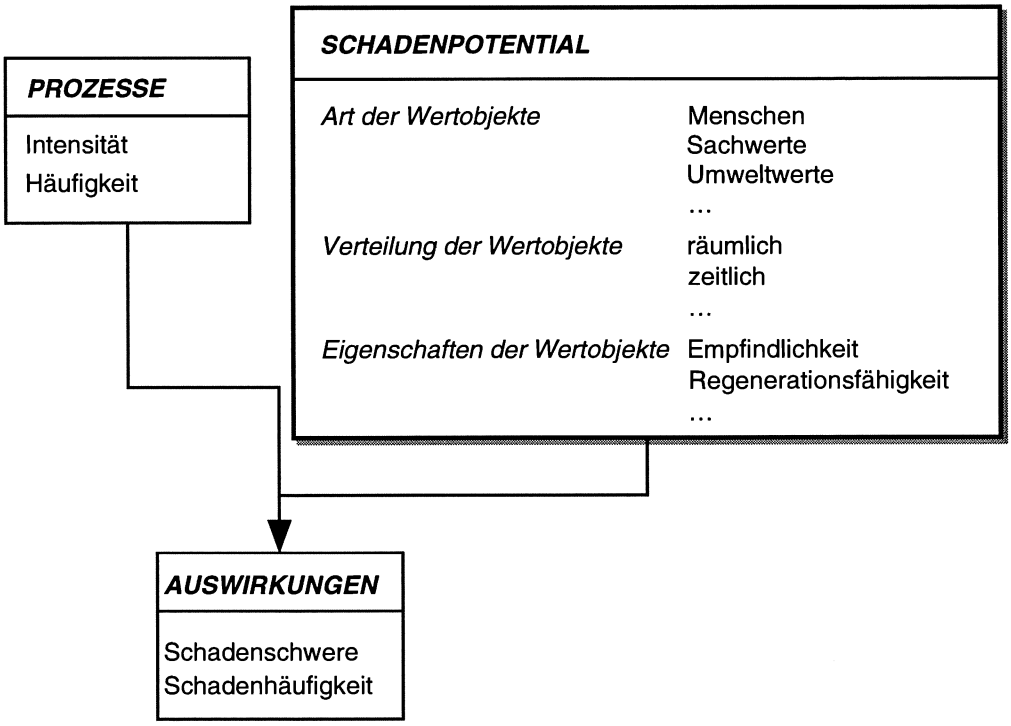


Abb. 2.1 Funktion der Erfassung des Schadenpotentials im Rahmen der Risikoanalyse

In diesem Kapitel werden die theoretischen Grundlagen für die Bestimmung des Schadenpotentials dargestellt. Dabei wird ein Idealfall skizziert, bei dem die erforderlichen Daten in direkt verwertbarer Form vorliegen oder mit geringem Aufwand aufbereitet werden können.

In der Praxis sind solche Verhältnisse selten, ein Teil der hier erwähnten Informationen kann nicht oder nur mit sehr grossem Aufwand beschafft werden. In Kapitel 6 wird an konkreten Beispielen gezeigt, welche Aussagengüte zum Schadenpotential mit den heute verfügbaren Daten erreichbar ist.

2.2 Begriff und Konzept des Schadenpotentials

Schadenpotential bezeichnet im folgenden die Menge der potentiell durch Naturereignisse beeinträchtigten Objekte in ihrer zeitlichen und räumlichen Verteilung.

Das Schadenpotential ist zeitlich und räumlich variabel. Diesem Umstand ist besonders bei Risikoanalysen für saisonale Prozesse (z.B. Lawinen) Rechnung zu tragen (siehe Abb. 2.2).

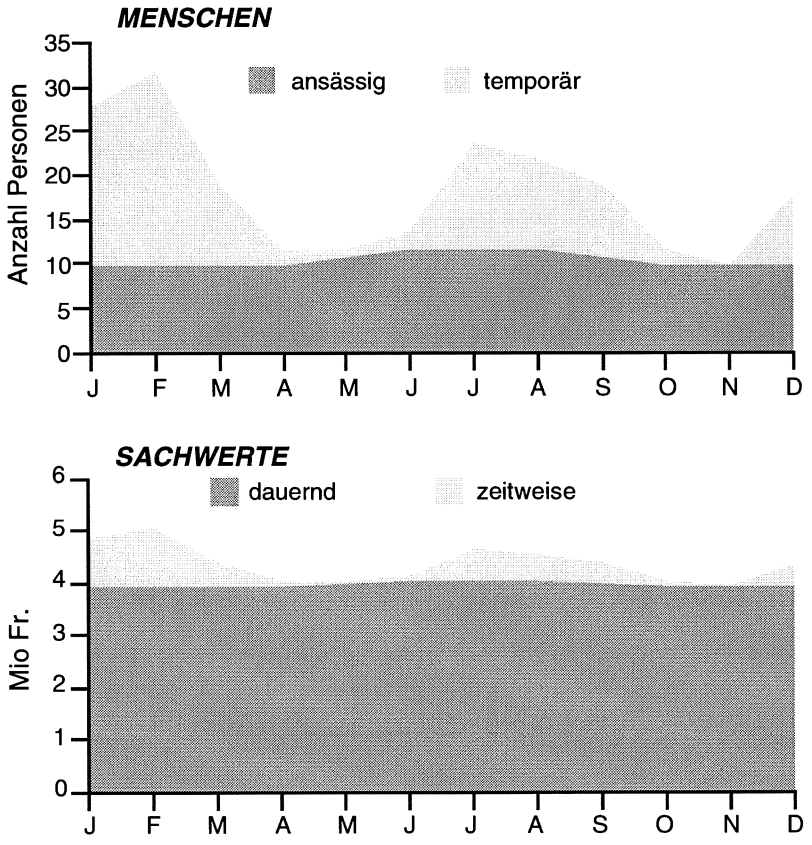


Abb. 2.2 Zeitliche Verteilung des Schadenpotentials am Beispiel einer Sommer- und Wintertourismusdestination

Wie bei der gesamten Risikoanalyse wird auch beim Schadenpotential eine systemische oder zumindest ganzheitliche Betrachtungsweise angestrebt. Das Schadenpotential wird als funktionales Subsystem des Analyseobjektes aufgefasst. Neben den Objekten müssen in jedem Fall auch die Systemfunktionen erfasst werden. Die räumliche Abgrenzung des Subsystems ist meist enger als diejenige des Gesamtsystems, es werden meist nur Teilflächen eines Untersuchungsperimeters betrachtet.

Für die Risikoanalyse muss das Schadenpotential in geeigneter Form charakterisiert werden, damit die Folgenabschätzung möglich ist. Für diese Charakterisierung bestehen verschiedene Ansätze (vgl. Kap. 2.3); welcher gewählt wird, hängt u.a. von der Betrachtungsebene (Richtplan- bzw. Nutzungsplanstufe) ab.

2.3 Messverfahren und Skalen

Das Schadenpotential kann entweder global aufgrund von Kategorien oder detailliert mit Indikatoren charakterisiert werden.

Bisher wurde das Schadenpotential bei der Betrachtung von Naturgefahren fast ausschliesslich mittels Kategorien beschrieben. Gebräuchliche Kategorien sind z.B:

- Geschlossene Siedlungen;
- Streusiedlungen;
- Landwirtschaftsgebiete;
- Industriezonen.

Die Zugehörigkeit des Schadenpotentials zu verschiedenen Kategorien ist in der Regel eindeutig, schnell und mit geringem Aufwand festzulegen. Auf Richtplanstufe, wo auch die Prozessanalyse mit reduzierter Präzision erfolgt, ist dieses Vorgehen in der Regel genügend genau.

Der Indikatoransatz wurde bis anhin v.a. im Bereich der technischen Risikoanalyse verwendet. Im Vergleich zu den Kategorien, die von Systembestandteilen ausgehen, ermöglichen Indikatoren auch eine Berücksichtigung von Systemleistungen und den Vergleich zwischen Risiken verschiedener Herkunft. Zusätzlich ist bei diesem Ansatz die Genauigkeit wesentlich erhöht. Damit ist er primär bei Risikoanalysen auf Nutzungsplanstufe einsetzbar.

Eine vergleichende Darstellung zur Bestimmung des Schadenpotentials mittels Kategorien- und Indikatorenansatz zeigen Abbildung 2.3 und Tabellen 2.1 und 2.2. Daraus lassen sich die Vor- und Nachteile (Aufwand, Genauigkeit der Resultate) der beiden Ansätze gut erkennen.

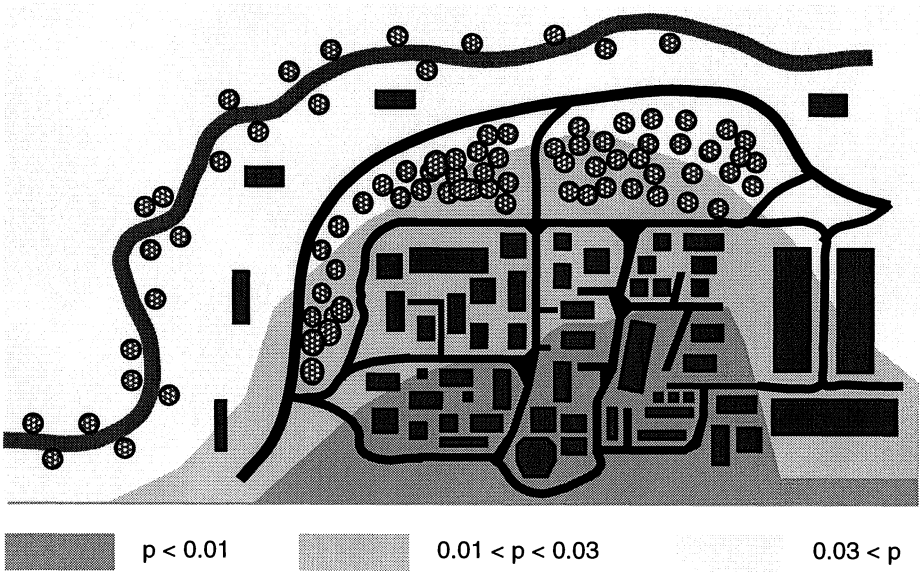


Abb. 2.3 Illustration zur Bestimmung des Schadenpotentials. Das Gebiet wird in 3 Zonen geteilt: Zone I umfasst die Fläche, welche mit $p > 0.03$, Zone II jene, die mit $p > 0.01$ pro Jahr von einem Hochwasser des Flusses betroffen ist, Zone III den ganzen Perimeter

Zone	*Schadenpotential-Kategorien*
I	Naturraum, Wald, Landwirtschaftsland, Streusiedlung
II	Naturraum, Wald, Landwirtschaftsland, Streusiedlung, geschlossene Siedlung, Industriezone
III	Naturraum, Wald, Landwirtschaftsland, Streusiedlung, geschlossene Siedlung, Industriezone, Gewerbezone

Tab. 2.1 Ermittlung des Schadenpotentials mit Kategorienansatz. Der Verzicht auf eine Quantifizierung erlaubt eine rasche Zuordnung, Vergleiche sind aber nur sehr beschränkt möglich (siehe Unterscheidung zwischen Zone II und III)

Typ	*Bezugs-einheit*	*Bauwert (kFr.)*	*Inhaltswert (kFr.)*	*Personen (Anzahl)*	*Anzahl Zone I*	*Anzahl Zone II*	*Anzahl Zone III*
Transitstrasse	pro km	3000	200	10.0	0.25	0.33	0.33
Quartierstr	pro km	1500	500	50.0	0.08	0.45	0.70
Wald	pro ha	10	0	0.0	0.31	0.63	0.63
Gehöft	pro Objekt	1200	1000	2.0	4.50	5.00	5.00
Garage	pro Objekt	50	20	0.0	0.00	0.00	5.00
EFH	pro Objekt	600	600	1.5	0.00	15.00	22.00
Doppel-EFH	pro Objekt	1000	1000	3.0	0.00	6.00	14.00
Wohnblock	pro Objekt	3000	3000	6.0	0.00	1.00	2.00
Kaufhaus	pro Objekt	30000	40000	25.0	0.00	0.00	1.00
Fabrik	pro Objekt	20000	20000	15.0	0.50	3.00	3.00
Σ Zone I		16300	14600	23			
Σ Zone II		85700	83300	127			
Σ Zone III		131500	138700	205			
(Σ ZII)/(Σ ZI)		5.26	5.71	5.52			
(Σ ZIII)/(Σ ZI)		8.07	9.50	8.91			
(Σ ZIII)/(Σ ZII)		1.53	1.67	1.61			

Tab. 2.2 Ermittlung des Schadenpotentials mit Indikatorenansatz. Die Summen (grau unterlegt) ergeben sich durch die Multiplikation der Indikatorwerte pro Einheit (Spalten 3 bis 5) mit der jeweiligen Anzahl pro Zone (Spalten 6 bis 8). Numerische Vergleiche (unterste 3 Zeilen) sind möglich, der Aufwand zur Erhebung ist höher als beim Kategorienansatz.

Eine weitere, vom Messansatz unabhängige Aufgabe bei der Bestimmung des Schadenpotentials ist die Festlegung geeigneter Skalen. Sie dienen dazu, unterschiedliche Aspekte (z.B Menschenleben und finanzieller Wert) des Schadenpotentials miteinander in Beziehung zu setzen.

Selbst wenn Vergleiche zwischen solchen Aspekten in der Praxis nur selten explizit gemacht werden, sind derartige Betrachtungen unerlässlich. Mit der Wahl von Bewertungsskalen ist es möglich, diese Vergleiche auf eine transparente und diskutierbare Grundlage zu stellen.

Wird aus irgendwelchen Gründen eine Aggregation des gesamten Schadenpotentials zu einem einzigen, quantifizierten Wert gewünscht (z.B. zur Ausscheidung von Hochrisikozonen), kann auf eine Skalierung aus methodischen Gründen gar nicht verzichtet werden. Sie ermöglicht auch, den Einfluss von ständig vorhandenen und temporären Bestandteilen des Schadenpotentials zu quantifizieren. Weiter kann sie Informationen für eine Prioritätensetzung und die Mittelverwendung beim Risikomanagement liefern.

Bis heute bestehen keine verbindlichen Vorgaben in diesem Bereich. Im technischen Sektor wurde aber mit dem Handbuch zur Störfallverordnung (BUWAL 1991) immerhin ein Hilfs-

mittel geschaffen, das indirekt via Zuordnung von Störfallwerten gewisse Anhaltspunkte enthält. Einen Ausschnitt daraus zeigt Abbildung 2.4.

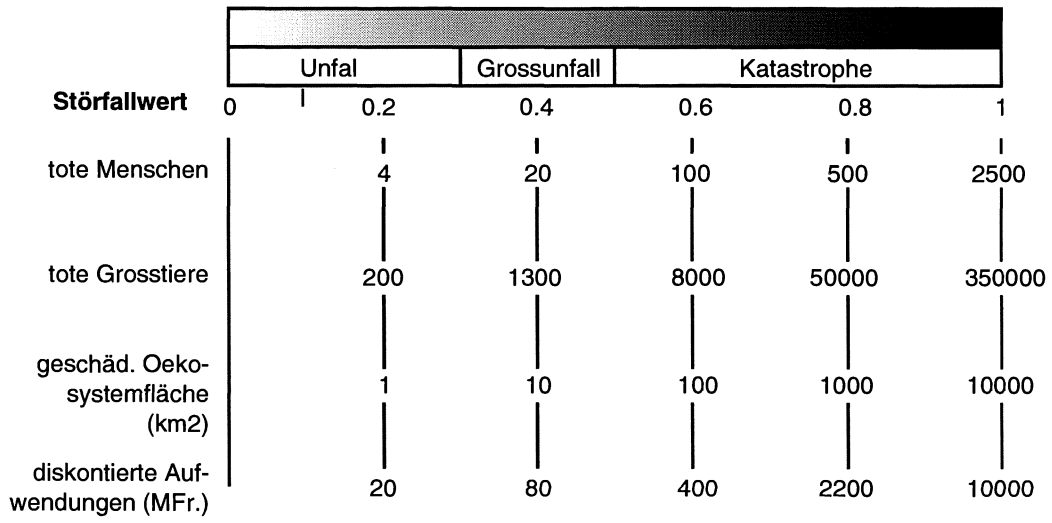


Abb. 2.4 Störfallwerte nach Handbuch I zur Störfallverordnung (BUWAL 1991).

2.4 Datenbeschaffung

Grundsätzlich wäre der Aufwand für die Datenbeschaffung bei der Bestimmung des Schadenpotentials klein verglichen mit den anderen Teilschritten der Risikoanalyse. Praktisch alle relevanten Angaben liegen nämlich bereits vor (Bevölkerung, technische und finanzielle Daten zu Objekten). Dies gilt sowohl bei der Verwendung des Kategorieansatzes auf Richtplanstufe als auch für den Indikatoransatz auf Stufe Nutzungsplan.

Allerdings stellt sich bei der praktischen Anwendung das Problem, dass nur wenige dieser Informationen in georeferenzierter Form, also mit ihrer räumlichen Lage, verfügbar sind. Diese Aufbereitung verursacht für den Einzelfall meist einen zu hohen Aufwand, so dass nur mit groben Auflösungen (ha-Raster oder grösser) gearbeitet werden kann. Zur Zeit wird zwar in der Schweiz für verschiedene Daten eine Georeferenzierung vorgenommen. Bis alle Angaben flächendeckend vorhanden sind, werden aber noch mehrere Jahre vergehen. Für alle nachstehend genannten Teile des Schadenpotentials ist vorgängig zu prüfen, mit welcher Genauigkeit sie bestimmt werden sollen.

Die Anzahl der zum Schadenpotential gehörenden Bauwerke lässt sich meist aus Karten hinreichend genau bestimmen. Ihr finanzieller Wert kann z.B. bei Gebäudeversicherungen ermittelt oder als Durchschnittswerte angenommen werden.

Der Wert von Bauwerksinhalten kann für Wohnbauten als Anteil des Gebäudewertes bestimmt oder in Spezialfällen direkt erhoben werden. Für Industrie- und Gewerbebauten bestehen oft Angaben bei den Betreibern oder bei Versicherungen.

Die Anzahl der betroffenen Personen kann z.B. aus Volkszählungsdaten, aus der Datenbank Geostat des Bundesamtes für Statistik (BFS 1992) oder via Einwohnerkontrolle der Gemeinden bestimmt werden. Allenfalls sind die Daten für die detaillierte Nutzungsplanstufe durch eigene Erhebungen zu ergänzen bzw. zu verfeinern.

Für funktionale Elemente des Schadenpotentials (z.B. Interventionsmittel) können die jeweiligen Betreiber direkt angefragt werden.

Ueber die wichtigsten Schadenpotentiale, die zu sekundären Gefährdungen und Schäden führen können (z.B. Chemikalienlager), bestehen heute detaillierte Inventare, die von Amtsstellen verwaltet werden.

Abbildung 2.5 zeigt schematisch den Ablauf der Datenbeschaffung.

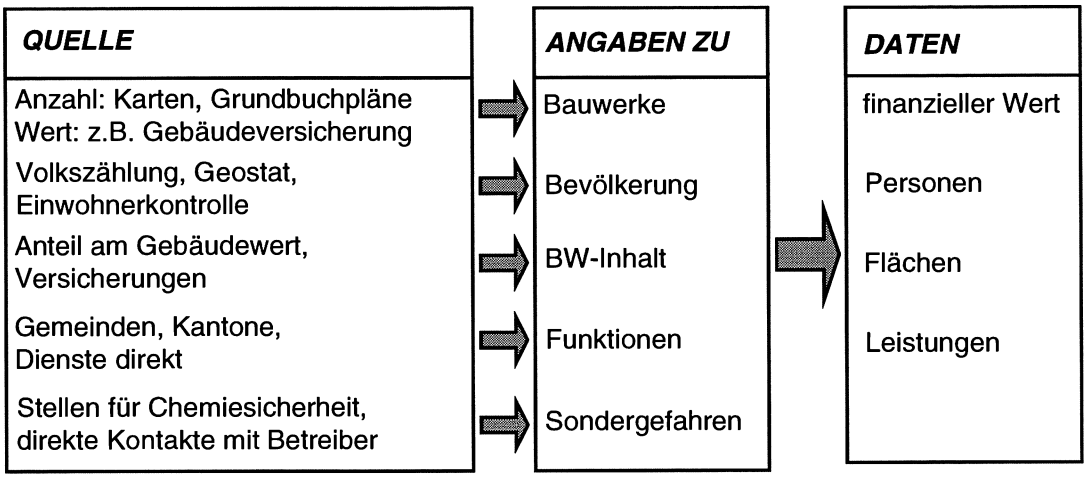


Abb. 2.5 Datenbeschaffung zur Bestimmung des Schadenpotentials: mögliche Quellen, Datenbereiche und Daten

Prinzipiell wäre es möglich, sehr detaillierte Informationen zum Schadenpotential zu beschaffen. In vielen Fällen sind aber die bei der Prozess- und der Folgenabschätzung verwendeten Modellansätze mit derart grossen Unsicherheiten behaftet, dass die vergleichsweise geringe Variation der Schadenpotentialdaten nicht wesentlich ins Gewicht fällt. Bevor im grossem Umfang zusätzliche Erhebungen gemacht werden, ist deshalb folgendes zu bedenken:

- Der Aufwand zur Beschaffung solcher Informationen ist sehr gross. Neben methodischen Problemen (Art der Erhebung, Konsistenz) treten vielfach auch Schwierigkeiten auf, wenn betriebliche oder private Sphären tangiert werden (Vertraulichkeit, Datenschutz).
- Das Resultat der gesamten Risikoanalyse wird nur unwesentlich «schärfer» mit genaueren Daten zum Schadenpotential. Dies zeigt z.B. Abbildung 2.6.

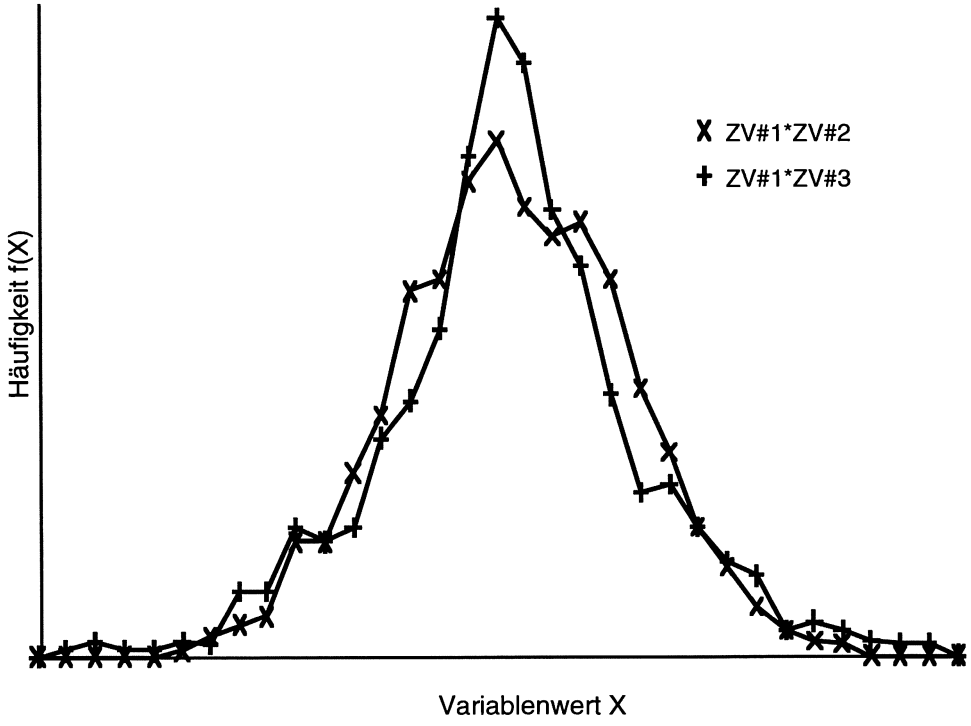


Abb. 2.6 Einfluss «genauer» Daten auf die Risikoanalyse: Die Darstellung zeigt die numerische Simulation der Verteilung einer multiplikativen Verknüpfung von je 2 normalverteilten Zufallsvariablen. Zufallsvariable ZV#1 hat μ=0, σ=2, Zufallsvariable ZV#2 μ=1, σ=0 (Punktwert) und Zufallsvariable ZV#3 μ=1, σ=0.5. Die Genauigkeit der Resultate wird nur minim verbessert durch die Präzisierung einer einzelnen Variable (in diesem Falle ZV#2).

2.5 Vorgehen, Ablaufschema

Bei der Bestimmung des Schadenpotentials ist zuerst festzulegen, ob mit einem Kategorien- (v.a. Richtplanstufe) oder einem Indikatorenansatz (Nutzungsplanstufe) gearbeitet werden soll. Danach kann nach dem Ablaufschema in Abbildung 2.7 vorgegangen werden.

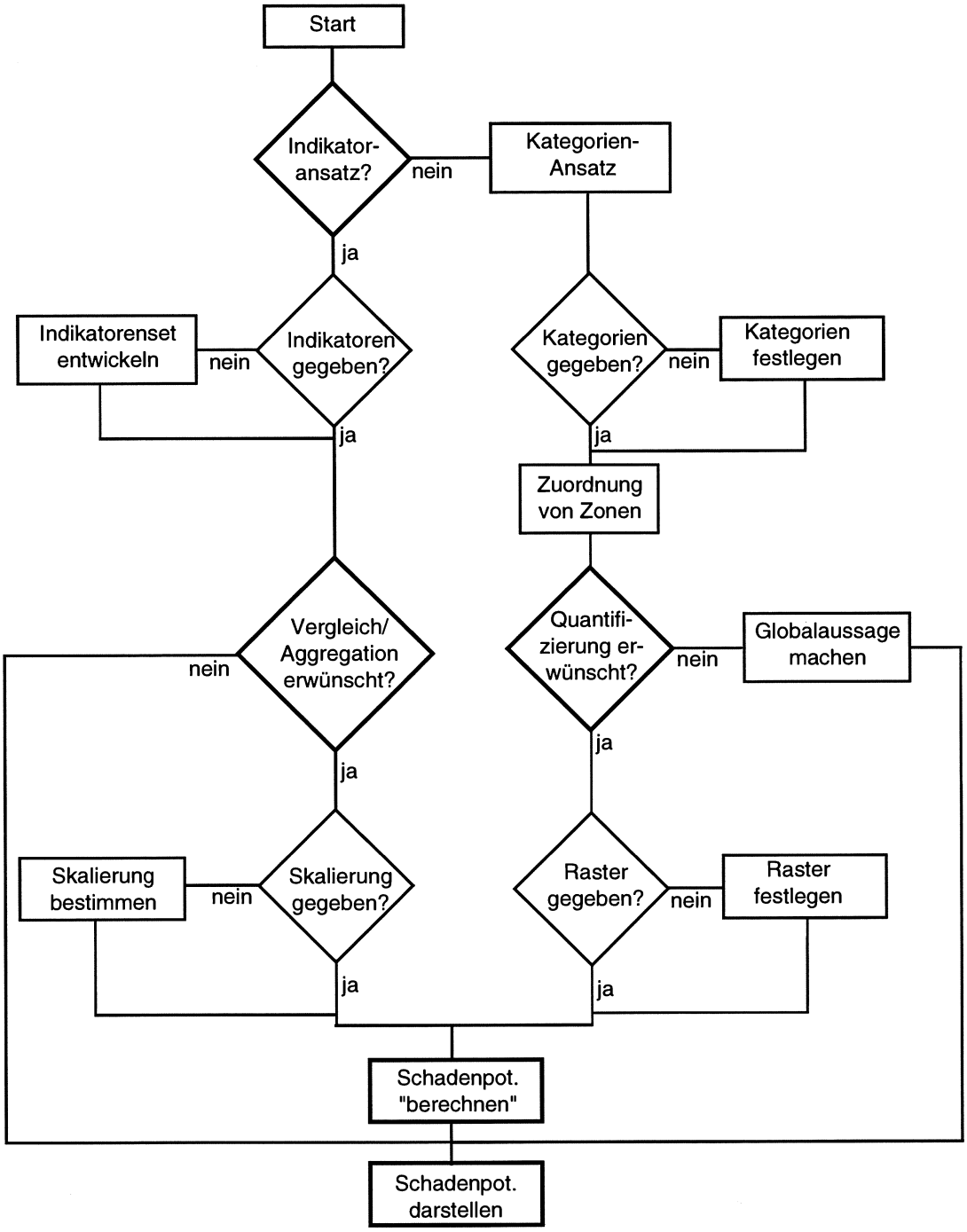


Abb. 2.7 Ablaufschema für die Bestimmung des Schadenpotentials

Mit Vorteil wird zuerst der zeitinvariante Teil des Schadenpotentials bestimmt. Für ein solches Vorgehen sprechen folgende Punkte:

- Angaben über ortsfeste bzw. -ansässige Teile des Schadenpotentials sind einfach verfügbar.
- Verglichen mit dem zeitvarianten Teil sind diese Angaben in der Regel genauer.
- In den meisten Gebieten bilden die dauerhaft anwesenden Objekte den grössten Anteil am Schadenpotential.

2.6 Schlussfolgerungen, Ausblick

Theoretisch lässt sich das Schadenpotential mit geringem Aufwand für die Zwecke der Risikoanalyse genügend genau bestimmen. Die Erfassung kann je nach Anforderungen global oder differenziert erfolgen. In der praktische Anwendung stellen sich folgende Probleme:

Viele Daten für eine umfassende Schadenpotentialbestimmung, wie sie hier dargestellt ist, liegen nicht in georeferenzierter Form vor. Sie können nur durch eine entsprechend aufwendige Nachbearbeitung operationell verwendbar gemacht werden.

Schnelle und grossflächige Abklärungen sind nur möglich, wenn sie automatisiert werden können (Anwendung von GIS-Technologie).

Diese beiden Probleme werden durch die Anwendungsbeispiele in Kapitel 6 und im Anhang gut verdeutlicht.

Schwierigkeiten entstehen ferner bei der Festlegung von Skalierungen für die Aggregation und für Vergleiche zwischen verschiedenen Schadenobjekten (Mensch vs. Sachwerte). Diese sind aber nicht methodischer, sondern politisch-rechtlicher oder moralischer Natur. Das hier vorgestelle Vorgehen ermöglicht immerhin, diese notwendigen Entscheidungen auf eine klare und diskutierbare Basis abzustellen.

Eine weitere Schwierigkeit besteht in der Abgrenzung des Schadenpotentials wie sie nach Waldgesetz (WaG, SR 921.01) erforderlich ist. Klar ist die Situation nur bei den Menschenleben; was aber unter erheblichen Sachwerten zu verstehen ist, wird dort nicht näher definiert.

2.7 Literatur

BFS (1992): GEOSTAT Benutzerhandbuch. Bundesamt für Statistik (BFS). Bern.

BUWAL (1991): Handbuch I zur Störfallverordnung. EDMZ. Bern.

3 Konzept Gefahrenbeurteilung und -bewertung

3.1 Naturgefahren – Gliederung und Definitionen

Die gemäss Waldgesetz und Wasserbaugesetz zu berücksichtigenden Gefahren sind

- *Lawinen (Staub- und Fliesslawinen, inkl. Eislawinen);*
- *Steinschlag / Felssturz (Steinschlag, Blockschlag, Felssturz und Bergsturz);*
- *Hochwasser / Murgang (Überschwemmung, Ufererosion, Übermurung);*
- *Rutschungen.*

Naturgefahren im Sinne des schweizerischen Waldgesetzes und des Wasserbaugesetzes sind Gefahren für Menschen sowie Sach- und Naturwerte, die sich aus der Bewegung von Wasser-, Schnee-, Eis-, Erd- und Felsmassen im Bereich der Erdoberfläche ergeben. In landläufiger Unterteilung gehören zu diesen Prozessen Lawinen, Überschwemmungen, Erdrutsche usw.

Im Rahmen der Harmonisierungsbestrebungen einer vom Ausschuss «Naturgefahren und Raumplanung» (ANR 1996) eingesetzten Arbeitsgruppe, wurden die gemäss Bundesgesetz und Verordnung über den Wald (WaG, SR 921.0 und WaV, SR 921.01) sowie gemäss Bundesgesetz und Verordnung über den Wasserbau (WBG, SR 721.100 und WBV, SR 721.100.1) zu berücksichtigenden Gefahren in folgende Hauptgruppen unterteilt:

- Lawinen;
- Steinschlag / Felssturz;
- Hochwasser / Murgang;
- Rutschungen.

Diese vier Hauptgruppen umfassen je eine grosse Zahl von einzelnen Prozessen, die nach verschiedenen Gesichtspunkten unterteilt werden können, so z.B.

- nach Bewegungsmechanismen (stürzen, fliessen, plastisches Verformen, gleiten usw.);
- nach beteiligtem Material bzw. Mischanteilen dieser Stoffe (Wasser, Schnee, Eis, Fels, Lockermaterial);
- nach beteiligten Volumina und Massen;
- nach Geschwindigkeiten.

Im Ausschuss «Naturgefahren und Raumplanung» (ANR 1996) wurde eine pragmatische Unterteilung angestrebt, die sich einerseits an landläufig gebräuchlichen Begriffen und Vorstellungen orientiert, andererseits aber die gefährlichen Vorgänge in ihrer Wirkungsweise möglichst gut charakterisieren soll.

Im folgenden werden die einzelnen Prozessgruppen kurz charakterisiert und die wichtigsten Definitionen aufgeführt, wie sie in den weiteren Ausführungen verwendet werden. Für weitergehende Informationen muss auf die umfangreiche Spezialliteratur verwiesen werden.

3.1.1 Lawinen

Lawine:	*plötzliche und schnelle Talwärtsbewegung von Schnee und / oder Eis als gleitende, fliessende oder rollende Masse oder als aufgewirbelte Schneewolke an Hängen und Wänden mit einer Sturzbahn von über 50 m Länge.*
Fliesslawine:	*plötzliche und schnelle Talwärtsbewegung von Schnee und / oder Eis vorwiegend als gleitende, fliessende oder rollende Masse.*
Staublawine:	*plötzliche und schnelle Talwärtsbewegung von Schnee und / oder Eis vorwiegend als aufgewirbelte, stiebende Schneewolke.*

Unter **Lawinen** versteht man die plötzliche und schnelle Talwärtsbewegung von Schnee oder Eis als gleitende, fliessende oder rollende Masse oder als aufgewirbelte Schneewolke an Hängen und Wänden mit einer Sturzbahn von über 50 m Länge. Beträgt die Dislokation weniger als 50 m, nennt man diesen plötzlichen Abgang einer Schneedecke Schneerutsch (Haefeli et de Quervain 1955: 72) oder Schneeschlipf.

Gemäss Salm (1982: 85) variieren die Geschwindigkeitsbereiche in der Sturzbahn grosser Lawinen etwa in folgenden Bereichen:

- nasse Fliesslawinen: 10 bis 30 m/s;
- trockene Fliesslawinen: 20 bis 40 m/s;
- Staublawinen: 30 bis 70 m/s.

Die im Sinne des Waldgesetzes (WaG, SR 921.0 und WaV, SR 921.01) zu beachtenden Schneelawinen betreffen hauptsächlich Siedlungsgebiete und wichtige Verkehrswege. Nicht zur Diskussion steht hier die Frage der Sicherheit von Tourenskifahrern in höher gelegenen Zonen. In den möglichen Wirkungsgebieten von Lawinen im Siedlungsraum interessiert neben der Häufigkeit der Lawinen vor allem deren mögliche Druckwirkung (siehe Kap. 9.1.2).

Im weiteren wird auf die umfangreiche Literatur verwiesen, so u.a. auf Alean, J. 1984; Baumann et Buri 1994; BFF et SLF 1984; Buser et al. 1985; Perla et Martinelli 1976; Salm et al. 1990; Salm 1982; Salm 1994; UNESCO 1981; Wilhelm et al. 1993; WSL 1990.

3.1.2 Steinschlag / Felssturz

Steinschlag/ Blockschlag:	*Fallen, Springen und Rollen von isolierten Steinen (∅ < 2 m) und Blöcken (∅ > 2 m).*
Felssturz:	*Ablösen eines in sich mehr oder weniger fragmentierten Gesteinspaketes «en bloc» aus dem Gebirgsverband, das während des Sturzes bzw. beim Aufprall in Blöcke und Steine weiter fraktioniert wird, wobei die Interaktionen zwischen den Komponenten keinen massgebenden Einfluss auf die Dynamik des Prozesses haben.*
Bergsturz:	*Gleichzeitiger Absturz sehr grosser, im ursprünglichen Felsverband mehr oder weniger kohärenter Felsmassen unter Erreichung hoher Geschwindigkeiten, wobei der Verlagerungsmechanismus durch eine starke Wechselwirkung zwischen den Komponenten (Sturzstrom) gekennzeichnet ist.*

Steinschlag und Felssturz sind echte gravitative Prozesse. Abbruch und Ablösung erfolgen mehr oder weniger abrupt, meist an präformierten, richtungsgebenden geologischen Diskontinuitäten, Spalten und Klüften. Die Gefahr von Abbrüchen ist besonders gegeben, wenn Felskörper ausser von talwärts einfallenden Flächen auch von Querklüften oder ähnlichem abgetrennt sind, und zusätzlich Kluftwasserdruck bzw. Strömungsdruck auftritt (Krauter et Köster 1991). In der Sturzbewegung legt das Gesteinsmaterial den grössten Teil des Weges in der Luft zurück, im freien Fall, springend oder rollend. Bedingt durch die Bewegungsart handelt es sich hier ausnahmslos um schnelle Massenselbstbewegungen, welche sich innerhalb von Sekunden oder wenigen Minuten ereignen.

Unterschieden werden in der Regel Steinschlag, Felssturz und Bergsturz, wobei oft der Komponentendurchmesser, die Kubatur der bewegten Masse und die Ablagerungsfläche als Kriterien verwendet werden (z.B. Abele 1974).

In den Empfehlungen zur «Berücksichtigung der Massenbewegungsgefahren bei raumwirksamen Tätigkeiten (BUWAL, BWW et BRP 1997) werden Sturzprozesse für die Belange der Gefahrenbeurteilung hauptsächlich aufgrund des Bewegungsmechanismus klassiert. Die folgenden Ausführungen sind z.T. diesen Empfehlungen entnommen.

Stein- und Blockschlag sind charakterisiert durch mehr oder weniger isolierte Sturzbewegungen (Fallen, Springen und Rollen) von Einzelkomponenten (Steine mit $\varnothing < 2$ m bzw. Blöcke mit $\varnothing > 2$ m). Dieser wiederholt und oft mit saisonalen Spitzen ablaufende Prozess ist Folge der stetigen, durch die Gesteinsbeschaffenheit und die klimatischen Einflüsse gesteuerten Verwitterung und dem damit verbundenen Zerfall einer Felswand. Herkunftsgebiet können neben Felsgebieten auch Lockergesteinszonen (Sturzmaterial, Gehängeschutt, Moräne) sein. Die Bewegung erfolgt als freies Fallen, als Springen und Rollen sowie z.T. als Gleiten. Dabei werden Geschwindigkeiten in der Grössenordnung von 5 bis 30 m/s erreicht. Bei Hangneigungen unter ca. 30° kommen bewegte Steine und Blöcke im allgemeinen zum Stillstand. Wald kann die kinetische Energie der Blöcke oder Steine durch Kontaktreaktionen mit den Bäumen stark reduzieren.

Beim **Felssturz** löst sich ein grösseres, in sich mehr oder weniger fragmentiertes Gesteinspaket «en bloc» aus dem Gebirgsverband und stürzt ab. Das verlagerte Volumen liegt meist zwischen 100 und 100'000 m^3 pro Ereignis. In einzelnen Fällen können auch bedeutend grössere Volumina verlagert werden (z.B. 1991 in Randa: zwei Felsstürze zu je ca. 15 Mio. m^3 im Abstand von ca. 1 Monat). Die Art des Losbrechens hat meist wenig Einfluss auf die Fortsetzung des Ereignisses. Im Vergleich zum Bergsturz sind die Interaktionen zwischen den Sturzkomponenten und der dabei entstehende Energieaustausch relativ gering. Die Verlagerungsgeschwindigkeit liegt häufig im Bereich zwischen 10 und 40 m/s.

Ein **Bergsturz** ergibt sich aus einem gleichzeitigen Loslösen sehr grosser Gesteinsvolumina (1 Mio. bis mehrere Mio. m^3). Die Art des Ausbrechens ist nicht definiert. Der initiale Mechanismus kann zum Beispiel die Ausbildung einer rampenförmigen Bruchfläche sein. Der Verlagerungsprozess des Bergsturzes wird durch die Topographie sowie die Fragmentierung der Gesteinsmasse und die Interaktion zwischen den Bruchstücken bestimmt. Typisch ist die starke Wechselwirkung zwischen den Komponenten (Sturzstrom). Dadurch kann das Material bis zu feinstem Gesteinsmehl zerrieben oder gar aufgeschmolzen werden. Es werden Geschwindigkeiten von über 40 m/s erreicht. Die Transportdistanzen sind auch bei geringerem Gefälle sehr beträchtlich und können mehrere Kilometer betragen. Infolge der grossen Volumina vermögen Bergstürze die Landschaft nachhaltig zu verändern. In den Gebirgstälern führen die grossen Sturzmassen oft zu einem Aufstau von Bächen und Flüssen, verbunden mit der Gefahr eines unter Umständen katastrophalen Wasserausbruchs und der Überflutung der talabwärts liegenden Gebiete.

Im weiteren wird auf die umfangreiche Literatur verwiesen, so u.a. auf Antoine et Giraud 1995; Böll 1995; Bozzolo et al. 1988; Descoeudres 1988, 1990; Descoeudres et Zimmermann 1987; Erismann 1992; FAN 1994; Gerber et Böll 1993, 1994; Gsteiger 1993; Heierli et al. 1981; Jahn 1988; Krummenacher et al. 1993; Krummenacher 1995; Pfeiffer 1989; Rochet 1987; Schindler et al. 1993; Spang et Rautenstrauch 1988.

3.1.3 Hochwasser / Murgang

Hochwasser- und Murganggefahren umfassen ein breites Spektrum verschiedener Prozesse mit unterschiedlichen Wirkungsmechanismen. Bei Flachlandflüssen ist in erster Linie die Gefahr von Überschwemmungen und Uferunterspülungen zu beachten. Bei Gebirgsgewässern, besonders bei steilen Wildbächen, spielen vor allem auch die mit intensiven Feststoffverlagerungen verbundenen Gefahren bzw. die Gefahr von grossen Feststoffablagerungen eine wichtige Rolle.

Unter Hochwasser wird eine hohe Wasserführung im Gerinne verstanden. Steigt die Wassermenge über einen von den örtlichen Bedingungen abhängigen Wert, können auf verschiedene Arten Schäden entstehen: Das Wasser kann

- erodieren und die Fundamente bestehender Bauten untergraben und diese zum Einsturz bringen;
- durch seine dynamische Wirkung Menschen, Fahrhabe und auch Gebäude mitreissen;
- ausufern und durch mitgeführtes Geschiebe Kulturland und Bauten schädigen oder vernichten;
- aber auch nur durch seine blosse Präsenz als stehendes Wasser schwere Schäden anrichten.

Vom Standpunkt der Wirkung des Hochwassers auf die genutzte Fläche wird in den Empfehlungen zur «Berücksichtigung der Wassergefahren bei raumwirksamen Tätigkeiten» (BWW, BRP et BUWAL 1997) zwischen den Teilprozessen Überschwemmung, Ufererosion und Übermurung unterschieden.

Hochwasser:	*Zustand in einem Gewässer, bei dem der Wasserstand oder der Abfluss einen bestimmten Schwellenwert überschritten hat.*
Überschwemmung:	*Bedeckung einer Landfläche mit Wasser und Feststoffen, die aus dem Gewässerbett ausgetreten sind.*
Ufererosion:	*Abgleiten von Uferböschungen infolge Tiefen- und Seitenerosion.*
Übermurung:	*Ablagerung von Murgangmaterial ausserhalb des Gerinnes (häufig im Kegelbereich eines Wildbaches).*
Übersarung:	*Ablagerung von Feststoffen ausserhalb des Gerinnes anlässlich von Überschwemmungen.*
Murgang:	*Schnell fliessendes Gemisch von Wasser und Feststoffen mit einem hohen Feststoffanteil von ca. 30% bis 60%.*
Murkopf:	*steile Front eines Murganges bzw. der abgelagerten Masse eines (plötzlich) zum Stillstand gekommenen Murganges.*
Murzunge:	*Relativ flache, oft weitreichende Ablagerung eines Murganges bzw. von verschwemmtem Murmaterial.*

Überschwemmungen werden gefährlich, wenn im Überflutungsbereich grössere Wassertiefen oder starke Strömungen, oft auch Erosion, auftreten. Dabei können mehr oder weniger grobe Feststoffe abgelagert werden (Übersarung).

Ufererosion ist raumplanerisch nur relevant, wenn sie sich über den Gerinnebereich hinaus auswirkt. Grundsätzlich können zwei Fälle unterschieden werden:

- Uferrutschungen: Abgleiten der Böschungen wegen Erosion des Böschungsfusses. Diese oft durch Tiefenerosion des Flussbettes ausgelösten Rutschungen können weit ausgreifen und sind je nach topographischen und geologischen Bedingungen flach- bis tiefgründig.
- Mäandrierende und verzweigte Gewässer verlagern bei extremen Hochwasserereignissen oft ihr Bett. Die bisherigen Ufer werden auf die ungefähre Höhenlage der Sohle abgetragen. Am gegenüberliegenden Ufer bzw. im Gerinne weiter unten wird wieder Material abgelagert.

Übermurungen, d.h. Ablagerung von Feststoffen durch Murgänge bzw. durch fliessende Wassermassen («fluvialer Geschiebetransport») ausserhalb des Gerinnes, erfolgen meist im Bereich von Schwemmkegeln der Wildbäche. Dabei ergibt sich die Hauptschadenwirkung einerseits aus der Stosswirkung der Murfront eines Murganges, welche durch mitgeführte Einzelblöcke noch verstärkt wird, und andererseits aus den mächtigen Ablagerungen von Blöcken, Geröll und Schutt. Unterhalb von Murablagerungen spielen sich in der Regel Überschwemmungs-, Übersarungs- und Erosionsprozesse ab.

Im Zusammenhang mit diesen Vorgängen wird oft auch der Begriff der «**Wildbachgefahr**» verwendet. Wildbäche sind oberirdische Gewässer mit zumindest streckenweise grossem Gefälle, rasch und stark wechselndem Abfluss und zeitweise hoher Feststofführung. Die wesentlichen dabei auftretenden gefährlichen Vorgänge werden mit den oben umschriebenen Teilprozessen Überschwemmung, Ufererosion und Übermurung beschrieben. Die meisten der anderen in diesem Kapitel beschriebenen Hangprozesse, vor allem Felsstürze, Rutschungen, Erosion durch Wasser und Schnee (Lawinen) spielen in Wildbächen hauptsächlich für die Geschiebemobilisierung und die Geschiebelieferung ins Gerinne eine wichtige Rolle.

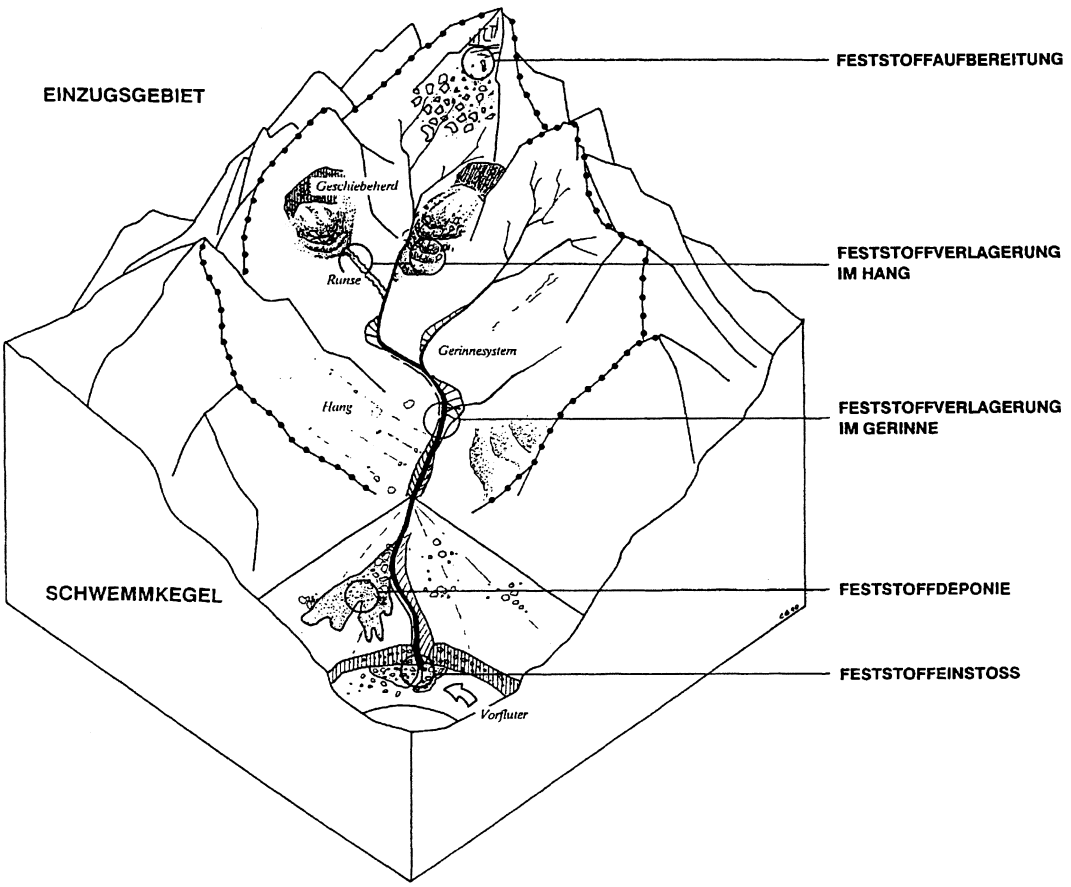


Abb. 3.1 Einzugsgebiet und Gerinnesystem eines Wildbaches

Im Zusammenhang mit Hochwassergefahren wird im weiteren auf die umfangreiche Literatur verwiesen, so u.a. auf Arattano et Savage 1994; Barben et Weingartner 1995; Braschler 1995; Düster 1994; Egli 1996; FAN 1994; Forster et al. 1994; Germann 1994; Kienholz et al. 1997; Kölla 1994; Loat et Willi 1995; Mani 1995; Naef et. al. 1994; Petraschek 1996; Rickenmann 1995; Spreafico et al. 1996; Zeller 1995; Zimmermann et al. 1997.

3.1.4 Rutschungen

Rutschung:	*hangabwärts gerichtete Bewegung von Fest- und/oder Lockergestein entlang von Gleitflächen oder entlang von verhältnismässig dünnen Zonen intensiver Scherverformung.*

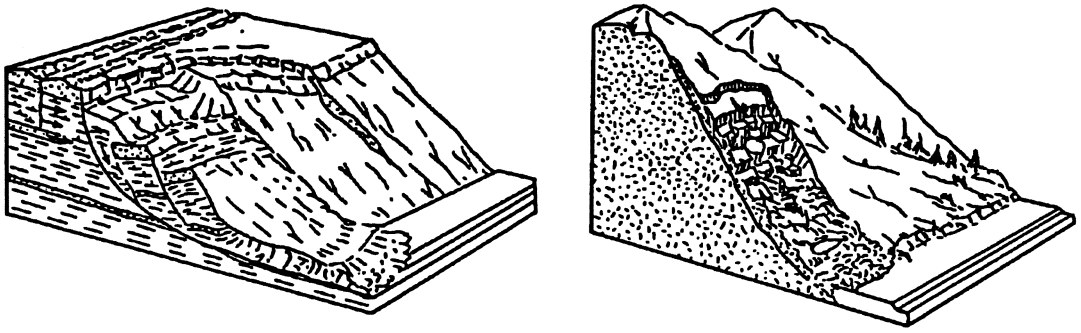


Abb. 3.2 Rotationsrutschung (links) und Translationsrutschung (aus Varnes 1978)

Die folgenden Ausführungen entsprechen den Empfehlungen zur «Berücksichtigung der Massenbewegungsgefahren bei raumwirksamen Tätigkeiten» (BUWAL, BWW et BRP 1997).

Rutschungen sind hangabwärts gerichtete Bewegungen von Hangteilen aus Fels- und/oder Lockergesteinen an mässig geneigten bis steilen Böschungen, die als Ergebnis eines Scherbruches an der Untergrenze der bewegten Massen stattfinden. Natürliche Instabilitäten dieser Art sind in der Schweiz ausserordentlich häufig und weisen eine grosse Vielfalt von Erscheinungsformen auf. Sehr viele dieser Rutschungserscheinungen sind alt und heute weitgehend ruhig («schlafend»), können aber allmählich oder plötzlich neu belebt werden.

Bei Rutschungen spielt das Wasser meist eine wichtige Rolle, sei es durch die Wirkung von Porenwasserdruck, von Sickerströmung oder von Quelldruck infolge des Quellens von Tonmineralen.

Rutschungen vom Typ der **Rotationsbewegung** umfassen im allgemeinen ein beschränktes Volumen. Sie bilden sich hauptsächlich in homogenen, kohäsiven (v.a. tonigen und siltigen) Lockergesteinen aus. Die Gleitfläche ist kreisförmig und fällt in der Ausbruchsnische nahezu vertikal ein. Der Gleitmechanismus bewirkt in der Regel nur eine schwache Umarbeitung des bewegten Materials. Oft sind in der oberen Hälfte der Rutschung Nackentälchen und Zerrspalten sichtbar. An der Front wird die Rutschmasse gestaucht, zerfällt und geht bei starker Wassersättigung häufig in schlammige Fliessrutschungen bzw. Hangmuren über.

In **Translationsrutschungen** gleiten Schichten oder Schichtpakete auf einer bestehenden Schwächezone (oft Schicht-, Schieferungs- Kluft- oder Bruchflächen). Die Ausdehnung solcher Rutschungen ist unterschiedlich und kann Flächen von einigen m^2 bis zu mehreren km^2 umfassen. Die Mächtigkeit der Rutschmassen erreicht häufig mehrere Dekameter. Gebiete mit Flysch, kalkigen Mergelschiefern oder metamorphen Schiefern sind prädestiniert für die Ausbildung solcher Rutschungen.

In den Empfehlungen zur «Berücksichtigung der Massenbewegungsgefahren bei raumwirksamen Tätigkeiten» wurden Rutschungen nach der Tiefe und der Aktivität klassiert (siehe

Tab. 3.1). Die Aktivität entspricht der über einen längeren Zeitraum feststellbaren durchschnittlichen Rutschgeschwindigkeit.

Klassifikation nach Tiefe der Gleitfläche	
Rutschung	Tiefe der Gleitfläche unter Terrain
Oberflächlich, flachgründig	0 - 2 m
mitteltief, mittelgründig	2 - 10 m
tief, tiefgründig	> 10 m

Klassifikation nach Aktivität *entspricht der über einen längeren Zeitraum feststellbaren, durchschnittlichen Rutschgeschwindigkeit*	
Rutschung	Geschwindigkeit der Rutschung
substabil, sehr langsam	0 - 2 cm/Jahr
wenig aktiv, langsam	2 - 10 cm/Jahr
aktiv oder langsam mit schnellen Phasen	> 10 cm/Jahr

Tab. 3.1 Klassifikation von Rutschungsbewegungen (BUWAL, BWW et BRP 1997)

Grössere Geschwindigkeiten als in Tabelle 3.1 aufgeführt, treten vor allem bei flachgründigen Bodenrutschungen (Soil slips) auf, die in vielen Fällen in Hangmuren übergehen. Auch bei tiefergründigen Rutschungen werden gelegentlich grössere Geschwindigkeiten registriert, wie dies z.B. für die Rutschung von Falli Hölli (bei Plasselb, Kt. Freiburg) im August 1994 mit 6 m / Tag der Fall war.

Bei der Beurteilung des Gefahrenpotentials von Rutschungen dürfen nicht nur die Kubatur oder die heutigen Verschiebungsraten beachtet werden. Die besonders gefährlichen Verkippungen und Differentialbewegungen mit Rissbildung können in stark durchnässten und dünnen Rutschungen gehäuft auftreten. Im weiteren besteht die Gefahr eines Überganges in Hangmuren bzw. einer Auslösung von Murgängen, welche weiter talabwärts liegende Areale übermuren können.

Die Wirkung von Rutschungen auf Objekte geschieht im wesentlichen auf zwei verschiedene Arten:

- Das Objekt (z.B. Haus) befindet sich auf der (in der Regel mittel- oder tiefgründig) abgleitenden Masse und wird durch differentielle Bewegungen in Scherbereichen innerhalb oder am Rande der Rutschmasse beschädigt oder zerstört. Ein vergleichbarer Prozess spielt auch im Falle einer Uferrutschung (Ufererosion).
- Das Objekt (z.B. Haus) befindet sich in der Bewegungsbahn der abgleitenden Masse. Diese übt an ihrer Front eine Druckwirkung aus. Dies ist besonders gravierend, wenn die Rutschung in eine Hangmure oder einen Murgang übergeht.

Im weiteren wird auf die umfangreiche Literatur verwiesen, so u.a. auf Antoine 1992; Bollinger et al. 1992; Bollinger et Noverraz 1996; CRSFA 1992; FAN 1994; Gerber et Böll 1993, 1994; Glawe et Moser 1992; Hutchinson 1993; IUGS 1995; Noverraz et Bonnard 1992; WP WLI 1994.

3.1.5 Hangmuren

Hangmuren:	*An relativ steilen Hängen erfolgendes, schnelles Abfahren eines Gemisches aus Lockergestein (Boden und Vegetationsbedeckung) und viel Wasser ohne Vorhandensein bzw. Ausbildung einer Gleitfläche.*

Übermurungen (Kap. 3.1.3) von Arealen auf Wildbach-Schuttkegeln werden in der Regel durch erheblichen Geschiebetransport bzw. Murgänge in dem entsprechenden Wildbachgerinnen verursacht. Solche Murgänge haben ihren Ursprung entweder in besonders disponierten Einhängen im Wildbacheinzugsgebiet oder im Gerinne selbst (vgl. Kap. 8.1). Neben diesen «Gerinne-Murgängen» werden auch Murgänge bzw. Muren beobachtet, die sich am «freien» Hang, unabhängig von einem Gerinne, ereignen. Diese sogenannten **Hangmuren** sind oberflächlich abfahrende, schnellfliessende Gemische aus Lockergestein (meist nur Boden und Vegetation) und viel Wasser. Hangmuren entstehen an steilen Hängen, wobei eine klare Gleitfläche fehlt. Die bewegten Materialvolumina sind in der Regel limitiert (Grössenordnung: < 20'000 m^3). Der verhältnismässig grosse Wasseranteil hat eine grosse Prozessgeschwindigkeit (1 - 10 m/s) mit entsprechend zerstörender Wirkung zur Folge. Er führt auch dazu, dass die von der Materialverfrachtung betroffene Fläche oft um einen Faktor von 10 bis 100 grösser ist als die oftmals sehr kleine Anrissfläche. Falls eine Hangmure den Weg in ein Gerinne nimmt, kann sie dort zur Entwicklung eines grösseren Murganges beitragen.

Besonders disponiert für Hangmuren sind steile Hänge, die mit gering durchlässigen, kohäsiven Quartärbildungen (tonige Moräne und Gehängelehm) bedeckt sind. Hangmuren entstehen oft an Stellen mit Quellaustritten, oft als Sekundärbildungen von meist flachgründigen Rutschungen. Die Auslösung erfolgt anlässlich von Starkniederschlägen, von langandauernden Regenperioden oder auch bei intensiver Schneeschmelze.

3.2 Gefahrenbeurteilung und -bewertung

Bei der **Beurteilung** von Naturgefahren geht es um eine objektive, naturwissenschaftlich fundierte Abklärung und Diagnose bzw. Abschätzung von möglichen gefährlichen Prozessen. Die **Bewertung** der Gefahren dagegen kann nicht losgelöst von der Betrachtung des Schadenpotentials erfolgen und ist somit ein integrierter Bestandteil einer umfassenden Risikobewertung (vgl. Kap. 1).

Die wichtigsten Arbeitsschritte bei der Bearbeitung von Naturgefahren für Raumplanung und Massnahmenkonzepte sind in Abbildung 3.3 dargestellt. Zur Erkennung, Dokumentation und Beurteilung der Gefahren sind gemäss Bundesgesetz und Verordnung über den Wald (WaG, SR 921.0 und WaV, SR 921.01) sowie Bundesgesetz und Verordnung über den Wasserbau (WBG, SR 721.100 und WBV, SR 721.100.1) Gefahrenkataster und Gefahrenkarten zu erstellen.

Im 1. Schritt «Gefahrenerkennung und -dokumentation» geht es um die Sicherstellung einer ausreichenden Datenbasis (siehe dazu Kap. 5). Dies ist an sich eine langfristige Aufgabe, die im wesentlichen die laufende Führung von Gefahrenkatastern (Ereigniskataster, Schutzbautenkataster) beinhaltet, zu welcher aber auch Beobachtungs- und Messnetze (z.B. ANETZ-Stationen der SMA) gehören. In vielen Fällen sind die langfristig angelegten Dokumente anlässlich einer Gefahrenbeurteilung bzw. Gefahrenkartierung zu ergänzen bzw. weitere Grundlagendokumente zu erarbeiten. Dazu können u.a. auch «Karten der Phänomene» gehören (vgl. dazu Kienholz et Krummenacher 1995).

Im 2. Schritt hat nun, im wesentlichen auf der Basis der Grundlagen des 1. Schrittes, eine objektive Gefahrenbeurteilung zu erfolgen.

Zielsetzung und Bearbeitungstiefe müssen den Handlungsebenen gerecht werden.

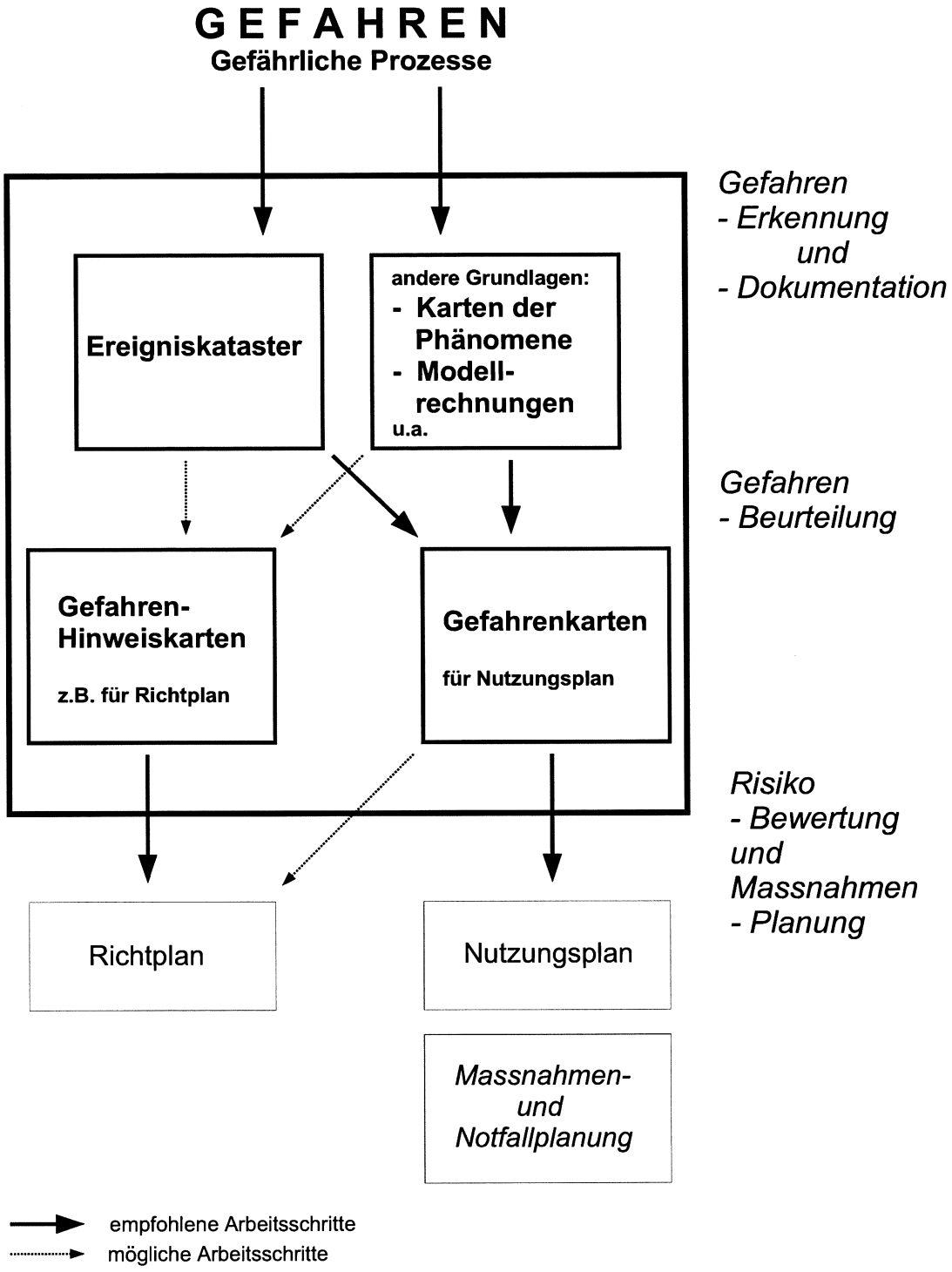


Abb. 3.3 Arbeitsschritte und Dokumente bei der Bearbeitung von Naturgefahren für Raumplanung und Massnahmenkonzepte

3.3 Handlungsebenen

Das Raumplanungsgesetz (RPG 1979, SR 700) verpflichtet Bund, Kantone und Gemeinden grundsätzlich dazu, bei ihren raumwirksamen Tätigkeiten die natürlichen Gegebenheiten und damit auch die Naturgefahren zu berücksichtigen (Art. 1 RPG). Für die Richtplanung müssen die Kantone feststellen, welche Gebiete durch Naturgefahren erheblich bedroht sind (Art. 6 RPG). Diese Bestimmungen erhalten zusätzliches Gewicht durch das neue Wasserbaugesetz (WBG 1991, SR 721.100) und das neue Waldgesetz (WaG 1991, SR 921.0). Beide Gesetze sind seit dem 1. Januar 1993 in Kraft. Sie geben neu beim Schutz vor Naturgefahren den raumplanerischen Massnahmen Priorität vor baulichen Eingriffen. Sie verlangen zu diesem Zweck von den Kantonen die Erarbeitung von Gefahrenkatastern und Gefahrenkarten. Diese - vom Bund subventionierten - Grundlagen müssen bei allen raumwirksamen Tätigkeiten, insbesondere bei der Richt- und Nutzplanung, berücksichtigt werden (Guggisberg 1994).

Die relevanten Handlungsebenen für eine Gefahrenbeurteilung und Gefahrenbewertung in der Schweiz sind grundsätzlich (vgl. Abb. 3.3):

- Ebene Richtplanung auf kantonaler Stufe und
- Ebene Nutzungsplanung auf Stufe Gemeinde.

3.3.1 Aufgaben der einzelnen Handlungsebenen

(aus: Guggisberg 1994)

Die Aufgaben der Raumplanung auf den einzelnen Handlungsebenen sind im Gesetz umschrieben. Auf jeder Handlungsebene sind auch bestehende Naturgefahren und zukünftig vermutete Gefahrensituationen in adäquater Bearbeitungstiefe zu beurteilen.

3.3.1.1 Aufgaben der Richtplanung

Im Rahmen der Richtplanung sollen sich Kantone gemäss Raumplanungsgesetz und den sich in Erarbeitung befindlichen «Richtlinien zur Richtplanung» Rechenschaft «über vorhandene Naturgefahren und zukünftig vermutete Gefahrensituationen» geben. Der Richtplan umfasst «die Massnahmen zum Schutze vor drohenden Naturgefahren (z.B. Begrenzung zukünftiger Nutzungen) sowie zur Verhütung möglicher Schadenereignisse oder Schadensfolgen (wie Schutzbauten)».

Gefahrengebiete können im Richtplan selber ausgeschieden werden, oder es kann auf Grundlagenkarten zum Richtplan oder auf kommunale Gefahrenzonenpläne verwiesen werden. Der Richtplan sollte auch Angaben über die bereits vorhandenen oder noch zu erarbeiteten Grundlagen, über die Grundsätze des Kantons beim Schutz vor Naturgefahren, über die bei Konflikten mit Naturgefahren beizuziehende Fachstellen und allenfalls Anweisungen an die Gemeinden für die Nutzungsplanung enthalten.

3.3.1.2 Aufgaben der Nutzungsplanung

Im Rahmen der kommunalen Nutzungsplanung werden Zweck, Ort und Mass der Bodennutzung für jedermann verbindlich festgelegt. Dabei müssen die Inhalte der Gefahrenkarte berücksichtigt werden. In stark gefährdeten Gebieten sind grundsätzlich keine Neubauten erlaubt. Bei weniger starken Gefährdungen müssen Auflagen formuliert werden. Den Rahmen

für die konkrete Umsetzung in Zonenplan und Baureglement umschreibt das kantonale Planungs- und Baugesetz, wobei den Gemeinden noch ein mehr oder weniger grosser Spielraum bleibt.

Das Spektrum der möglichen Lösungen reicht von Ausscheidung einer Gefahrenzone – im Sinne einer Nutzungszone nach RPG über die rechtskräftige Genehmigung eines speziellen Gefahrenzonenplanes – oder die entsprechende Ausscheidung der Bauzonen und Formulierung von Auflagen bis hin zum blossen Hinweis, dass im Baubewilligungsverfahren die Aussagen der Gefahrenkarte vorbehalten bleiben.

3.3.2 Bearbeitungstiefe für die einzelnen Handlungsebenen

Jede Handlungsebene verlangt bezüglich der Gefahrenbeurteilung eine angepasste minimale fachliche Tiefe und einen adäquaten Detaillierungsgrad bzw. bei der kartographischen Darstellung einen entsprechenden Massstab.

Wenn Naturgefahren bei der Festlegung der Raumnutzung zu berücksichtigen sind, muss dies aufgrund einer stufengerechten Gefahrenbeurteilung erfolgen. Jede der obengenannten Handlungsebenen verlangt eine bestimmte minimale fachliche Tiefe und einen adäquaten Detaillierungsgrad (Tab. 3.2), bzw. bei der kartographischen Darstellung einen entsprechenden Massstab. Daraus resultiert ein unterschiedlicher Aufwand bezüglich Datenerhebung und -auswertung. Tendenziell umgekehrt proportional zu diesem Detaillierungsgrad ist in der Regel die Ausdehnung der jeweils interessierenden Fläche: Die Ebene Richtplan verlangt regionale Übersichten, die eher generelle Aussagen über die Verbreitung von gefährlichen Prozessen verlangen. Auf lokaler Ebene befasst man sich mit einem relativ eng begrenzten Raum. Hier werden jedoch gute Detailangaben benötigt. Den verschiedenen Handlungsebenen der Raumplanung entsprechen im Forstwesen die Wald-Entwicklungsplanung (regionale Ebene) bzw. Wirtschaftsplanung, Betriebsplanung oder Vorprojekte (lokale Ebene).

Wie dies in Tabelle 3.2 dargestellt ist, sollte bei jeder Gefahrenbeurteilung auf der lokalen Ebene (Nutzungsplan) – unter Einbezug des relevanten räumlichen Umfeldes – jeweils eine Gefahrenbeurteilung entsprechend der Bearbeitungstiefe der Ebene Richtplan vorausgehen. Dies ermöglicht die Bearbeitung eines grösseren Raumes und gewährleistet die Berücksichtigung des komplexen Gefüges der Ursachenfaktoren und Prozesse im ganzen räumlichen Einflussbereich.

	Handlungsebene	
Raumplanung forstliche Planung	*«Richtplanung»* *«Wald-Entwicklungsplanung», «Vorstudien»*	*«Nutzungsplanung»* *«Betriebsplanung», «Vorprojekte»*
Bearbeitungs-tiefe	↓ **Erkennen** und **Lokalisieren** der Gefahren, Bestimmen der Art des gefährlichen Prozesses (**Gefahrenart**)	↓ **Analysieren** und **Beurteilen** der Gefahren; Abklären von Ursache (Einflussfaktoren, Disposition, Auslösung), **Wahrscheinlichkeit**, Ablauf (Dynamik und Kinematik), **Intensität** und möglicher Wirkung (**genaue Lokalisierung**).
Bearbeitungs-schritte und –ansätze		
Vorbereiten / Eingrenzen	• Auswertung von Katasteraufzeichnungen	• Eingrenzung der Probleme und des Bearbeitungsperimeters, z.B. aufgrund einer Gefahrenhinweiskarte
Erheben	• Luftbildinterpretation unterstützt durch Erhebungen im Gelände	• Erhebungen **im Gelände**, unterstützt durch – Auswertung von Katasteraufzeichnungen – Karten der Phänomene (stumme Zeugen, Gefahren-relevante Geländemerkmale) • Luftbildinterpretation
Auswerten / Interpretieren	• Modellrechnungen, Analyse mit Prozessmodellen • EDV/GIS-gestützte Gefahrenanalyse	• Ermittlung von Intensität und Eintretenswahrscheinlichkeit der Gefahrenprozesse für verschiedene Szenarien und • Definition und Beurteilung der Gefahren im Wirkungsgebiet anhand verschiedener Gefährdungsbilder durch – detaillierte Analyse und Interpretation früherer Ereignisse – Schwachstellenanalyse im Gelände – physikalisch-mathematische Modellansätze (z.B. Berechnung der Auslaufstrecken von Lawinen) – evtl. Modellversuche – Untersuchung der gegenseitigen Beeinflussung verschiedener gefährlichen Prozesse
korresp. Karten- oder Planmassstab	1:10'000 bis 1:50'000	1:2'000 bis 1:10'000
Kartentyp	Gefahrenhinweiskarte	Gefahrenkarte

Tab. 3.2 Gefahrenbeurteilung: Bearbeitungstiefe in Abhängigkeit der Handlungsebene

3.4 Wichtige Prinzipien

Unabhängig von der Handlungsebene muss jede Gefahrenbeurteilung folgenden Postulaten gerecht werden:

1. Sachliche Richtigkeit;
2. gute Nachvollziehbarkeit (Transparenz bezüglich Ablauf der Beurteilung und der eingesetzten Methoden).

In der Praxis muss die Beurteilung ausserdem mit angemessenem Zeitaufwand (d.h. möglichst kostengünstig) erfolgen.

3.4.1 Sachliche Richtigkeit

Selbstverständlich ist mit allen Mitteln eine sachlich richtige Gefahrenbeurteilung anzustreben.

Ob eine Gefahrenbeurteilung richtig (gewesen) ist, lässt sich nie absolut ermitteln. Eine direkte Überprüfung ist letztlich nur anhand des Eintretens oder Nicht-Eintretens und des Ablaufs des vorhergesagten Ereignisses möglich. Falls ein bestimmter Zeitraum definiert worden ist, für den die Gefahrenbeurteilung gelten soll (bei Naturgefahren in der Regel 100 bis 150 Jahre !), lässt sich erst im Nachhinein feststellen, ob sich die gefährlichen Prozesse etwa im Rahmen des Vorhergesagten abgespielt haben oder nicht. Weil gerade die am meisten interessierenden grossen Gefahrenereignisse an einem bestimmten Ort in der Regel sehr selten sind, ist hier die direkte Kontrolle der Qualität der Gefahrenbeurteilung oft nur in Katastrophenfällen möglich.

*Aus diesen Gründen muss sich das Anstreben sachlicher Richtigkeit an einem Vorgehen nach den «**Regeln der Kunst**» orientieren.*

3.4.1.1 Was heisst Vorgehen nach den «Regeln der Kunst» ?

Obschon die folgenden Bemerkungen im Grundsatz sowohl für die Ebene Nutzungsplanung als auch für die Ebene Richtplanung gelten, sind die Anforderungen im Hinblick auf die Nutzungsplanung wegen des erforderlichen Detaillierungsgrades und der Bearbeitungstiefe wesentlich grösser (vgl. Tab. 3.2).

Eine sachlich richtige Gefahrenbeurteilung erfordert, dass die verschiedenen Gefahrenprozesse primär je einzeln analysiert und beurteilt werden. In Bereichen, in welchen verschiedene Prozesse wirksam sind, ist es jedoch ebenso wichtig, dass die gegenseitige Beeinflussung der Prozesse und das Gesamtsystem aller Prozesse analysiert werden.

Ein wichtiges Mittel dazu ist das Erkennen aller wesentlichen Aspekte, die zur Gefahr beitragen. Dies setzt systematisches Vorgehen, aber auch Phantasie und Kreativität des Bearbeiters voraus (siehe Tab. 3.3).

(*** = sehr wichtig, * = wichtig)

	Richt-planung	*Nutzungs-planung*
• Korrekte Abgrenzung des zu untersuchenden Perimeters; Berücksichtigung der Vorgänge in den benachbarten Perimetern	*	***
• Erkennen und gedankliches Nachvollziehen (auch Nachrechnen) früher abgelaufener Prozesse; → Abstützen auf Erfahrungen • Dies auch durch Vergleich der vorliegenden Situation mit Gegebenheiten und Ereignissen in anderen Gebieten	***	***
• Materialanalyse: Welche Materialien (Gesteine, Wasser, Schnee, Eis, Bäume) in welcher Kombination sind im Spiel ?	*	***
• Einflussanalyse: Welche Grössen beeinflussen die Gefahrenprozesse? Wie beeinflussen sich die Prozesse gegenseitig ?	*	***
• Energieanalyse: Welche Energien sind im Spiel ? Mit welchen Massen und welchen Geschwindigkeiten ist zu rechnen ?	*	***
• Chronologisches Vorausdenken		***
• Schwachstellenanalyse		***
• kritische Analyse bestehender Gegenmassnahmen (Verbauungen)		***
• Ableiten und Definieren der relevanten Gefährdungsbilder		***
• Wirkungsanalyse	*	***
• Systembeurteilung: Wie funktioniert das Gesamtsystem der Gefahrenprozesse und seiner Einflussgrössen ? Sind auch andere, «unerwartete» Entwicklungen möglich ? Wie sind sie allenfalls zu behandeln ?	*	***
• Nachprüfung all dieser Analysen nach erfolgten Ereignissen		***

Tab. 3.3 Wegmarken zu einer korrekten Gefahrenbeurteilung entsprechend der jeweiligen Handlungsebene (z.T. in Analogie zur Gefahrenerkennung im Bauwesen, siehe dazu Schneider et Schlatter 1994).

Zur Bearbeitung der meisten dieser aufgelisteten Punkte können verschiedene Ansätze und Verfahren eingesetzt werden. In vielen Fällen empfehlen sich auch:

- Brainstorming im Team;
- Beizug von Spezialisten für spezifische Fragen;
- Arbeit mit logischen Bäumen, Ereignisbäumen, Ereignis-/Folgendiagrammen.

3.4.1.2 Grundsätzliche Schwierigkeiten

So selbstverständlich die Forderung nach sachlicher Richtigkeit ist, so schwierig ist es, das hochgesteckte Ziel zu erreichen. Die Gründe dafür liegen u.a. in folgendem:

1. Erfassung einzelner Einflussparameter:

   Verschiedene Einflussparameter sind einer Beobachtung nicht ohne weiteres zugänglich. So ist die für die Beurteilung der Hangstabilität wichtige Kenntnis der Strukturen, der Substrateigenschaften und des Wasserhaushaltes im Untergrund in vielen Fällen nur indirekt zu erschliessen; oder es müssen zeit- und kostenintensive Sondier- und Analyseverfahren (Bohrungen, Laboruntersuchungen) eingesetzt werden. Die Qualität der Datenerhebung ist somit bis zu einem gewissen Grad von der Zeit- und Kosteninvestition für die Untersuchung abhängig. Deshalb ist es wesentlich, vorgängig jeder Gefahrenbeurteilung den anzustrebenden Genauigkeitsgrad und den nötigen Aufwand gegenseitig abzuwägen; das heisst – der geforderte Detaillierungsgrad bzw. die mögliche Genauigkeit bei vorgegebenem Zeit- und Kostenbudget – sind zu definieren.

2. Erfassung der kombinierten Wirkung der Einflussparameter bzw. der Prozesse als Ganzes:

   Beispielsweise stösst in einem Wildbachbett angesichts der meist nicht stationären Strömung bereits die rein hydraulische Berechnung auf Schwierigkeiten. Die Schwierigkeiten werden noch viel grösser, wenn die Geschiebeführung berücksichtigt wird (Geschiebeanteil, Übergang von Geschiebetransport zu Murgängen, Zufälligkeiten wie die Verstopfung eines Gerinnes durch Baumstämme usw.).

3. Die verschiedenartigen Naturfaktoren (und anthropogenen Faktoren) können sich zeitlich verändern (periodisch oder episodisch innerhalb einer konstanten Bandbreite, oder auch einem Trend unterliegend).

   Deshalb ist der Indikatorwert von bekannten früheren Ereignissen bezüglich der Relevanz für die heutige und künftige Situation jeweils kritisch zu beurteilen.

3.4.2 Nachvollziehbarkeit und Evidenz

Das Vorgehen bei der Gefahrenbeurteilung muss transparent, überprüfbar und nachvollziehbar sein.

Gute Nachvollziehbarkeit des Verfahrens hilft dem Bearbeiter bei der Selbstkontrolle und verbessert die Argumentationsbasis bei der Umsetzung.

Nicht zuletzt wegen der beschränkten Überprüfungsmöglichkeiten bezüglich sachlicher Richtigkeit kommt einer guten Transparenz und Nachvollziehbarkeit des Vorgehens bei der Gefahrenbeurteilung grosse Bedeutung zu. Das Vorgehen, die eingesetzten Verfahren und Methoden sowie die Interpretation der erhobenen Daten lassen sich dadurch mindestens besser kontrollieren und kritisch diskutieren. Die Aussagen, die Folgerungen für Massnahmen, werden somit auch einer sachlichen Diskussion zugänglich und können allenfalls begründet modifiziert werden.

Bei Gefahrenbeurteilungen sind deshalb in jedem Falle folgende Grundregeln zu beachten:

- Flächendeckende Dokumentation (kartographische Darstellung) des gesamten relevanten Perimeters (Gefahren-Entstehungsgebiet und Gefahren-Wirkungsgebiet, d.h. z.B. Wildbacheinzugsgebiet und Schwemmkegel);
- klare Methodenwahl und -kombination und deren Offenlegung;
- klar umrissene Entscheidungskriterien bei der Bewertung;

- Deklaration der Aussagen (z.B. mit Angabe der **Evidenz** gemäss Tab. 3.4).

Evidenz:	*Mass der Gewissheit einer Aussage (ist sie durch Fakten bewiesen oder basiert sie eher auf Vermutungen ?).* *Die Evidenz einer Aussage kann mit den Begriffen «erwiesen», «vermutet», «potentiell» umschrieben werden.*

Erwiesene Erscheinung:	Erscheinung, die an der betreffenden Stelle eindeutig identifizierbar ist.	***Blick in die Vergangenheit: «lernen aus früheren Ereignissen»***
Erwiesener Prozess:	Prozess, der an der betreffenden Stelle «erwiesenermassen» gewirkt und bleibende Spuren hinterlassen hat (stumme Zeugen) oder der sonst (z.B. Aufzeichnungen, Zeugenaussagen) dokumentiert ist.	
Vermutete Erscheinung:	Erscheinung, die an der betreffenden Stelle nicht eindeutig identifizierbar ist.	
Vermuteter Prozess:	Prozess, der an der betreffenden Stelle nicht mit Sicherheit gewirkt hat, der jedoch beispielsweise aufgrund schwer interpretierbarer Hinweise im Gelände, aufgrund vager Aussagen, aufgrund von allgemeiner Erfahrung oder Analogieschlüssen (Vergleich mit vergleichbaren anderen Gefahrengebieten) gewirkt haben dürfte.	
Potentieller Prozess:	Prozess, der an der betreffenden Stelle nicht gewirkt hat, der jedoch aufgrund der allgemeinen Konstellation (Topographie, Geologie, Hydrologie, Vegetation, Waldzustand, Bauten usw.) eintreten könnte.	***Blick in die Zukunft: «Überlegungen und Hinweise auf mögliche Vorgänge infolge veränderter Randbedingungen»***

Tab. 3.4 Evidenz von Erscheinungen und Prozesse

3.5 Wichtige Gesichtspunkte der Gefahrenbeurteilung

3.5.1 Vorbereitung, Ablauf und Wirkung des gefährlichen Prozesses

Für Gefahrenbeurteilungen im Hinblick auf Gefahrenkarten bzw. zur Planung von permanenten Massnahmen ist hauptsächlich die Beurteilung der allgemeinen Gefahr, somit die Kenntnis der Grunddisposition notwendig.

Zur Ermittlung der Wahrscheinlichkeit des gefährlichen Prozesses muss jedoch auch bekannt sein, wie häufig mit einer hohen variablen Disposition und mit potentiell auslösenden Ereignissen zu rechnen ist.

Die Gefahrenbeurteilung erfordert die Analyse verschiedener Aspekte des gefährlichen Prozesses:

- Der entscheidende Punkt ist die Abklärung der zu erwartenden Wirkungen im Gefahrengebiet.
- Diese Abklärung erfordert die Kenntnis der möglichen Prozessabläufe. Bei diesen interessieren vor allem die Dynamik und Kinematik des Ablaufs und die in diesem Zusammenhang erfolgenden Energieumlagerungen.

Und schliesslich können Ausmass und Wahrscheinlichkeit des gefährlichen Prozesses nur dann fundiert abgeschätzt werden, wenn die Voraussetzungen und Umstände der Vorbereitung und Auslösung des Prozesses erkannt sind.

3.5.1.1 Disposition zu und Auslösung von gefährlichen Prozessen

Die Vorbereitungsphase eines gefährlichen Prozesses ist in der Regel gekennzeichnet durch eine bestimmte (evtl. zeitlich variable) Disposition für den gefährlichen Prozess und durch ein auslösendes Ereignis. Die Bewertung der auslösenden Ereignisse und der aktuellen Disposition erfordert in der Regel einen grösseren methodischen Aufwand als die Ermittlung der Grunddisposition, wo unter Umständen für Prozesse wie Lawinen, Steinschlag und Murgänge bereits Abschätzungen mit Hilfe von Pauschalgefällen zu genügend guten Resultaten führen können.

- Die **Disposition** zu gefährlichen geomorphologischen Prozessen in Gebirgsräumen ist die Anlage oder Bereitschaft von Wasser, Schnee, Eis, Erd- und Felsmassen, sich (in reiner Form oder vermischt) unter dem Einfluss der Schwerkraft so talwärts zu verlagern, dass dies zu Schäden führen kann. Zweckmässigerweise werden dabei eine «Grunddisposition» und die «variable Disposition» auseinandergehalten:
- Die «**Grunddisposition**» zu gefährlichen Prozessen ist die grundsätzliche, über längere Zeit gleichbleibende Anlage oder Bereitschaft zu gefährlichen Prozessen. Die Grunddisposition wird bestimmt durch über längere Zeiträume konstant bleibende Parameter wie Relief, Geologie, Klima, Pflanzenbestand usw. Zu beachten ist jedoch, dass einzelne Grössen durchaus einen längerfristigen Entwicklungstrend in eine bestimmte Richtung aufweisen können. So bedeutet die Hebung der Permafrostuntergrenze für viele betroffene Gebiete eine Erhöhung der Grunddisposition gegenüber Erosion und Massenbewegungen.

- Die «**variable Disposition**» ist die bei gegebener Grunddisposition zeitlich variable, in einem bestimmten Umfang schwankende oder sich entwickelnde effektive Disposition zu gefährlichen Prozessen. Die aktuelle Disposition wird somit bestimmt durch innerhalb eines gegebenen Systemzustandes zeitlich variable, z.T. durch die Jahreszeit und Tageszeit gesteuerte Grössen wie meteorologische Situation, Wasserhaushalt in einem potentiellen Rutschkörper, Vegetationszustand usw.
- Das **auslösende Ereignis** setzt bei gegebener Disposition den gefährlichen Prozess in Gang.

*So hat beispielsweise ein unbewaldeter Hang auf 1500 m ü.M. mit einer Neigung von 35° eine **Grunddisposition** als Lawinenanrissgebiet. Im Sommer, wenn der Hang schneefrei ist, weist der Hang keine Disposition für Lawinenabgänge auf, dagegen im Winter bei entsprechenden Schneeverhältnissen (**variable Disposition**). Am oben erwähnten Hang wird im Winter bei entsprechenden Schneeverhältnissen eine Lawine **ausgelöst**, beispielsweise durch stetige Gewichtszunahme bei Schneefall oder bei Festigkeitsabnahme durch Erwärmung oder durch eine äussere Störung.*

Die Auslösung des gefährlichen Prozesse erfolgt dann, wenn der **Schwellenwert** eines relevanten Einflussfaktors erreicht bzw. überschritten wird. Das auslösende Ereignis kann periodisch oder sporadisch auftreten, oder es ist für den betrachteten Zeitraum als einmalig aufzufassen. Je ausgeprägter jeweils die aktuelle Disposition zu einem gefährlichen Prozess ist, desto näher rückt die Möglichkeit, dass der Schwellenwert des entscheidenden auslösenden Faktors überschritten wird.

In der Praxis der Gefahrenbeurteilung liegt die Schwierigkeit darin, erstens den oder die entscheidenden Faktor(en) und zweitens den oder die entsprechenden kritischen Schwellenwert(e) zu kennen.

Beispielsweise ist erwiesen, dass sich viele Erdrutsche im Zusammenhang mit ergiebigen Niederschlägen ereignen. Der entscheidende Faktor ist jedoch nicht der Niederschlag selbst, sondern der bodenhydrologische Zustand an den betreffenden Hängen. Somit müssten eigentlich Schwellenwerte des Porenwasserdruckes bestimmt werden. Dies ist mit hohem Aufwand verbunden, der sich wohl nur in seltenen Fällen rechtfertigen lässt. Dagegen ist es verhältnismässig einfach, nach Schwellenwerten in den Niederschlagsintensitäten und Ergiebigkeiten zu suchen. Deshalb sind schon zahlreiche entsprechende Korrelations-Versuche gemacht worden (siehe Crozier 1986: 177-192). Weil diese Werte jedoch einen nur indirekt auf den gefährlichen Prozess wirksamen Faktor berücksichtigen, können solche Schwellenwerte bestenfalls gewisse Anhaltspunkte liefern, jedoch nicht allgemein massgebend sein. Die gleiche Problematik stellt sich auch für andere gefährliche Prozesse, beispielsweise für die Korrelationen Niederschlag-Abfluss, Niederschlag-Abfluss-Geschiebefracht oder Neuschneezuwachs-Lawinenauslösung.

3.5.1.2 Hinweise für die Gefahrenbeurteilung

Für Gefahrenbeurteilungen im Hinblick auf Gefahrenkarten bzw. zur Planung von permanenten Massnahmen ist hauptsächlich die Beurteilung der allgemeinen Gefahr, somit die Kenntnis der Grunddisposition notwendig.

Zur Ermittlung der Wahrscheinlichkeit des gefährlichen Prozesses muss jedoch auch bekannt sein, wie häufig mit einer hohen variablen Disposition und mit potentiell auslösenden Ereignissen zu rechnen ist.

Wenn die Gefahrenbeurteilung im Hinblick auf temporäre Massnahmen (z.B. Sperrung von Strassen) erfolgt, stehen klar die variable Gefahrensituation und das auslösende Ereignis im Vordergrund.

Zusammenfassend heisst dies, dass sich die Wahl der Kriterien, Schwellenwerte usw. von Fall zu Fall, nach den örtlichen Verhältnissen und der Aufgabenstellung zu richten hat.

		verschiedene GEFÄHRDUNGSBILDER	
	GRUND-DISPOSITION	VARIABLE DISPOSITION	AUSLÖSENDES EREIGNIS
START-BEREICH (Anriss, Ablösung, Auslösung)	Untergrund Relief Wasser Bodenbedeckung Klima usw.	Wassersättigung Vegetationszustand Witterungsverlauf usw.	Störung Erdbeben Wetter Mensch usw.
TRANSIT-BEREICH	Untergrund Relief Trajektorien Verlagerungskapazität Bodenbedeckung usw.	Zustand Untergrund Zustand Trajektorien usw.	
ZIEL-BEREICH (Auslauf, Ablagerung)	Untergrund Relief Trajektorien Ablagerungskapazität Bodenbedeckung Hindernisse usw.	Zustand Untergrund Zustand Trajektorien usw.	

Tab. 3.5 Stichworte zur Analyse und Beurteilung von gefährlichen Prozessen unter Berücksichtigung der interessierenden Phasen und der verschiedenen örtlichen Bereiche

3.5.2 Intensität und Häufigkeit bzw. Wahrscheinlichkeit (Magnitude / Frequency)

Die mögliche Grösse des Schadens beim einzelnen Ereignis hängt entscheidend von der Intensität des gefährlichen Prozesses ab. Je häufiger sich ein gefährlicher Prozess mit einer bestimmten schadenbringenden Intensität innerhalb einer gegebenen Periode ereignet, um so grösser ist der mögliche kumulierte Schaden.

Die Gefahr ist somit um so grösser, je grösser die Intensität des Einzelereignisses ist und je häufiger bzw. je wahrscheinlicher solche Ereignisse eintreten.

Bei der Gefahrenbeurteilung sind die zwei Aspekte, erwartete «Intensität» und «Häufigkeit» bzw. die «(Eintretens-) Wahrscheinlichkeit» eines gefährlichen Prozesses zu berücksichtigen.

Das Ausmass des Schadens, der beim einzelnen Ereignis entstehen kann, hängt zu wesentlichen Teilen von der Intensität des gefährlichen Prozesses ab, im Falle einer Lawine von der dynamischen Druckwirkung, die sie beispielsweise auf eine Hausmauer ausüben kann, im Falle eines Wildbaches beispielsweise von der Ausdehnung und Mächtigkeit der auf dem Schwemmkegel abgelagerten Schuttmassen. Die entsprechenden für die verschiedenartigen Prozesse auf einander abgestimmten Kriterien werden in Kap. 9.1.2 aufgeführt.

Je öfters sich ein gefährlicher Prozess mit einer bestimmten schadenbringenden Intensität innerhalb einer gegebenen Periode ereignet, um so grösser ist der mögliche kumulierte Schaden. Je häufiger (z.B. innerhalb von 100 Jahren) beispielsweise die landwirtschaftlich genutzten Flächen auf dem Wildbach-Schwemmkegel mit Schutt überführt werden, je häufiger die Felder also wieder vom Schutt befreit werden müssen, desto höher sind die Kosten, die während der betrachteten 100 Jahre anfallen.

Gefährliche Prozesse, die in ihrem Ablauf nicht länger als einige Tage dauern, können auf der Zeitachse als punktuelle Ereignisse betrachtet werden. Für einen gegebenen gefährlichen Prozess und eine definierte Gefahrenstelle kann somit - falls die entsprechenden Daten verfügbar sind (!) - rückblickend für verschiedene Zeitpunkte die jeweils korrespondierende Intensität angegeben werden. Bei der statistischen Bearbeitung eines solchen Datensatzes werden Ereignisse betrachtet, die eine vorgegebene Intensität erreichen oder überschreiten. Dies kann anhand von Abbildung 3.4 illustriert werden.

Für einen gefährlichen Prozess grösser oder gleich einer bestimmten Intensität an einer gegebenen Gefahrenstelle lässt sich aufgrund der empirischen Verteilungsfunktion die relative Häufigkeit bezogen auf einen definierten Zeitraum ermitteln (vgl. Scheidegger 1975). Dabei ist es üblich, den reziproken Wert der relativen Häufigkeit pro Jahr anzugeben, die mittlere «Wiederkehrdauer» oder «Wiederkehrperiode» (ausgedrückt als Anzahl Jahre) bzw. die «Jährlichkeit» des gefährlichen Prozesses mit einer bestimmten Intensität.

Wenn in Abbildung 3.4 die Jahre 1740 - 1990 als Bezugszeitraum definiert werden, weisen die Ereignisse grösser oder gleich der Ereignisgrösse M eine mittlere Wiederkehrdauer von 250/7, also von ca. 30-40 Jahren und diejenigen grösser oder gleich der Ereignisgrösse L eine solche von 250/4, also von ca. 60 Jahren auf.

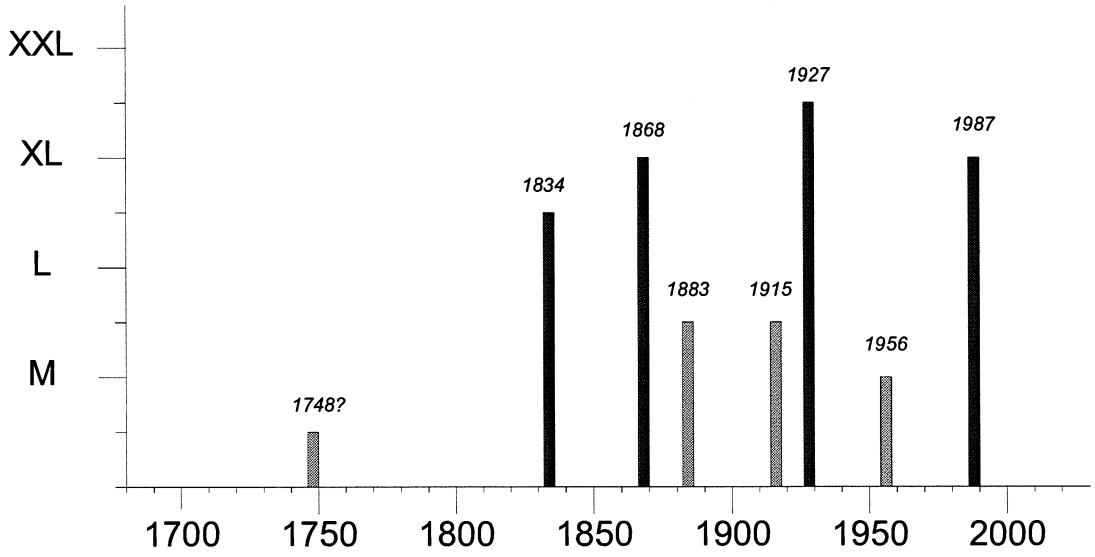


Abb. 3.4 Geschiebefracht anlässlich von bekannten Katastrophenereignissen auf dem Schwemmkegel der Zavragia (Graubünden)
XXL Geschiebefracht extrem, «einmalig»
XL Geschiebefracht sehr gross
L Geschiebefracht gross
M Geschiebefracht mässig

Die Intensität kann hier nur als halbquantitative Grösse, in «Ereignisgrössen» ausgedrückt werden. Quantitative Daten (z.B. Kubaturen oder Ausdehnung der Ablagerungsflächen) stehen nicht zur Verfügung. Die Angaben basieren zum grössten Teil auf verbalen Beschreibungen, aus welchen nur die Grössenordnung der jeweiligen Geschiebefrachten abgeschätzt werden kann. Als Zeitpunkte für die einzelnen Ereignisse sind die entsprechenden Jahreszahlen aufgeführt. Die Intensität der Ereignisgrösse M wird in den Jahren 1834, 1868, 1883, 1915, 1927, 1956 und, 1987 erreicht oder überschritten, eine Intensität der Ereignisgrösse L nur in den Jahren 1834, 1868, 1927 und, 1987.

Als «Jährlichkeit» wird die mittlere Anzahl von Jahren bezeichnet, die zwischen zwei Ereignissen gleicher Intensität an der betrachteten Gefahrenstelle bzw. auf der betrachteten Bezugsfläche verstreichen. Dabei handelt es sich um einen **rein statistischen Wert**, der überhaupt nichts über die effektive Anzahl Jahre zwischen zwei konkreten Ereignissen aussagt. Ein «100-jährliches Ereignis» kann unter Umständen innerhalb weniger Tage mehrmals stattfinden. Die Aussage «100-jährliche Wiederkehrdauer» wird leicht falsch interpretiert, in dem Sinne nämlich, dass nach einer Katastrophe, die als 100-jährliches Ereignis einzustufen ist, bis zum nächsten solchen Ereignis 100 Jahre verstreichen werden. Aus diesem Grund empfiehlt der U.S. Water Research Council, das gleiche als Wahrscheinlichkeit auszudrükken: Ein 100-jährliches Ereignis ist ein Ereignis mit einer Intensität, die mit einer Wahrscheinlichkeit von 0.01-jährlich einmal überschritten wird (Riggs 1985). (Siehe dazu auch Kap. 9.1.3.)

Derartige Analysen der mittleren Wiederkehrdauer von früheren Ereignissen bestimmter Intensität geben einen Überblick über die bislang festgestellte Frequenz des gefährlichen Prozesses. Unter der Annahme, dass sich die Wahrscheinlichkeiten im Laufe der Zeit nicht ändern, kann die ermittelte bisherige Frequenz für das künftige Auftreten von gefährlichen

Prozessen in die Zukunft extrapoliert werden. Nun sind aber die Daten heute meist bestenfalls für eine Zeitspanne von 50-70 Jahren verfügbar. Dabei werden nur relativ häufige, eine bestimmte Intensität erreichende Ereignisse sicher erfasst. Exzessive Ereignisse, die sich real, aber uns unbekannt, während einiger Jahrhunderte nur einmal abspielen, fehlen vermutlich im statistischen Nachweis. Eine Extrapolation in die Zukunft muss deshalb auf Annahmen und auf Modellen der Extremwertstatistik erfolgen, die bis zu einem gewissen Grad arbiträr sind (vgl. Scheidegger 1975). Ausserdem muss bei den verwendeten Ausgangsdaten auch vorausgesetzt werden können, dass die einzelnen betrachteten Ereignisse unabhängig von einander und auf der Zeitachse zufällig verteilt sind (Riggs 1985: 145). Im weiteren ist zu beachten, dass Extrapolationen in die Zukunft noch schwieriger zu realisieren sind, wenn allfällige Umweltveränderungen berücksichtigt werden sollen.

3.6 Prinzipielle Ansätze der Gefahrenbeurteilung

Eine vollständige Risikoanalyse muss sich sowohl mit den gefährlichen Prozessen als auch mit den gefährdeten Objekten (Schadenpotential) auseinandersetzen. Sie umfasst nach Schneider (1980) Ereignisanalysen, Wirkungsanalysen und Expositionsanalysen (vgl. dazu Kap. 1 und 2). Im folgenden geht es ausschliesslich um die Analyse der gefährlichen Prozesse.

3.6.1 Indikationsrichtungen

Gefahren sind rückblickend (aufgrund früher eingetretener Ereignisse) und vorausblickend zu erkennen und zu beurteilen.

Die Beurteilung des gefährlichen Prozesses (Gefahrenbeurteilung) erfordert die Analyse von eingetretenen und potentiellen Ereignissen und Wirkungen. Gefahren lassen sich vorausblickend oder im Rückblick aufgrund früher eingetretener Ereignisse erkennen:

1. Vorwärtsgerichtete Indikation aufgrund von Ursachenfaktoren,
2. Rückwärtsgerichtete Indikation aufgrund
   - eingetretener Wirkung (Spuren im Gelände, Schäden an Objekten usw.) und
   - Reaktion des Menschen (z.B. Verbauungen oder andere Gegenmassnahmen).

3.6.1.1 Vorwärtsgerichtete Indikation

Die vorwärtsgerichtete Indikation basiert auf dem Erkennen und der richtigen Interpretation von Merkmalen und Merkmalskombinationen, die erfahrungsgemäss auf die Möglichkeit von gefährlichen Prozessen (Disposition und Auslösungsmöglichkeit) hinweisen.

Das Erkennen der Merkmale einer bestimmten Gefahrendisposition verlangt meist eine umfassende synoptische Sicht. So ist beispielsweise die Disposition eines Gebietes für Wildbachaktivität anhand von geomorphologischen, geologischen, klimatologischen, hydrologischen, vegetationskundlichen und weiteren Merkmalen zu erkennen und zu analysieren.

Die Kenntnis der auslösenden Vorgänge und der Wahrscheinlichkeit ihres Eintretens sind ein wesentlicher Bestandteil der vorwärtsgerichteten Indikation. Wenn dabei oft auch die genauen Mechanismen zwischen potentiell auslösendem Vorgang (z.B. Starkregen) und dem gefährlichen Prozess selbst (z.B. Murgang) nicht im Detail bekannt sind, so können doch in vielen Fällen festgestellte statistische Zusammenhänge beigezogen werden.

3.6.1.2 Rückwärtsgerichtete Indikation

Unter der Annahme, dass ein Gefahrenereignis sich in ähnlicher oder sogar gleicher Form wiederholen kann, sind die Wirkung (z.B. Übermurung oder Übersarung eines Schwemmkegels) und die Reaktion des Menschen (z.B. eine früher erfolgte Verbauung des Gerinnes) als rückwärtsgerichtete Identifikationsfaktoren anzusehen.

Wirkung

1. Die Wirkung von früheren Ereignissen lässt sich anhand von Spuren im Gelände, von Schäden an Objekten bzw. von Dokumentationen über eingetretene Schäden usw. erkennen. Rückwärtsgerichtete Indikatoren haben generell den Vorteil, dass sie Aussagen über effektiv eingetretene Prozesse und Situationen beinhalten, die kaum zu widerlegen sind. Andererseits muss ihre Interpretation aus folgenden Gründen sehr sorgfältig erfolgen:

- Die Disposition zum fraglichen gefährlichen Prozess kann sich seit den früheren Ereignissen entscheidend, natürlich oder künstlich (z.B. Verbauungen) verändert (verstärkt oder abgeschwächt) haben, und/oder ;
- die Wirkungswege sind nicht mehr gleich (z.B. natürliche oder künstliche Verlegung eines Bachbettes), und/oder;
- das auslösende Ereignis eines früheren Gefahrenereignisses war irregulärer Art (z.B. Bruch einer unterdessen anders verlaufenden, besser geschützten oder aufgehobenen Rohrleitung, der eine Rutschung ausgelöst hat).

Falls einer dieser Fälle zutrifft, ist der Indikatorwert von früheren Wirkungen fraglich geworden.

Reaktion

Viele Massnahmen gegen gefährliche Prozesse erfolgen als eine Reaktion des Menschen auf eingetretene schadenbringende Ereignisse. Allein schon die Tatsache solcher Massnahmen kann somit eine mittelbare rückwärtsgerichtete Indikation darstellen, indem sie auf schädliche Wirkungen von früheren Ereignissen zurückschliessen lässt. Falls die getroffene Massnahme zweckmässig konzipiert ist, gibt sie allenfalls zusätzliche Hinweise über die Art des gefährlichen Prozesses selbst. In diesen Fällen ist dann jedoch zu beachten, dass gerade wegen dieser Massnahmen die Disposition für den gefährlichen Prozess, wie angestrebt, reduziert sein kann.

Falls getroffene Massnahmen nicht eine Reaktion auf eingetretene Schäden darstellen, sind sie offenbar vorausschauend, als Prävention getroffen worden. Auch sie können einen guten Indikatorwert haben, weil sie ja in der Regel auf einer bereits erfolgten Gefahrenbeurteilung beruhen, die oft auch dokumentiert ist.

3.6.2 Grundansätze der Gefahrenbeurteilung

Eine korrekte Gefahrenbeurteilung erfordert den Einbezug aller verfügbaren Hinweise und Informationen über die gefährlichen Prozesse. Die Verwendung verschiedener methodischer Ansätze und der Vergleich mit abgelaufenen Ereignissen (auch in anderen Regionen) schafft die Voraussetzung für aussagekräftige Plausibilitäts- und Querkontrollen.

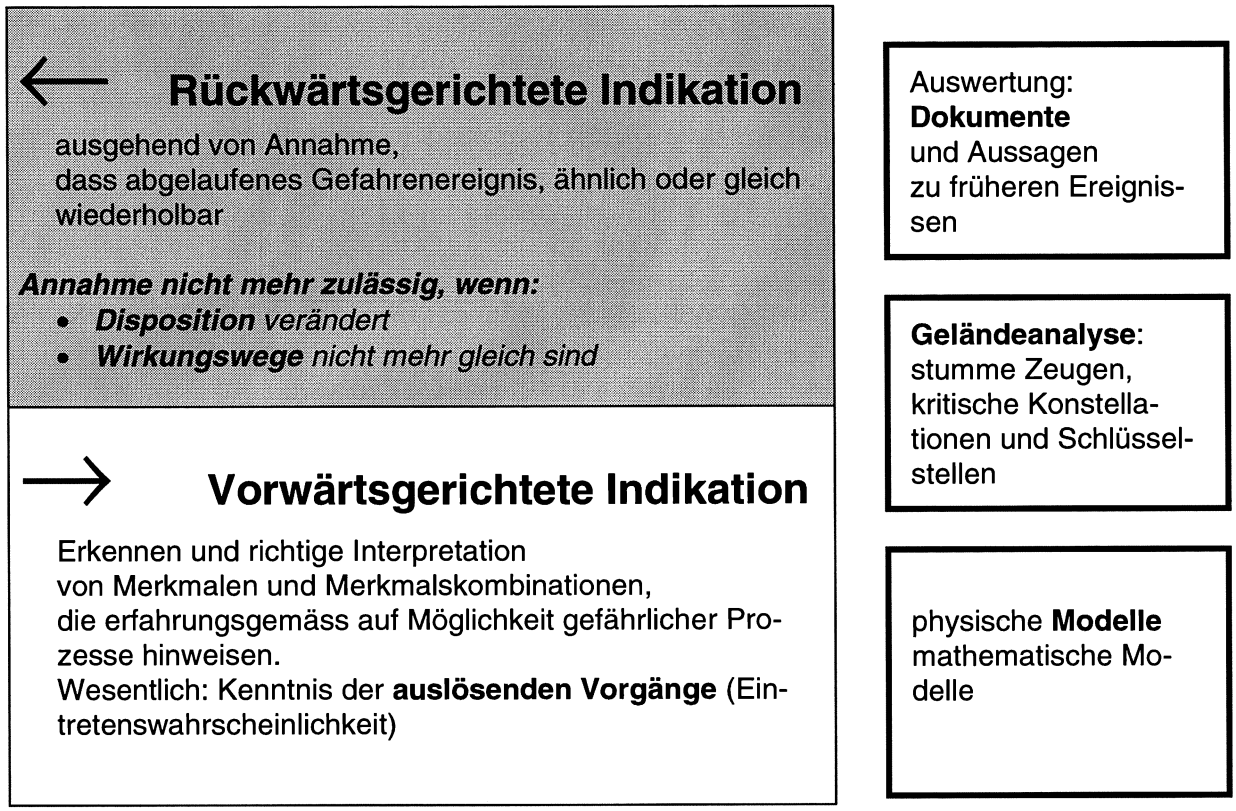


Abb. 3.5 Indikationsrichtungen und Grundansätze der Gefahrenbeurteilung

Die Qualität der Gefahrenbeurteilung wird in hohem Mass durch die verfügbaren Ausgangsdaten bestimmt. Angesichts der oft ungenügenden Datenbasis (vor allem bezüglich quantitativer Daten) ist deshalb jeder Hinweis, jede Information über gefährliche Prozesse zu sammeln und zu interpretieren. Daten und deren Interpretation müssen anhand von Plausibilitätskontrollen, Querkontrollen, Vergleich mit Erfahrungen in anderen Regionen (Analogien, Anomalien usw.) und weiteren sich anbietenden Möglichkeiten überprüft werden.

Die Verfahren zur Gefahrenbeurteilung lassen sich in die folgenden drei, parallel zu verwendenden Grundansätze gliedern:

- erster Grundansatz: Auswertung von Dokumenten und Aussagen;
- zweiter Grundansatz: geomorphologische und allgemeine Geländeanalyse;
- dritter Grundansatz: Modellversuche und -rechnungen.

3.6.2.1 Erster Grundansatz: Auswertung von Dokumenten und Aussagen

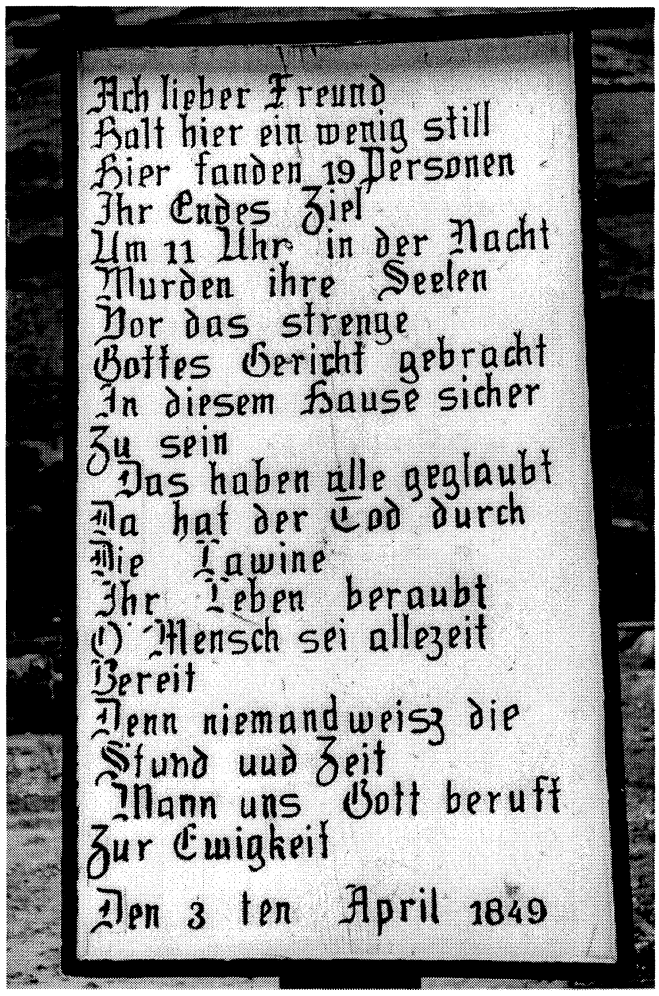


Abb. 3.6 Gedenktafel zur Erinnerung an die Lawinenkatastrophe vom 3. April 1849 in Saas Grund (Schweiz); Foto: H. Kienholz.

Mit der Auswertung von Dokumenten und Aussagen werden Daten und Erfahrungen gesucht, analysiert und interpretiert, die Menschen im Zusammenhang mit bestimmten Gefahrenstellen und Naturgefahren-Ereignissen aufgezeichnet haben bzw. in ihrem Gedächtnis mit sich tragen.

Dieser Grundansatz beinhaltet die Suche und Interpretation von Daten über die Geschichte der interessierenden Gefahrenstelle und der damit im Zusammenhang stehenden Ereignisse. Mit der Auswertung von Dokumenten und Aussagen wird somit - wie teilweise auch mit dem Grundansatz der Geländeanalyse - nach rückwärtsgerichteten Indikatoren gesucht. Während die Geländeanalyse der Erfassung von Daten aus der Natur dient («was können wir in der Natur lesen?»), wird mit der Auswertung von Dokumenten und Aussagen nach «anthropogenen» (= durch menschliche Tätigkeit gespeicherten) Daten gesucht.

Vorausgesetzt, dass die Quelle als zuverlässig gelten darf, sind Aufzeichnungen über den Ablauf und das Schadenausmass früherer Ereignisse besonders wertvoll, weil sie «harte»,

kaum widerlegbare Fakten liefern: Die Lawinengefahr lässt sich nicht a priori wegdiskutieren, wenn Bilddokumente oder schriftliche Aufzeichnungen frühere Ereignisse an der betreffenden Gefahrenstelle dokumentieren (Abb. 3.6).

Gerade für die Beurteilung derjenigen gefährlichen Prozesse, die in einem bestimmten Gefahrenstrich wiederholt auftreten (Wildbach, Lawinen), sind Aufzeichnungen über frühere Ereignisse eine wesentliche Grundlage. Allerdings darf auch in diesen Fällen nicht unbesehen unterstellt werden, dass sich der gefährliche Prozess künftig gleich wie bei früheren Ereignissen abspielen wird: Der Indikatorwert von bekannten Referenzereignissen in Bezug auf künftige Ereignisse muss immer kritisch überprüft werden.

3.6.2.2 Zweiter Grundansatz: Geomorphologische und allgemeine Geländeanalyse

Die Geländeanalyse dient

- *dem Erkennen und Interpretieren der «stummen Zeugen» von früher abgelaufenen gefährlichen Prozessen und*
- *dem Erkennen und Beurteilen von kritischen Konstellationen und Schlüsselstellen im Gelände.*

Mit der Geländeanalyse werden 2 Ziele verfolgt:

1. Erkennen und Interpretieren der «stummen Zeugen» von früher abgelaufenen gefährlichen Prozessen (rückwärtsgerichtete Indikation) und
2. Erkennen und Beurteilen von kritischen Konstellationen und Schlüsselstellen (vorwärtsgerichtete Indikation) der geomorphologischen, geologischen, hydrologischen und/oder anderer Elemente und Prozesse, die Hinweise geben auf:
   - Disposition und mögliche Auslösemechanismen für (neue) gefährliche Prozesse oder
   - neue Stellen, wo gefährliche Prozesse auftreten können sowie
   - zu erwartende und mögliche, für den betreffenden Gefahrenperimeter neu- oder andersartige Prozessabläufe und Wirkungen.

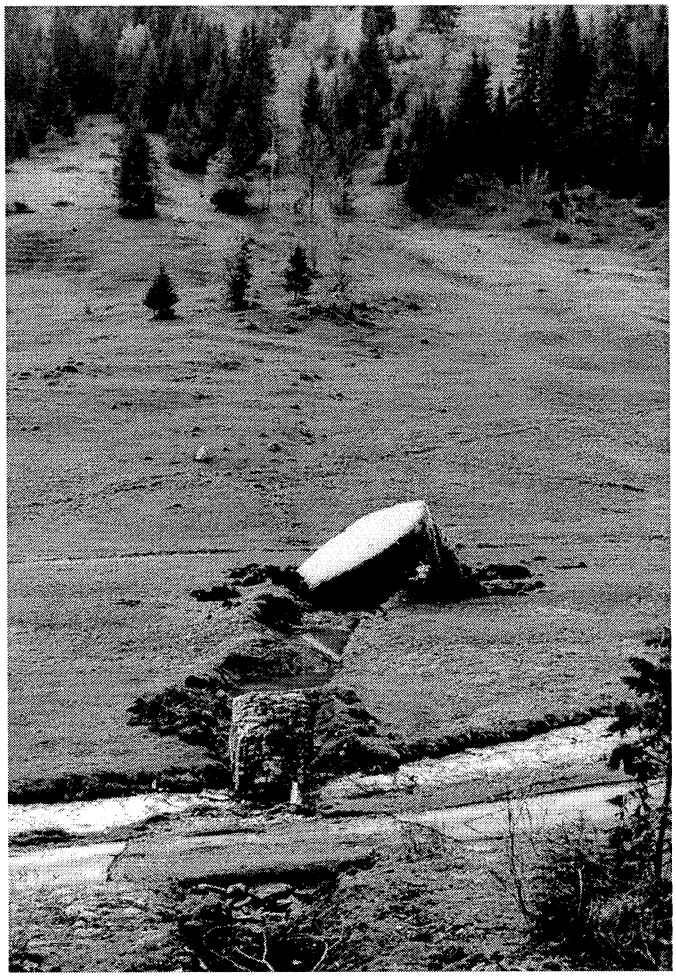


Abb. 3.7 Felssturz im Juststal (Berner Oberland, Frühjahr 1989); Foto: A. Zinggeler.

Die Geländeanalyse erfolgt unter Beizug verschiedener Methoden und umfasst im wesentlichen

- Fernerkundungsverfahren wie
  - die Interpretation von topographischen, geologischen und weiteren thematischen Karten sowie von stereoskopischen Luftbildern und terrestrischen Photographien;
  - Beobachtungen und Erhebungen vom jeweiligen Gegenhang aus;
- direkte, in situ Abklärungen durch
  - an Ort und Stelle erfolgende Begehungen mit Kartierungen, Messungen und Aufzeichnungen im interessierenden Gelände (z.B. entlang eines Wildbachgerinnes)
  - vertiefte Untersuchungen einzelner Aspekte unter Einsatz von verfügbaren Techniken und Instrumenten (z.B. Seismik, Analyse von Bohrkernen usw.).

Auf der Ebene Richtplanung (vgl. Kap. 3.3) stehen die Fernerkundungsverfahren im Vordergrund, und direkte, in situ Abklärungen erfolgen nur stichprobenweise bzw. an erkannten Schlüsselstellen. Auf der Ebene Nutzungsplanung sind direkte, in situ Abklärungen unabdingbar.

3.6.2.3 Dritter Grundansatz: Modelle und Modellrechnungen

Quantitative Aussagen über Geschwindigkeiten, Kräfte, Auslaufstrecken usw. lassen sich in vielen Fällen nicht oder nicht allein aus Erfahrungswerten im Gelände oder aus Aufzeichnungen von Ereignissen ermitteln. Hier sind aufgrund der physikalischen Vorgänge Berechnungen notwendig. Weil jedoch die gefährlichen Prozesse in ihrer Entstehung und ihrem Ablauf sehr kompliziert sind, müssen solche Berechnungen anhand von stark vereinfachten Abbildern der Realität, d.h. anhand von Modellvorstellungen, durchgeführt werden.

Quantitative Aussagen über Geschwindigkeiten, Kräfte, Platzbedarf von bewegten oder abgelagerten Massen, Auslaufstrecken usw. lassen sich in vielen Fällen nicht oder nicht allein aus Erfahrungswerten (aus Aufzeichnungen oder durch Interpretation von stummen Zeugen) ermitteln. Hier müssen Berechnungen mit geeigneten physikalischen und empirischen Modellen durchgeführt werden. Modellrechnungen dienen auch der Nachprüfung der mit Hilfe der beiden anderen Grundansätze erarbeiteten Aussagen.

Die gefährlichen Prozesse in Gebirgsräumen ergeben sich aus der Umwandlung von potentieller Lageenergie betrachteter Massen in kinetische Energie und weiter in «Verlustenergie» (Reibungsenergie, Wärme), die sich in der Beschädigung und Zerstörung von Objekten äussert. Die Gefährlichkeit der Prozesse resultiert aus der Bewegung von Wasser, Schnee, Erd- und Felsmassen an der Erdoberfläche unter dem Einfluss der Schwerkraft und verschiedenartiger Reibungskräfte (i.w.S.).

Die betrachteten Vorgänge sind im einzelnen sehr kompliziert. Verschiedene der Bewegungsarten wie Fallen, Rollen, Springen, Gleiten, Fliessen usw. treten kombiniert auf oder gehen in einander über. Neben den mechanischen Vorgängen spielen auch thermische Prozesse eine Rolle, die das mechanische Verhalten der Stoffe (z.B. von Schnee) beeinflussen. Es ist deshalb ausgeschlossen, die Vorgänge im Detail zu erfassen, zu beschreiben und zu berechnen. Man muss sich mit Modellvorstellungen behelfen, um die gefährlichen Prozesse wenigstens in ihren Grundzügen und wesentlichen Eigenschaften zu beschreiben und berechenbar zu machen. Dabei werden bestimmte Aspekte der Prozesse hervorgehoben und andere unterdrückt. Soweit möglich wird versucht, Modelle zu verwenden, die sich aus bekannten physikalischen Gesetzmässigkeiten ableiten. Hier gibt es jedoch immer wieder Grenzen, weil sich der betrachtete gefährliche Prozess mit seinen zahllosen und im Detail oft unbekannten Teilvorgängen gar nicht erfassen lässt. Deshalb kommen vielfach empirische Modelle zu Anwendung, die sich zwar an den physikalischen Gesetzmässigkeiten orientieren, die jedoch primär auf Analysen von konkreten Fällen im Gelände oder auf gezielt durchgeführten Modellversuchen im Massstab 1:1 oder in verkleinertem Massstab (Laborversuche) basieren.

*Ein wichtiges Beispiel für ein empirisches Modell aufgrund von **Beobachtungen im Gelände** ist das für die Berechnung von Lawinen-Auslaufstrecken häufig verwendete, z.T. modifizierte «Voellmy-Modell» (Voellmy 1955; Schaerer 1975; de Quervain 1977; Buser et Frutiger 1980; Körner 1980; Salm et al. 1990). Typische Beispiele für in **Laborversuchen** erarbeitete empirische Modelle sind die Berechnungsmethoden des Sedimenttransportes in steilen Gerinnen von Smart, Jaeggi (1983) oder von Rickenmann (1990). Weil solche Modelle somit nicht mit der Natur gleichgesetzt werden können, liefern sie bestenfalls Teillösungen innerhalb zu definierender Randbedingungen (vgl. dazu Körner 1980).*

Unter Aufnahme der Grundgedanken von Tabelle 3.5 kann primär eine Unterscheidung zwischen Dispositions- und Verlagerungsmodellen gemacht werden.

- Mit **Dispositionsmodellen** (statische Modelle) wird geprüft, ob und unter welchen Umständen von einem bestimmten Ort aus ein gefährlicher Prozess starten kann. Typische Vertreter solcher Modelle sind Hangstabilitätsmodelle, mit welchen geprüft wird, ob ein bestimmten Hangausschnitt zu Instabilität neigt und dort mit Rutschungen zu rechnen ist.
- **Verlagerungsmodelle** dienen der Beschreibung des Weges und der Dynamik der ablaufenden gefährlichen Prozesse.
  - **Trajektorienmodelle** ermitteln die möglichen Bahnen, d.h. die von den gefährlichen Prozessen bestrichenen Wege (vgl. Hegg et Kienholz 1992).
  - **Reichweitenmodelle** (Reibungsmodelle, auch «dynamische Modelle») beschreiben das Verhalten der Prozesse entlang ihres Weges (Geschwindigkeit, Energie, Druckwirkungen, Auslaufstrecken usw.). Diese Modelle müssen die bei der ablaufenden Bewegung geltenden Gesetzmässigkeiten der Kinetik berücksichtigen.

Es gibt zahlreiche Versuche, bestehende Modelle zu verbessern und neue, raffiniertere Modelle zu entwickeln, die verschiedene theoretisch-physikalische Ansätze aufnehmen. Simulationsmodelle in der GIS-basierten Gefahrenbeurteilung werden in Kapitel 4.2 diskutiert. Ihre konkrete Anwendung für die Beurteilung der Naturgefahren auf der Ebene Richtplanung wird in Kapitel 8 behandelt.

So gut solche Modelle an sich sein können, in der Praxis ergibt sich dann sehr oft das Problem der Erhebbarkeit der notwendigen Ausgangsdaten. Es liegt in der Verantwortung des Bearbeiters, eine vernünftige Relation zwischen den Möglichkeiten der Datenbeschaffung und denjenigen der Datenverarbeitung herzustellen.

3.7 Ausgangsdaten und Grundlagen

Eine korrekte Gefahrenbeurteilung erfordert gute Daten mit einem möglichst konkreten örtlichen Bezug.

Hieb- und stichfeste Ausgangsdaten mit räumlicher Referenzierung, d.h. **mit konkretem örtlichem Bezug**, sind eine der Voraussetzungen für eine korrekte Gefahrenbeurteilung. Solche Daten und besonders gemessene Daten sind aber ganz allgemein, auch in der Schweiz mit ihren relativ dichten Netzen und weit vorangetriebenen Grundlagendokumentationen, nur in beschränkter Qualität und Quantität vorhanden.

3.7.1 Anforderungen an Messnetze und Grundlagendokumente

Um die Anforderungen der Gefahrenbeurteilung auf regionaler und lokaler Ebene optimal erfüllen zu können, müssten Mess- und Beobachtungsnetze und die entsprechenden Dokumentationen folgende Eigenschaften aufweisen:

- Grosse räumliche Dichte (z.B. Niederschlags- und Abflussmessungen auch in Kleinsteinzugsgebieten < 10 km^2).
- Gute Anpassung an das Gelände (z.B. Schneepegelmessungen nicht nur auf normierten horizontalen Flächen, sondern in verschiedenen Geländekonfigurationen, unterschiedlichen Luv- und Leelagen usw.).
- Gute Qualität und Aussagemöglichkeit (z.B. hohe zeitliche Auflösung in interessierenden Phasen) der Beobachtungen und Messungen. Ein Pluviograph beispielsweise ermöglicht neben der Angabe von Niederschlagsmengen über längere Zeiträume auch Aussagen über die Niederschlagsintensitäten.

- Beobachtungen und Messungen der gefahrenbringenden Abläufe selbst. (Eine Abflussmessung hilft weiter als nur eine Niederschlagsmessung; eine Messung der Geschiebeführung eines Baches sagt mehr aus als eine reine Wasser-Abflussmessung.)
- Möglichst lange Zeitreihen der Messungen und Beobachtungen.

3.7.2 Erforderliche und verfügbare Grundlagen

Gefährliche Prozesse werden durch Zustände und Zustandsänderungen, durch Energie- und Stoffflüsse in der Atmosphäre, im Bereich der Vegetationsdecke, an der Erdoberfläche, im Boden, im tieferen Untergrund usw. gesteuert. Für jede Gefahrenbeurteilung sind somit Daten, Grundlagen und Informationen aus verschiedenen fachlichen Bereichen erforderlich.

Im folgenden werden die benötigten Daten und Grundlagen aufgelistet. Mit besonderer Berücksichtigung der schweizerischen Verhältnisse wird die Datenlage einzelner Bereiche, die sich z.T. nicht streng voneinander trennen lassen, kurz diskutiert. Die für eine EDV-gestützte Gefahrenanalyse benötigten Datengrundlagen werden in Kapitel 7.2 diskutiert und Hinweise auf die derzeitige Verfügbarkeit bzw. Nicht-Verfügbarkeit in der Schweiz gegeben.

3.7.2.1 Topographische Unterlagen

Topographische Karten oder andere akkurate topographische Unterlagen (z.B. Luftbilder, Orthofotos) in konventioneller Form oder als digitale Datensätze sind für Gefahrenbeurteilungen und die Darstellung von Gefahrenkarten unabdingbar. Während auf der Ebene Richtplanung mittelmassstäbige Karten (1:10'000 oder 1:50'000) genügen, sind für die Ebene Nutzungsplanung detailliertere Pläne in Massstäben 1 : 1'000 bis 1:10'000 nötig. Die topographische Karte muss primär die richtigen geometrischen Daten zur Verfügung stellen. Darüber hinaus kann sie je nach Qualität und Inhalt wesentliche Grundlagen für die Gefahrenbeurteilung selbst liefern.

3.7.2.2 Geologie

Eine gute Kenntnis der geologischen Verhältnisse des Untersuchungsgebietes ist absolut notwendig für die Beurteilung von Naturgefahren. Falls sie verfügbar sind, stellen grossmassstäbige geologische Karten mit Profilzeichnungen, Beschreibungen und Kommentaren eine sehr wichtige Grundlage dar. Vielerorts stehen aber solche Unterlagen auch im relativ gut dokumentierten Alpenraum nicht zur Verfügung. Von den vorgesehenen Kartenblättern des «Geologischen Atlas der Schweiz» stehen bis heute ca. 40% zur Verfügung (HADES 1992). Wo grossmassstäbige Karten fehlen, ist vorab bei öffentlichen Institutionen und Betreibern von Grossanlagen (Bauämter, Strassenämter, Kraftwerksgesellschaften, Bahngesellschaften usw.) nach entsprechenden Unterlagen (geologische Gutachten usw.) zu suchen. Sofern solche in der Regel detaillierte Unterlagen zugänglich sind und benutzt werden können (Urheberrechte!), bieten sie punktuell wichtige Informationen. Wenn keine anderen Unterlagen zur Verfügung stehen, erhält man auch aus tektonischen und geologischen Übersichtskarten erste Informationen. In diesen Fällen muss sich jedoch der Bearbeiter selber intensiv mit der Geologie, im besonderen mit den geotechnischen Aspekten des fraglichen Gebietes, auseinandersetzen. Oft ist es dabei angezeigt, einen Spezialisten beizuziehen.

Aber auch dort, wo grossmassstäbige geologische Karten zur Verfügung stehen, sind die für eine Gefahrenidentifizierung und -lokalisierung benötigten Daten nur unvollständig oder in einer schlecht verwendbaren Form vorhanden. Die üblicherweise erstellten geologischen Karten sind stark auf stratigraphische und genetische Aspekte ausgerichtet, wobei leider die Quartärformationen, die für viele der gefährlichen Prozesse von entscheidender Bedeutung sind, erst in jüngerer Zeit etwas gründlicher behandelt werden.

Herauslesen lassen sich aus den konventionellen geologischen Karten und den dazugehörigen Erläuterungen die grossräumigen Strukturmerkmale, die wichtigen geologischen Grenzen, die jeweilige Formation, deren lithologischer Bestand und eventuell einige Hinweise auf Eigenschaften dieser Gesteine. Dagegen fehlen in der Regel verschiedene Informationen, die für die Beurteilung von Naturgefahren wichtig sind: Strukturmerkmale im kleinräumigen Bereich, Angaben über das Trennflächengefüge, differenzierte Angaben über die Quartärformationen und deren Substrat, korrekte Ansprache von Massenbewegungen und Hinweise auf aktuelle Prozesse.

3.7.2.3 Geomorphologische Informationen

Geomorphologische Informationen sind für die Beurteilung von Naturgefahren unabdingbar. Entsprechende Grundlagenkarten oder andere systematische Beschreibungen dazu fehlen jedoch in der Regel. Zumindest für Gefahrenbeurteilungen auf Ebene Nutzungsplanung wird die Erstellung solcher Grundlagen vorgängig zur eigentlichen Gefahrenbeurteilung empfohlen. Ein entsprechendes Hilfsmittel wurde mit der Baukastenlegende für die Erstellung der Karte der Phänomene (Kienholz et Krummenacher 1995) bereitgestellt .

3.7.2.4 Boden

Bodenkundliche Unterlagen, besonders Bodenkarten, können bei der Gefahrenbeurteilung vor allem Informationen bezüglich Bodenart und bodenhydrologischer Verhältnisse liefern. Sie können allenfalls und in beschränktem Ausmass als Ersatz für nicht verfügbare geologische und/oder geomorphologische Karten dienen (Grunder et Kienholz 1986). Da sich die Bodenkunde, von wichtigen Ausnahmen abgesehen, traditionsgemäss in erster Linie mit landwirtschaftlichen Böden und der Ertragssteigerung befasst, bestehen allerdings bis heute nur ganz ausnahmsweise mittel- oder grossmassstäbige, flächendeckende Unterlagen in Gebirgszonen (vgl. Scheurer 1985 und Krause 1986). Als allgemeine Grundlage steht in der Schweiz dagegen eine Bodeneignungskarte 1:200'000 (EJPD, EVD et EDI 1980) zur Verfügung, die allerdings die Bodentypen dem kleinen Massstab entsprechend in recht generalisierter Form darstellt. Diese Karte wird beim Hochwasser-Abschätzverfahren von Kölla (1986) als Grundlage für die Charakterisierung der Bodenverhältnisse verwendet.

3.7.2.5 Hydrologie

Hier interessieren vor allem Angaben zur Abflussbildung bei Hochwasserereignissen und die Sickerströmungen in rutschgefährdeten Hängen.

Direkte Angaben zur Abflussbildung und zu den Sickerverhältnissen am einzelnen Standort (Versikkerung, Oberflächenabfluss, Abfluss im Boden) stehen in Gebirgsregionen nur in Ausnahmefällen zur Verfügung. Indirekt lassen sich diesbezügliche Angaben aus topographischen (Dichte des Gewässernetzes, Signaturen für Sumpf usw.), geologischen und geomorphologischen Karten und Unterlagen sowie aus Boden- und Vegetationskarten erschliessen. Eine Möglichkeit, die Eigenschaften eines Einzugsgebietes näherungsweise zu charakterisieren, bietet der Topoindex, der beim TOPMODEL (Beven et al. 1994) eine zentrale Rolle spielt (vgl. dazu auch Weingartner et Kienholz 1994). In der Schweiz muss die bereits erwähnte Bodeneignungskarte 1:200'000 als behelfsmässige Grundlage dienen. Im weiteren können aus der Sammlung von Richard und Lüscher (1987) Angaben aus denjenigen «Lokalformen» ausgewählt werden, die den Bodentypen im betrachteten Gebiet am besten entsprechen.

In den Gerinnen würden die Hochwasserabflüsse und der damit verbundene Feststofftransport interessieren. Hier stehen bestenfalls Pegelmessungen zur Verfügung, die jedoch für die Hochwasserabflüsse nicht immer zuverlässig sind. Die Verifikation der Eichtabellen (P/Q Beziehungen) ist für

Extremabflüsse u.a. wegen deren Seltenheit sehr schwierig. Ausserdem wären lange Beobachtungsreihen und vermehrt Messstellen in kleinen Einzugsgebieten erforderlich.

In der Schweiz mit einem - international gesehen - relativ dichten Messnetz bestehen nur ca. 130 Stationen mit Messreihen von längerer Dauer als 30 Jahre. Immerhin sind in HADES (1992) insgesamt knapp 500 eidgenössische hydrometrische Stationen aufgelistet, die durch ca. 200 kantonale und einige private Stationen ergänzt werden. Die meisten dieser Stationen befinden sich an Flüssen und Gewässern mit Einzugsgebieten > 20 km^2. Die einzelnen Wildbäche aus kleinen Einzugsgebieten sind somit nur in Ausnahmefällen direkt erfasst (Spreafico et Buttet 1983; Spreafico et Stadler 1986 bzw. 1988). Seit 1984 betreibt die Landeshydrologie und -geologie ein zweites Messnetz zur Erfassung der Spitzenabflüsse mit heute rund 100 Stationen. Messungen über die Geschiebefrachten werden nur in einzelnen Testgebieten durchgeführt (Spreafico et Bigler 1980), und auch das erst im Aufbau begriffene Beobachtungsnetz der Landeshydrologie und -geologie umfasst nur ca. 30 Stationen. Im Hydrologischen Atlas der Schweiz werden die Messnetze der Wasserhaushaltsgrössen umfassend dargestellt (HADES 1992).

Mit dem Aufbau bzw. der Neukonzeption einer Feststoff-Datenbank ist die Landeshydrologie und -geologie daran, die Datenlage bezüglich Feststoffverlagerungen zu verbesserrn. Dazu gehört in Zusammenarbeit mit den Kantonen die systematische Erfassung der Leerungen von Geschiebeablagerungsplätzen, Erhebungen über die Sohlenlage von Gewässern usw.

Der Mangel an hydrologischen Unterlagen kann zwar durch Niederschlags-Abfluss-Modellierungen teilweise wettgemacht werden, beispielsweise mit regional-hydrologischen Hochwassermodellen (Kölla 1986; Weingartner 1989; Düster 1994) bzw. mit mikroskaligen Niederschlags-Abfluss-Modellen (Forster 1994; Barben et Weingartner 1995; Mani 1995). Diese Modellierungen bereiten jedoch nach wie vor grosse Schwierigkeiten, so dass die Probleme (abnormales Verhalten, Verhalten in Extremsituationen) auch dann nicht ganz ausgeräumt wären, wenn geeignete klimatische und meteorologische Angaben in genügender räumlicher und zeitlicher Auflösung zur Verfügung stehen würden (vgl. dazu Naef et al. 1994).

3.7.2.6 Regendaten

Im Hinblick auf die Hochwasserabflüsse interessieren vor allem die Regenintensitäten und -ergiebigkeiten und im Zusammenhang mit der Lawinengefahr die Schneeverhältnisse.

Hier wären Karten erwünscht, die für bestimmte Wiederkehrperioden die zu erwartenden Regenintensitäten mit hoher räumlicher Auflösung darstellen. Eine solche Auswertung kann nur auf einem entsprechend dichten und langjährig betriebenen Messnetz erfolgen. In der Schweiz bestehen heute ca. 400 Stationen der Schweiz. Meteorologischen Anstalt (SMA) mit täglichen Niederschlagsmessungen, davon ca. 70 Stationen mit hoher zeitlicher Auflösung (Pluviographen). Unter Einbezug von weiteren früher oder im Rahmen von mehrjährigen Kampagnen betriebenen Stationen haben Zeller et al. (1976-1991) für ca. 400 Stationen die bei bestimmten Jährlichkeiten zu erwartenden Niederschlagsintensität ermittelt. Eine u.a. auf diesen Daten basierende Karte findet sich im Hydrologischen Atlas (HADES 1992). Auch diese Karte kann allerdings die orographischen und lokalen Verhältnisse nur beschränkt berücksichtigen, weil das entsprechende Messnetz vor allem im Alpenraum zu wenig dicht ist.

Eine weitere, künftig zunehmend wichtige Möglichkeit bietet die schweizerische meteorologische Anstalt (SMA) mit ihren Wetterradar-Stationen auf La Dôle, Albis und Mte. Lema. Der Wetterradar, der sich primär zur kurzfristigen, in-time Niederschlags-Warnung eignet, kann auch für die rückblickende Analyse der räumlichen Verteilung und zeitlichen Variabilität von Niederschlägen genutzt werden. Entsprechende Daten stehen seit 1990 zur Verfügung. Die in Intervallen von 5' aufgenommenen Bilder haben seit 1995 eine Auflösung von 1 km x 1 km. Dabei werden 15 Intensitätsklassen

in einer logarithmischen Skala unterschieden, die neuerdings den «besten Schätzwert für die Situation am Boden» repräsentieren.

3.7.2.7 Schneedaten

Schneedaten interessieren bezüglich Lawinengefahr und Wasserspende in den Schneeschmelzperioden. In der Schweiz werden im wesentlichen folgende Messungen durchgeführt:

Tägliche Schneehöhen- und Neuschneemessungen: ca. 400 Stationen der SMA (z.T. lückenhaft) und im Alpengebiet seit Ende der 40er Jahre ca. 90 Stationen des Eidgenössischen Institutes für Schnee- und Lawinenforschung (EISLF). Die Aufnahme von Schneeprofilen und eine Bestimmung des Wasserwertes erfolgen 14-täglich an ca. 60 Stationen des EISLF.

Von 225 Stationen wurden durch Witmer (1986) die verfügbaren täglichen Schneehöhen (Messreihen von mindestens 20 Jahren) ausgewertet und u.a. in Karten der Extremwerte der Schneehöhen, des Schneedeckenzuwachses sowie der Neuschneesummen umgesetzt. Neben diesen gemessen an der Datenbasis guten Unterlagen wären zur Beurteilung der örtlichen Lawinengefahr vermehrte Direktmessungen in den Hängen selbst wünschbar. Angaben bzw. Karten zu Schneehöhen, Neuschneezuwachs bzw. entsprechenden Wasseräquivalenten finden sich im Hydrologischen Atlas (HADES 1992). Zu einer Verbesserung der Datenbasis wird hier auch das Lawinenwarnsystem 2000 beitragen.

3.7.2.8 Informationen über die Bodenbedeckung

Vegetation und Landnutzung beeinflussen einerseits verschiedene gefährliche Prozesse in unterschiedlichem Ausmass und widerspiegeln andererseits die Aktivität solcher Prozesse. Wünschbar wären hier Vegetationskarten, welche Aussagen über die gefahrenrelevanten Standorteigenschaften beinhalten. Solche Karten stehen nur ausnahmsweise zur Verfügung. Recht viele Unterlagen über Waldbestände und z.T. auch über den Waldzustand finden sich bei den Forstdiensten, allerdings in sehr unterschiedlicher Qualität und meist nicht in publizierter Form.

Meist muss der Bearbeiter der Gefahrenbeurteilung die nötigen Daten selber erheben, was im Falle der Bodenbedeckung für grobe Aussagen mit vernünftigem Aufwand möglich ist. Bereits aus guten topographischen Karten, vor allem aber im Luftbild und schliesslich im Gelände selbst, lässt sich die Bodenbedeckung leicht und direkt erkennen.

3.7.3 Folgerungen

Die Bereitstellung von Grundlagendaten ist eine langfristige Aufgabe, die von verschiedenen Institutionen und Dienststellen vor allem auf den Ebenen Bund und Kantone nachhaltig sichergestellt werden muss.

Eine grosse Bedeutung kommt dabei der Führung von Ereigniskatastern zu. Dazu ist auch die unverzügliche fachkundige Dokumentation von Gefahrenereignissen zu gewährleisten.

Die Auflistung der wünschbaren und verfügbaren Daten zeigt die allgemeine Begrenztheit an Grundlagen mit genügender räumlicher und zeitlicher Auflösung. Dies gilt auch für die Schweiz, die im internationalen Vergleich über relativ gut ausgebaute und dichte Messnetze verfügt.

Gerade für Gebirgsregionen mit der starken räumlichen Differenzierung des Niederschlags- und Abflussgeschehens wäre eine Verdichtung der Messnetze sehr wichtig, dies auch, weil der Mangel an gemessenen Daten mit noch so ausgeklügelten statistischen Verfahren nur zum Teil durch Interpolationen und Extrapolationen wettgemacht werden kann.

Angesichts dieser Datensituation, aber auch rein grundsätzlich bildet heute die Kenntnis früherer gefahrenbringender Ereignisse eine wesentliche Grundlage für die Gefahrenbeurteilung. Aufzeichnungen über frühere Lawinenabgänge, Murgänge, Hochwasserereignisse usw. bilden eine äusserst wichtige Informationsquelle für die Vorhersage von zukünftigen gefährdenden Prozessen. Solche Aufzeichnungen sind oft auch das einzige nicht widerlegbare Beweismittel für die Begründung einer Gefahrenzonenabgrenzung. Deshalb ist es unbedingt notwendig, dass solche Aufzeichnungen systematisch durchgeführt und so weit wie möglich in die Vergangenheit zurück vervollständigt werden.

Die Erstellung und Führung von Ereigniskatastern ist aus diesen Gründen eine vorrangige Aufgabe (siehe dazu Kap. 5). Dazu gehört auch die Organisation eines Dokumentationsdienstes, der im Falle von eintretenden Ereignissen ohne zeitlichen Verzug parallel zu den eingesetzten Rettungs- und Wehrdiensten aktiv werden kann.

3.8 Literatur

Abele, G. (1974): Bergstürze in den Alpen. Wissenschaftliche Alpenvereinshefte, H.25, Hauptausschüsse des Deutschen und des Oesterreichischen Alpenvereins, München.

Alean, J. (1984): Untersuchungen über Entstehungsbedingungen und Reichweiten von Eislawinen. Mitt. der Versuchsanst. für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie. ETHZ. Nr.74, Zürich.

ANR (1996): Bericht der temporären Arbeitsgruppe Naturgefahren zur Harmonisierung der Gefahrenstufen. Diskussionsstand Mai, 1996. Bericht zuhanden des Ausschusses «Naturgefahren und Raumplanung», c/o Bundesamt für Wasserwirtschaft, Biel.

Antoine, P. (1992): Les problémes posés par l'instabilitée des versants de grande ampleur - Aspects géologiques. Bull. of the Internat. Assoc. of Engineering Geology, No.45:7-22, Paris.

Antoine, P.; Giraud, A. (1995): Typologie des mouvements de versants dans un contexte opérationnel. Bulletin of the International Association of Engineering Geology, N.51, 4/95: 57-62, Paris.

Arattano, M.; Savage, W.Z. (1994): Modeling debris flows as kinematic waves. Bull. of the Internat. Assoc. of Engineering Geology, No.49:3-14, Paris.

Barben, M.; Weingartner, R. (1995): Hochwasserereignisse in Wildbächen - Analyse grösserer Ereignisse im Rotenbach (Schwarzsee). In: Schweizer Ingenieur und Architekt 113. Jahrgang, Nr. 21:499-502, Zürich.

Baumann, R.; Buri, H. (1994): Erfahrungen mit den Richtlinien zur Berücksichtigung der Lawinengefahr. Raumplanung, Informationshefte 1/94:29-30, EJPD/BRP, Bern.

Beven, K.J.; Lamb, R.; Quinn, P.; Romanowicz, R.; Freer, J. (1995): TOPMODEL and GRIDATB: A User's Guide to the Distribution Versions, CRES Technical Report TR110 (2nd Edition), Lancaster University.

BFF; SLF (1984): Richtlinien zur Berücksichtigung der Lawinengefahr bei raumwirksamen Tätigkeiten. Eidg. inst. f. Schnee- und Lawinenforschung, Bundesamt für Forstwesen, EDMZ, Bern.

Böll, A. (1995): Tragsicherheit von Stahlstützen in Steinschlagverbauungen. SIA Sonderdruck aus Heft Nr.45/1995; Zürich.

Bollinger, D.; Tripet, J.P.; Noverraz, F. (1992): Die kartographische Darstellung der Bodenbewegungsgefahren als Planungsgrundlage: Ein Beitrag zur Vereinheitlichung der Gefahrenaufnahmen in der Schweiz. Interpraevent, Tagungspubl., Bd.3:191-200, Forschungsgesellschaft für vorbeugende Hochwasserbekämpfung, Klagenfurt.

Bollinger, D.; Noverraz, F. (1996): Vereinheitlichung der Aufnahme von Naturgefahren in der Schweiz - Pilotstudie Karte der Bodenbewegungsgefahren 1:25000, Blatt 1247 Adelboden. Geologische Berichte Nr.20, Landeshydrologie und -geologie, BUWAL, Bern.

Bozzolo, D.; Pamini, R.; Hutter, K. (1988): Rockfall analysis - a mathematical model and its test with field data. Landslides, proc. of the fifth internat. symp. on landslides:555-560, Balkeema, Rotterdam.

Braschler, U. (1995): Hochwasserschutz in Nidwalden. Schweiz. Zeitschr. f. Forstwesen, 146.Jg, Nr.7:525-530, Zürich.

Buser, O.; Frutiger; H. (1980): Über maximale Auslaufstrecken von Lawinen und die Bestimmung der Reibungsbeiwerte. Symposium Interpraevent, 1980; Bad Ischl, Tagungspublikation Bd. 3:125-154. Forsch. Ges. für vorbeugende Hochwasserbekämpfung, Klagenfurt, 1980.

Buser, O.; Föhn, P.; Good, W.; Gubler, W.; Salm, B. (1985): Different methods for the assessment of avalanche danger. Cold regions Sci.Tech., 10(85):199-218.

BUWAL; BWW; BRP (1997): Berücksichtigung der Massenbewegungsgefahren bei raumwirksamen Tätigkeiten. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL), Bundesamt für Wasserwirtschaft (BWW), Bundesamt für Raumplanung (BRP), Bern und Biel.

BWW; BRP; BUWAL (1997): Berücksichtigung der Hochwassergefahren bei raumwirksamen Tätigkeiten. Bundesamt für Wasserwirtschaft (BWW), Bundesamt für Raumplanung, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL), Biel und Bern.

Crozier, M.J. (1986): Landslides, Causes, Consequences & Environment. Croom Helm, London.

CRSFA (1992): Instabilités de terrain + débâcles et plan d'aménagement local (PAL), proposition de cartographie et réglementation. Centre de recherches scientifiques fondamentales et appliqués de Sion (CRSFA/92.17), Sion.

de Quervain, M. (1977): Lawinendynamik als Grundlage für die Ausscheidung von Lawinenzonen. Schutz alpiner Lebensräume. Internat. Symp. 'Interprävent, 1975' in Innsbruck, 2:247-267, Klagenfurt.

Descoeudres, F. (1988): Conférence spéciale: Méthodes confortatives en versants rocheux contre les glissements, le fauchage ou les chutes de blocs. Landslides, proc. of the fifth internat. symp. on landslides:821-828, Balkeema, Rotterdam.

Descoeudres, F. (1990): L'éboulement des Crétaux: Aspect géotechniques et calcul dynamique des chutes de blocs. Mitt. der Schweiz. Ges. für Boden- und Felsmechanik, Nr.121:19-25.

Descoeudres, F.; Zimmermann, T. (1987): Three-dimensional dynamic calculation of rockfalls. Proc. 6th Internat. Congr. on Rock Mechanics: 337-342. Montréal.

Düster, H. (1994): Modellierung der räumlichen Variabilität seltener Hochwasser in der Schweiz. Geographica Bernensia G44:, Geogr. Inst. d. Univ., Bern.

Egli, T. (1996): Hochwasserschutz und Raumplanung. Doktorarbeit, ETH Zürich.

EJPD; EVD; EDI (1980): Bodeneignungskarte der Schweiz 1:200'000. EDMZ, Bern.

Erismann, T.H. (1992): Dynamik niederfahrender Massen - Fragen der Modellierung Wildbach und Lawinenverbau, 56.Jg.,H.119:3-19.

FAN (1994): Kurs, 1994; Poschiavo, Ganzheitliche Gefahrenbeurteilung. Forstliche Arbeitsgruppe Naturgefahren, Kursunterlagen, WSL, Birmensdorf.

Forster, F. (1994): Die Simulation hydrologischer Prozesse mit dem Modell BROOK - eine Analyse. Beitr. z. Hydrologie der Schweiz Nr. 35:195-208. SGHL, Bern; WSL, Birmensdorf.

Forster, F.; Keller, H.M.; Rickenmann, D.; Röthlisberger, G. (1994): Hochwasser. Schweiz. Zeitschr. f. Forstwesen, 145/1:27-45, Zürich.

Gerber, W.; Böll, A. (1993): Masssnahmen zum Schutz gegen Rutschungen und Steinschlag. Eidg. Forschungsanst. für Wald, Schnee und Landschaft. Forum für Wissen, Naturgefahren:33-38, Birmensdorf.

Gerber, W.; Böll, A. (1994): Massnahmen zum Schutz gegen Rutschungen und Steinschlag. Schweiz. Zeitschr. f. Forstwesen, 145/1:47-57, Zürich.

Germann, P. (1994): Do forests control run-off?. Hydrologie kleiner Einzugsgebiete, Gedenkschrift Hans Keller:105-110, Eidg. Forschungsanst. für Wald, Schnee und Landschaft, Birmensdorf.

Glawe, U.; Moser, M. (1992): Geotechnische Untersuchungen an Blockbewegungen. Interpraevent, 1992, Tagungspubl., Bd.2:93-112, Forschungsgesellschaft für vorbeugende Hochwasserbekämpfung, Klagenfurt.

Grunder, M.; Kienholz, H. (1986): Gefahrenkartierung. In: Wildi, O., Ewald, K.: Der Naturraum und dessen Nutzung im alpinen Tourismusgebiet von Davos - Ergebnisse des MAB-Projektes Davos, Eidg. Anst. für das forstl. Versuchswesen, Berichte Nr. 289:67-86, Birmensdorf.

Gsteiger, P. (1993): Steinschlagschutzwald. Schweiz. Zeitschr. f. Forstwesen, 144.Jg., Nr.2:115-132, Zürich.

Guggisberg, C. (1994): Schutz vor Naturgefahren mit Instrumenten der Raumplanung. Raumplanung, Informationshefte 1/94:6-7, EJPD/BRP, Bern.

HADES (1992): Hydrologischer Atlas der Schweiz. EDMZ, Bern.

Haefeli, R.; de Quervain, M.R. (1955): Gedanken und Anregungen zur Benennung und Einteilung der Lawinen. Die Alpen, Zeitschr. des SAC, Jg.31:72-77.

Hegg, Ch.; Kienholz, H. (1992): Hangprozesse: Grenzen und Möglichkeiten der Simulation. Interpraevent, Tagungspubl., Bd.4:175-186, Forschungsgesellschaft für vorbeugende Hochwasserbekämpfung, Klagenfurt.

Heierli, W.; Merk, A.; Temperli, A. (1981): Schutz gegen Steinschlag. 2. Aufl. VSS Forschungsberichte 44.

Hutchinson, J.N. (1993): The Assessments of Sub-aerial Landslide Hazard. Landslides Hazard Mitigation with Particular Reference to Developing Countries, One-Day Conference at the Royal Society, London, 12.11.1993:57-66.

IUGS (International Union of Geological Sciences Working Group on Landslides) (1995): A suggested method for describing the rate of movement of a landslide. Bulletin of the International Association of Engineering Geology, No.52:75-78.

Jahn, J. (1988): Entwaldung und Steinschlag. Interpraevent, Tagungspubl., Bd.1:185-189, Forschungsgesellschaft für vorbeugende Hochwasserbekämpfung, Klagenfurt.

Kienholz, H.; Krummenacher, B. (1995): Symbolbaukasten zur Kartierung der Phänomene. Empfehlungen, Ausgabe, 1995. Mitt. des Bundesamtes für Wasserwirtschaft, Nr.6, Bern, BUWAL, Bern, EDMZ Nr.320.022d, Bern.

Kienholz, H.; Keller, H.; Amman, W.; Weingartner, R.; Germann, P.; Hegg, Ch.; Mani, P.; Rickenmann, D. (1997): Zur Sensitivität von Wildbachsystemen. Schlussbericht Projekt NFP-31. VdF, Zürich. (im Druck).

Kölla, E. (1986): Zur Abschätzung von Hochwassern in Fliessgewässern an Stellen ohne Direktmessungen. Mitteilungen der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie, Nr. 87. Zürich.

Kölla, E. (1994): Modellierung der räumlichen Variabilität seltener Hochwasser in der Schweiz, Rezension. Wasser,Energie,Luft, 87 Jg.,H.3/4:92-93, Baden.

Körner, H.J. (1980): Modelle zur Berechnung der Bergsturz- und Lawinenbewegung. Interpraevent, Tagungspubl., Bd.2:15-55, Forschungsgesellschaft für vorbeugende Hochwasserbekämpfung, Klagenfurt.

Krause, M. (1986): Die Böden von Davos: Ertragspotential, Belastbarkeit und Gefährdung durch Nutzungsänderungen. Schlussberichte zum Schweizerischen MAB-Programm, Nr.18, BUWAL, Bern.

Krauter, E.; Köster, M. (1991): Stabilitätsprobleme an Felsböschungen im Rheinischen Schiefergebirge. Geotechnik, Sonderheft, 1991:22-27, DGEG, Essen.

Krummenacher, B. (1995): Modellierung der Wirkungsräume von Erd- und Felsbewegungen mit Hilfe Geographischer Informationssysteme. Schweiz. Zeitschr. f. Forstwesen, 146.Jg., Nr.9:741-761, Zürich.

Krummenacher, B.; Zinggeler, A.; Keusen, H.R. (1993): Naturgefahren Obermatte Ergisch. Forstliche Arbeitsgruppe Naturgefahren, Herbstkurs 2, 21./22.9.93, Kursunterlagen, Geotest, Zollikofen.

Loat, R.; Willi, H.P. (1995): Hochwasserschutz aus der Sicht des Bundesamtes für Wasserwirtschaft. Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik 2/95.

Mani, P. (1995): Erfassung der Wildbachgefahr mit Hilfe von GIS-basierten Modellen. Schweiz. Zeitschr. f. Forstwesen, 146.Jg., Nr.9:727-739, Zürich.

Naef, F.; Scherrer, S.; Faeh, A. (1994): Wie reagiert ein Einzugsgebiet auf extreme Niederschläge? Alte und neue Ideen und Experimente. Hydrologie kleiner Einzugsgebiete, Gedenkschrift Hans Keller:111-119, Eidg. Forschungsanst. für Wald, Schnee und Landschaft, Birmensdorf.

Noverraz, F.; Bonnard, C. (1992): Le glissement rapide de la Chenaula. Interpraevent, Tagungspubl., Bd.2:65-76, Forschungsgesellschaft für vorbeugende Hochwasserbekämpfung, Klagenfurt.

Perla, R.; Martinelli, M.J. (1976): Avalanche Handbook. Agriculture Handbook 489, U.S.D.A. Forest Service, Washington D.C.

Petraschek, A. (1996): Grundsätze zur Berücksichtigung der Wassergefahren in der Raumplanung in der Schweiz. Interpraevent, 1996; Tagungspubl., Forschungsgesellschaft für vorbeugende Hochwasserbekämpfung, Klagenfurt.

Pfeiffer, T.J. (1989): Rockfall hazard Analysis Using Computer Simulation of Rockfalls. colorado School of Mines, Master Thesis.

Richard, F.; Lüscher, P. (1978 bis 1987): Physikalische Eigenschaften von Böden der Schweiz. Eidg. Techn. Hochschule Zürich, Institut für Wald und Holzforschung, Fachbereich Bodenphysik, Band 1 bis 4.

Rickenmann, D. (1990): Bedload transport capacity of slurry flows at steep slopes. Mitt. der Versuchsanst. für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie. ETHZ. Nr.103, Zürich.

Rickenmann, D. (1995): Beurteilung von Murgängen. Schweizer Ing. und Architekt, 113.Jg.,Nr.48:1104-1108, Zürich.

Riggs, H.C. (1985): Streamflow Characteristics. Developments in Water Science. Elsevier, Amsterdam.

Rochet, L. (1987): Développement des modèles numériques dans l'analyse de la propagation des éboulements rocheux. 6e congr. Int. de Mécanique des Roches, Vol.1:479-484, Montréal.

RPG (1979): Raumplanungsgesetz (RPG) vom 22. Juni 1979. SR 700. EDMZ, Bern.

Salm, B. (1982): Lawinenkunde für den Praktiker. Schweizer Alpen-Club.

Salm, B. (1994): Lawinen - Gefahr und Risiko langfristig betrachtet. Schweiz. Zeitschr. f. Forstwesen, 145/1: 75-86, Zürich.

Salm, B.; Burkard, A.; Gubler, H.U. (1990): Berechnung von Fliesslawinen. Eine Anleitung für den Praktiker mit Beispielen. Mitt. d. Eidg. Inst. f. Schnee- und Lawinenforschung, Nr.47, Davos.

Schaerer, P.A. (1975): Friction coefficients and speed of flowing avalanches. Snow Mechanics Symp., IAHS-Publ. No.114: 425-431.

Scheidegger, A.E. (1975): Physical Aspects of Natural Catastrophes. Elsevier, Amsterdam/New York.

Scheurer, Th. (1985): Bodenbildung und Bodenveränderung im Berggebiet (Testgebiet Grindelwald). Schlussberichte zum Schweizerischen MAB-Programm, Nr. 12, BUWAL, Bern.

Schindler, C.; Cuénod, Y.; Eisenlohr, T.; Joris, C.L. (1993): Die Ereignisse vom 18. April und 9. Mai, 1991 bei Randa (VS) - ein atypischer Bergsturz in Raten. Eclogae geol. Helv., Bd.86/3: 643-665.

Schneider, J. (1980): Gefahren, Gefährdungsbild und ein Sicherheitskonzept. Schweizer Ing. und Architekt, Nr.7:115-121, Zürich.

Schneider, J.; Schlatter, H.P. (1994): Sicherheit und Zuverlässigkeit im Bauwesen.. vdf Zürich oder B.G. Teubner Verlag, Stuttgart.

Smart, G.M.; Jaeggi, M.N.R. (1983): Sedimenttransport in steilen Gerinnen. Mitt. der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie Nr. 64. Zürich.

Spang, R.M.; Rautenstrauch, R.W. (1988): Empirical and mathematical approaches to rockfall protection and their practical applications. Landslides, proc. of the fifth internat. symp. on landslides:1237-1243, Balkeema, Rotterdam.

Spreafico, M.; Bigler, R. (1980): Verzeichnis der hydrologischen Untersuchungsgebiete der Schweiz. Landeshydrologie, Mitt. Nr.2, Bern.

Spreafico, M.; Buttet, P. (1983): Verzeichnis der schweizerischen Pegelstand- und Abflussmessstationen an Oberflächengewässern. Landeshydrologie, Mitt. Nr. 5, Bundesamt für Umweltschutz, Bern.

Spreafico, M.; Stadler, K. (1986): Hochwasserabflüsse in Schweizerischen Gewässern. Landeshydrologie und -geologie, Band 1 = Mitt. Nr. 7, Bundesamt für Umweltschutz, Bern.

Spreafico, M.; Stadler, K. (1988): Hochwasserabflüsse in Schweizerischen Gewässern. Landeshydrologie und -geologie, Band 2 = Mitt. Nr. 8, Bundesamt für Umweltschutz, Bern.

Spreafico, M.; Lehmann, C.; Naef, O. (1996): Empfehlung zur Abschätzung von Feststofffrachten in Wildbächen. Teil I, Handbuch. Arbeitsgruppe für operationelle Hydrologie, Mitt. Nr. 4, Landeshydrologie und -geologie, Bern.

UNESCO (1981): Avalanche Atlas, Illustrated International Avalanche Classification. Internat. Comm. on Snow and Ice of the IAHS, Paris.

Varnes, D. (1978): Slope Movement, Types and Processes. In: National Academy of Sciences, Special Report 176:11-33, Washington

Voellmy, A. (1955): Über die Zerstörungskraft von Lawinen. Schweiz. Bauzeitung 73:159-165, 212-217, 246-249 und 280-285.

WaG (1991): Bundesgesetz über den Wald (Waldgesetz, WaG) vom 4.10.91. SR 921.0, EDMZ, Bern.

WaV (1992): Verordnung über den Wald (Waldverordnung, WaV) vom 30.11.92. SR 921.01, EDMZ, Bern.

WBG (1991): Bundesgesetz über den Wasserbau (Wasserbaugesetz) vom 21.6.91. SR 721.100, EDMZ, Bern.

WBV (1994): Verordnung über den Wasserbau (Wasserbauverordnung) vom 1.12.94. SR 721.100.1, EDMZ, Bern.

Weingartner, R. (1989): Das Unit-Hydrograph-Verfahren und seine Anwendung in schweizerischen Einzugsgebieten, Projektschlussbericht. Publikation Gewässerkunde Nr. 107, Bern, GIUB.

Wilhelm, C.; Schmithüsen, F.; Salm, B. (1993): Kosten-Nutzen Modell zur Beurteilung der wirtschaftlichkeit ausgewählter Lawinenschutzprojekte des Berner Oberlandes. Professur Forstpolitik und Forstökonomie, Dept. Wald- und Holzforschung - ETH, Arbeitsberichte allg. Reihe Nr.93/2, Zürich.

Witmer, U. (1986): Erfassung, Bearbeitung und Kartierung von Schneedaten in der Schweiz. Geographica Bernensia, G 25, Geogr. Inst. d. Univ. Bern.

WP WLI (1994): A suggested method for describing the rate of movement of a landslide. The Int. Geotech. Societies' UNESCO Working Party on world Landslide Inventory. Proc. Symp. SSMFE, Guyaquil Ecuador.

WSL (1990): Richtlinien für den Lawinenverbau im Anbruchgebiet. Eidg. Forschungsanst. für Wald, Schnee und Landschaft, Birmensdorf, Eidg. Inst. f. Schnee- und Lawinenforschung, Davos.

Zeller, J.; Geiger, H.; Röthlisberger, G. (1976-1991): Starkniederschläge des schweiz. Alpen- und Alpenrandgebietes. 7 Bände. Eidg. Anst. f. forstl. Versuchswesen, Birmensdorf.

Zeller, J. (1995): Das Gewässernetz, ein quantitativer Indikator für den Charakter von Kleineinzugsgebieten. Wildbach- und Lawinenverbau, 59.Jg., H.128:5-64.

Zimmermann, M.; Mani, P.; Gamma, P. (1997): Murganggefahr und Klimaänderung - ein GIS-basierter Ansatz. Schlussbericht Projekt NFP 31, vdf, Zürich S (im Druck).

4 Geographische Informationssysteme in der Gefahrenbeurteilung

4.1 Einleitung

Geographische Informationssysteme sind effiziente Instrumente für die Analyse von räumlichen Phänomenen und für die Verwaltung räumlich referenzierter Daten. Sie stellen damit in der Gefahrenbeurteilung ein wertvolles Hilfsmittel dar. Geographische Informationssysteme eignen sich auch für die Verwaltung von Kataster- und Schadenpotentialsdaten.

Geographische Informationssysteme dienen der Verwaltung und Analyse räumlich referenzierter Daten. In den SIK-GIS Empfehlungen 1992 wird der Begriff «Geographisches Informationssystem» wie folgt definiert:

GIS:	*«Unter einem GIS verstehen wir ein Informationssystem, das raumbezogene Daten enthält, ... und das eine systematische Erfassung, Aktualisierung, Verarbeitung, Analyse und Umsetzung dieser Daten auf der Grundlage eines einheitlichen Bezugssystems gestattet. Ein GIS ist ein Instrument zur Entscheidfindung in Verwaltung, Recht und Wirtschaft, sowie ein Hilfsmittel für die Planung.» (SIK-GIS 1992).*

Die Funktionalität eines geographischen Infromationssystems erlaubt es, Informationen mit Raumbezug zu erfassen, zu verwalten, zu analysieren und darzustellen.

Der Funktionsumfang geographischer Informationssysteme variiert stark. Er ist u.a. auch eine Frage des Preises solcher Systeme. Grundsätzlich lässt sich der Funktionsumfang in folgende Gruppen unterteilen:

- *Datenerfassung: Digitalisierung, Geometrieprüfung, Attributerfassung usw.;*
- *Datenverwaltung: Datenimport und -export, Datenebenen kopieren, umbenennen usw.;*
- *Datenanalyse: Selektionen geometrisch oder über Attribute, Überlagerungen, räumliche Modellierungen (Nachbarschaftsanalysen, Puffer, Pfadsuche), lineare Modellierung (Netzwerkanalysen);*
- *Datenausgabe: Kartographie (Ausgabe auf Plotter oder als Druckvorlagen), Erstellen von Tabellen und Berichten.*

Die verschiedenen GIS-Systeme unterscheiden sich recht stark in der Benutzerführung. Einige Systeme sind eher als Toolbox aufgebaut, mit der ein Benutzer ein seinen Bedürfnissen entsprechen-

des System aufbauen kann; andere verfügen über eine umfassende Benutzerführung, sind dadurch aber von den Möglichkeiten her eingeschränkt.

In einem GIS erfolgt die Datenverwaltung in Informationsebenen. Die komplexe Realität wird in verschiedenen thematischen Ebenen abgebildet. Ein Beispiel aus dem Bereich Naturgefahren ist in Abbildung 4.1 dargestellt.

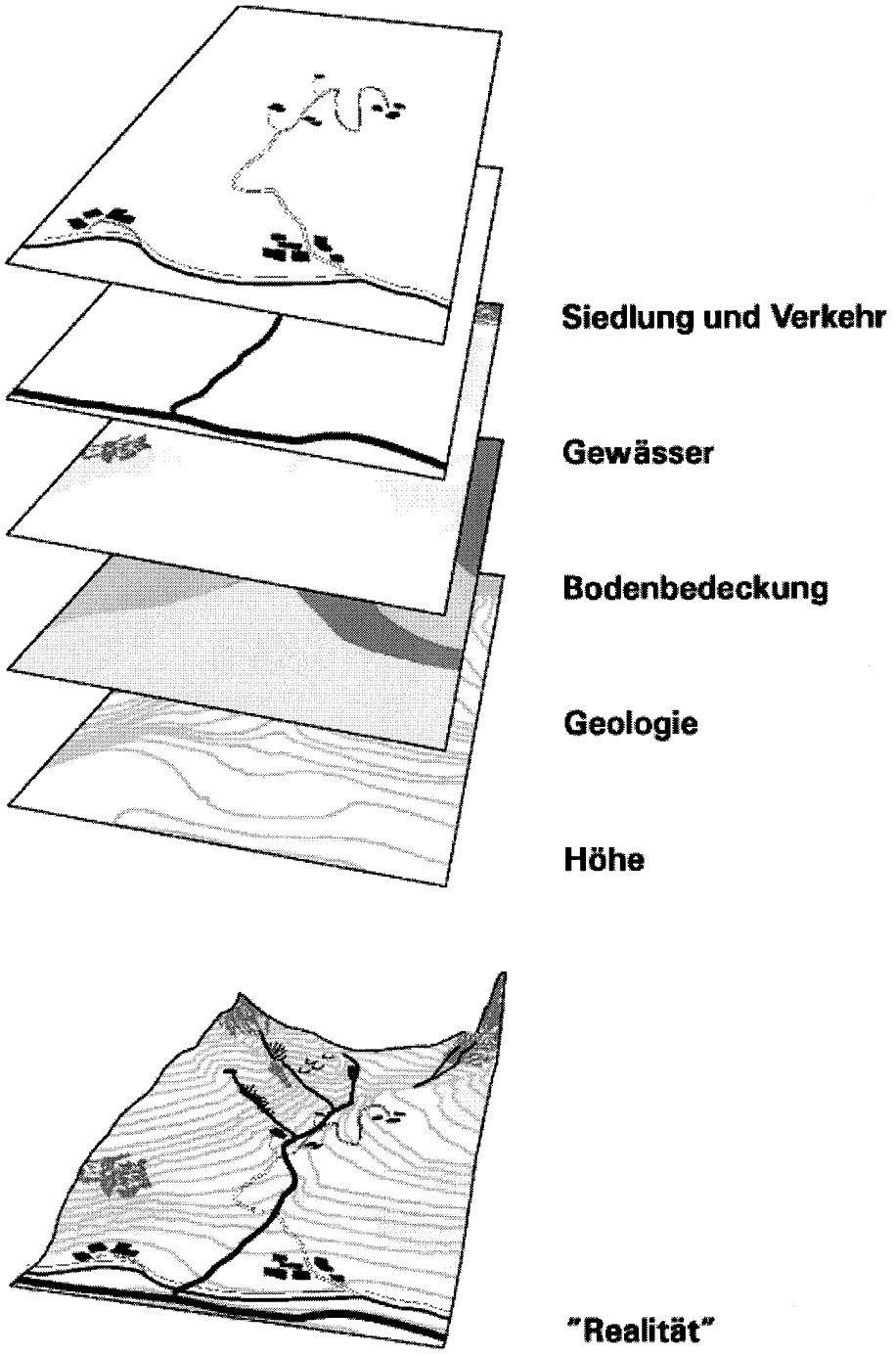


Abb. 4.1 Aufgliederung der Realität in Informationsebenen

Für die Verwaltung räumlicher Daten kommen heute hauptsächlich zwei Konzepte zur Anwendung:

- *Räumlich klar abgrenzbare Objekte werden im Vektorformat verwaltet. Die Beschreibung von Objekten basiert auf dem Punkt. Als Grundelemente gibt es Punkte, Linien und Flächen. Linien werden durch eine Folge von Punkten, Flächen durch eine geschlossene Folge von Linien definiert. Die Attribute zu diesen Objekten werden in Attributtabellen verwaltet.*

- *Im Raum sich kontinuierlich verändernde Daten, beispielsweise die Höhe über Meer, werden mit Vorteil in Rasterform verwaltet. Hierbei wird das Pixel, eine quadratische oder rechteckige Fläche von einheitlichem Informationsgehalt, als geometrisches Grundelement verwendet. Pixel werden in Matrixform angeordnet. Im Rasterformat wird nicht zwischen Punkten, Linien oder Flächen unterschieden.*

Eine umfassende Beschreibung der grundlegenden Konzepte und der Möglichkeiten Geographischer Informationssysteme geben beispielsweise Bill et Fritsch (1991) oder Laurini et Thomson (1995). Eine gute Zusammenstellung, die sich auf die Verhältnisse in der Schweiz bezieht, ist in den SIK-GIS Empfehlungen 1992 (SIK-GIS 1992) zu finden.

Im Naturgefahrenbereich können Geographische Informationssysteme sowohl für die Datenverwaltung als auch für die Datenanalyse eingesetzt werden. Bei der Verwaltung von Katasterdaten bieten Geographische Informationssysteme grosse Vorteile (vgl. Kap. 5.4). Im GIS verwaltete Daten zu Naturgefahren können einfach mit weiteren Informationen, z.B. zum Waldbestand, kombiniert werden und so wertvolle Informationen für die forstliche Planung liefern (vgl. Mani 1994).

In der Analyse von Naturgefahren hat der Einsatz Geographischer Informationssysteme in den letzten Jahren stark an Bedeutung gewonnen. Carrara et al. (1990) haben beispielsweise mit Hilfe eines Geographischen Informationssystems die Rutschgefahr in einem Einzugsgebeit in Umbrien (Italien) beurteilt. In Kalifornien (San Mateo County) wurde mit Hilfe eines GIS eine Murgangdispositions-Karte erstellt (Mark 1992). Mani et Kläy (1992) beschreiben eine GIS-Anwendung bei der Beurteilung der Gefahrensituation im Gebiet der Rigi-Nordlehne. GIS-basierte Gefahrenbeurteilungs-Verfahren sind vor allem bei der Bearbeitung von grösseren Raumeinheiten, beispielsweise Regionen, von Bedeutung. Sie sind damit primär ein Hilfsmittel auf der Richtplanebene. Hier können solche Verfahren mit einem relativ geringen Aufwand die notwendigen Informationen zur Gefahrensituation liefern. Eine grösserräumige Beurteilung der Naturgefahrensituation ist jedoch nicht nur für die Raumplanung von Interesse; sie kann auch einer räumlichen Problemeingrenzung und damit einem rationellen Einsatz von Ressourcen (Arbeit, Finanzmittel) dienen; bespielsweise wenn es darum geht, detailliertere Gefahrenbeurteilungen vorzunehmen, Kataster zu erstellen oder Massnahmen zu planen.

Für die Naturgefahren-Beurteilung bieten Geographische Informationssysteme heute vielfältige Möglichkeiten. Grenzen für ihren Einsatz ergeben sich primär von der Datenseite (Datenverfügbarkeit, Datenqualität), weniger von den technischen Möglichkeiten. Denn für GIS-Analysen müssen die relevanten Daten in einer geeigneten Form vorliegen. Wichtige Stichworte sind in diesem Zusammenhang die räumliche Auflösung, die Aktualität und Erfassungsqualität sowie die Datenintegrität (vgl. Zehnder 1989).

Bei all den Möglichkeiten solcher Systeme darf jedoch nicht vergessen werden, dass Geographische Informationssysteme die Arbeit des Naturgefahren-Experten nur unterstützen, nicht aber ersetzen können.

4.2 Simulationsmodelle in der GIS-basierten Gefahrenbeurteilung

Die Modellbildung, das heisst die vereinfachende Abbildung der Realität in einem Modell, ist unabhängig von den eingesetzten Verfahren Grundvoraussetzung für die Beurteilung der komplexen gefährlichen Prozesse.

Wenn Naturgefahren-Prozesse analysiert werden sollen oder wenn Prognosen zur Gefahrensituation gefragt sind, bedingt dies den Einsatz von Modellen. Mit Modellen soll die komplexe Realität soweit vereinfacht werden, dass mit Hilfe von logischen, numerischen oder statistischen Methoden Analysen durchgeführt werden können. Dies gilt auch für die Gefahrenbeurteilung und zwar unabhängig davon, ob eine Beurteilung mit GIS durchgeführt wird oder nicht. Denn Naturgefahren-Prozesse stellen meistens sehr komplexe Systeme dar, die ohne Vereinfachungen nicht analysiert werden können. Ziel der Modellformulierung ist es, die wesentlichen Eigenschaften von Gefahrenprozessen abzubilden. Wichtig ist in diesem Zusammenhang, dass bei der Modellentwicklung das Modellverhalten immer wieder mit Daten aus der Realität verglichen wird.

Bei Gefahrenprozessen können Start-, Transit- und Ablagerungsbereiche unterschieden werden (vgl. Tab. 3.5). Diese Unterteilung findet auch in der Modellierung ihren Niederschlag. Mit Dispositionsmodellen werden Flächen ausgeschieden, auf denen Prozesse entstehen können (vgl. Abb. 4.2). Sind die Startbereiche festgelegt, müssen in einem weiteren Schritt die Transit- und Zielbereiche ausgeschieden werden. Für diesen Schritt werden Verlagerungsmodelle eingesetzt. Sie verfolgen den Prozessweg und schätzen die Reichweite eines Prozesses ab. Auf der Überblicksstufe werden für die Abschätzung der Verlagerung normalerweise einfache Modellansätze gewählt, z.B. der Fahrböschungs-Ansatz von Scheidegger (1975) oder Modelle mit zwei Reibungsparametern, wie im Lawinen-Modell von Voellmy (1955).

Die Bedeutung von Modellen hat in der Gefahrenanalyse in den letzten Jahrzehnten stetig zugenommen. Im folgenden soll eine kurze Übersicht über einige Modelle gegeben werden, die für die Analyse der verschiedenen Gefahrenprozesse eingesetzt werden:

- *Sturzprozesse: Neben dem oben aufgeführten Modell von Scheidegger (1975), das für die Analyse von Bergstürzen entwickelt wurde, werden heute für die Sturzsimulation z.B. die Modelle von Bozzolo et al. (1988) oder Zinggeler et al. (1991) eingesetzt.*

- *Rutschprozesse: Für die Beurteilung der Rutschgefährdung werden häufig zwei Ansätze verwendet. Mit statistische Verfahren wird versucht, indirekt, über verschiedene Indikatoren, auf die Wahrscheinlichkeit von Rutschungen zu schliessen (z.B. Carrara et al. 1990). Andere Ansätze gehen von der Methode für die Berechnung der Stabilität von einzelnen Böschungen aus und versuchen diesen Ansatz auf die Fläche zu übertragen (Mulder et van Asch 1988, Liener 1995).*

- *Lawinen: Für die Ausscheidung von Lawinenanrissgebieten bestehen Anleitungen und Modelle von Salm et al. (1990) und Hegg (1997). Für die Reichweitenabschätzung von Lawinen stellt das Voellmy-Modell (Voellmy 1955) einen Standard dar. Basierend auf diesem Modell hat Hegg (1997) ein GIS-basiertes Lawinenmodell entwickelt.*

- *Gerinneprozesse: Neben einer Vielzahl von hydrologischen Modellen und Abschätzverfahren (z.B. Zeller 1974 oder Kölla 1986) auf die hier nicht weiter eingegangen werden soll, werden seit*

längerer Zeit Anstrengungen unternommen, um den Geschiebetransport in Wildbächen in Modellen abzubilden. Recht häufig Verwendung finden heute die Verfahren von Smart und Jäggi (1983) und das darauf aufbauende Modell von Rickenmann (1990). Für die Behandlung von Murgängen sind in der Ursachenanalyse der Hochwasser 1987 verschiedene Vorschläge entwikkelt worden. Entsprechende Faustregeln und Verfahren geben Häberli et al. (1991) und Rickenmann (1995). Rickenmann (1991) hat im weiteren gezeigt, dass es grundsätzlich möglich ist, die Reichweite von Murgängen mit Hilfe des Voellmy-Modells abzuschätzen.

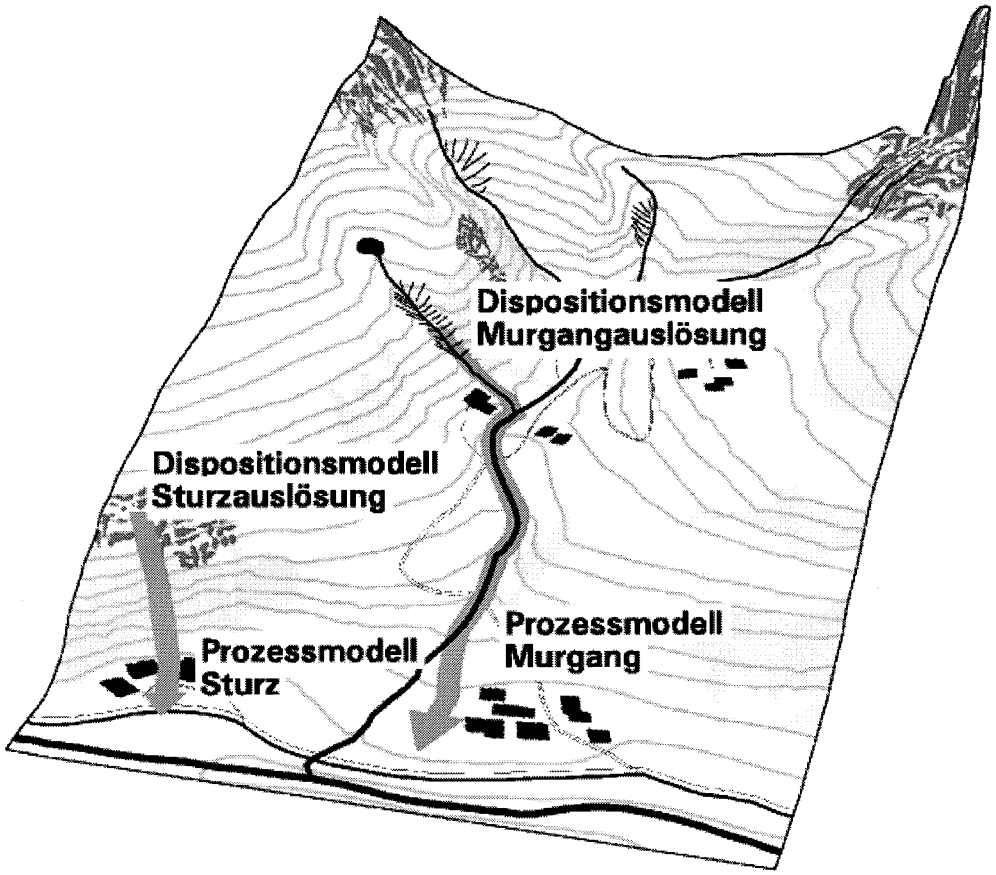


Abb. 4.2 Verschiedene Modelltypen und ihre Anwendung bei der Naturgefahren-Beurteilung

Dispositionsmodelle können weitgehend mit Standard-GIS-Funktionen realisiert werden. Zur Anwendung kommen primär Überlagerungsfunktionen und Funktionen für die digitale Reliefanalyse (z.B. Berechnung der Hangneigung aufgrund eines digitalen Höhenmodells). Für die Reichweiten-Modellierung bieten die Geographischen Informationssysteme heute noch kaum geeignete Hilfsmittel. Deshalb müssen bestehende Modelle für den GIS-Einsatz angepasst oder neu formuliert werden. Solche Modelle werden normalerweise über Schnittstellen mit dem GIS verbunden.

Schluss- und Zwischenresultate solcher Modellierungen können mit Hilfe des GIS ohne grossen Aufwand kartographisch dargestellt werden. Dies bietet für die Plausibilisierung der Simulationsresultate sehr grosse Vorteile.

4.3 Literatur

Bill, R.; Fritsch, D. (1991): Grundlagen der Geo-Informationssysteme. Bd. 1 Hardware, Software und Daten. Wichmann, Karlsruhe.

Bozzolo , D.; Pamini, R.; Hutter,K. (1988): Rockfall analysis - a mathematical model and its test with field data. Landslides, proc. of the fifth internat. symp. on landslides: 555-560, Balkeema, Rotterdam.

Carrara, A.; Cardinali, M.; Detti, R.; Guzzetti, F.; Pasqui, V.; Reichenbach, P. (1990): Geographical Infromation Systems and multivariate models in landslide hazard evaluation. Proceedings of the sixth int. conference and workshop on landslides ALPS 90. Ricerca scientifica ed educazione permanente. Supplemento n. 79b:17-28, Università degli studi di Milano.

Haeberli, W.; Rickenmann, D.; Zimmermann, M.; Rösli, U. (1991): Murgänge. In: Ursachenanalyse der Hochwasser 1987. Ergebnisse der Untersuchungen. EDMZ, Bern.

Hegg, Ch. (1997): Zur Erfassung und Modellierung von gefährlichen Prozessen in steilen Wildbacheinzugsgebieten. Geographica Bernensia G 52. Geogr. Inst. Univ. Bern.

Kölla, E. (1986): Zur Abschätzung von Hochwassern in Fliessgewässern an Stellen ohne Direktmessungen. Mitteilungen der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie, Nr. 87. Zürich.

Laurini, R.; Thompson, D. (1995): Fundamentals of Spatial Information Systems. Academic Press, London.

Liener, S. (1995): Entwicklung eines Dispositionsmodells zur Abgrenzung rutschgefährdeter Gebiete. Unveröffentlichte Diplomarbeit am Geogr. Inst. der Univ. Bern.

Mani, P. (1994): Das fostliche Informationssystem Rigi-Nordlehne. In: 2. FAGIS-Tagung, Geographische Informationssysteme in der Forstlichen Planung. ETH Zürich.

Mani, P.; Kläy, M. (1992): Naturgefahren an der Rigi-Nordlehne. Die Beurteilung von Naturgefahren als Grundlage für die waldbauliche Massnahmenplanung. Schweiz. Z. Forstwes., 143, 2:131-147.

Mark, R.K. (1992): Map of debris-flow probability, San Mateo County, California. USGS, Miscellaneours Insvestigations Series, Map 1-1257-M.

Mulder, H.F.H.M.; van Asch, T.W.J. (1988): A stochastical approach to landslide hazard determination in a forested area. In: Bonnard, C. (Ed): Landslide/Glissement de Terrain. Rotterdam

Rickenmann, D. (1990): Bedload transport capacity of slurry flows at steep slopes. Mitt. der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie der ETH Zürich, Nr.103, Zürich.

Rickenmann, D. (1991): Modellierung von Murgängen. In: Monbaron, M., Haeberli, W. (eds.): Modelle in der Geomorphologie - Beispiele aus der Schweiz. Berichte und Forschungen, Vol.3:61-70, Geogr. Inst. d. Univ. Freiburg.

Rickenmann, D. (1995): Beurteilung von Murgängen. SIA Nr. 48:1106-1108.

Salm, B.; Burkard, A.; Gubler, H.U.; (1990): Berechnung von Fliesslawinen. Eine Anleitung für den Praktiker mit Beispielen. Mitt. d. Eidg. Inst. f. Schnee- und Lawinenforschung, Nr.47, Davos.

Scheidegger, A.E. (1975): Physical Aspects of Natural Catastrophes. Elsevier, Amsterdam/New York.

SIK-GIS (1992): SIK-GIS Empfehlungen 1992. Anregungen für den Aufbau von geographischen Informationssystemen (GIS) und zur Erstellung eines Datenkatalogs zur Datenerfassung und -nachführung. Schweizerische Informatikkonferenz, Arbeitsgruppe Geographische Informationssysteme.

Smart, G.M.; Jaeggi, M.N.R.; (1983): Sedimenttransport in steilen Gerinnen. Mitt. der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie der ETH Zürich, Nr. 64, Zürich.

Voellmy, A. (1955): Ueber die Zerstörungskraft von Lawinen. Schweiz. Bauzeitung 73:159-165, 212-217, 246-249 und 280-285.

Zehnder, C.A. (1989): Informationssysteme und Datenbanken. Verlag der Fachvereine, Zürich

Zeller, J. (1974): Starkniederschläge und ihr Einfluss auf Hochwasserereignisse. EAFV Bericht Nr. 126. Birmensdorf.

Zinggeler, A.; Krummenacher, B.; Kienholz, H. (1991): Steinschlagsimulation in Gebirgswäldern. Berichte und Forschungen, Vol.3:61-70, Geogr. Inst. d. Univ. Freiburg.

5 Aufbau und Nachführung von Ereigniskatastern

5.1 Einleitung

Mit dem Waldgesetz vom 4. Oktober 1991 und dem Wasserbaugesetz vom 21. Juni 1991 wurde der gesamtheitliche Schutz vor Naturereignissen gesetzlich verankert. Während frühere Erlasse vor allem Regelungen hinsichtlich Schutzbauten und -anlagen enthielten, betonen die neuen Gesetzesvorschriften die präventive Komponente stärker. Beide Gesetze, resp. deren Verordnung, verlangen die Erarbeitung von Grundlagen für die Gefahrenerkennung, insbesondere von Gefahrenkatastern und Gefahrenkarten. Die Erstellung von Gefahrenkatastern war bisher auf nationaler Ebene nicht koordiniert, weshalb sich die Frage stellt, welche minimalen Anforderungen an einen derartigen Gefahrenkataster zu stellen sind, damit die Erhebungen vergleichbar und auf höherer Stufe auswertbar sind.

Die nachfolgenden Ausführungen zielen darauf ab, ein flexibles Lösungskonzept vorzuschlagen, das die regionalen Unterschiede berücksichtigt und welches ermöglicht, die Kataster gemäss zukünftigen Bedürfnissen anwenderorientiert zu erweitern. In einem ersten Schritt geht es darum, den Begriff des Gefahrenkatasters inhaltlich abzugrenzen. Danach sollen Struktur und Minimalanforderungen definiert und ein flexibles Lösungskonzept vorgeschlagen werden. Schliesslich soll ein mögliches Vorgehenskonzept skizziert werden, das erläutert, wie ein Gefahrenkataster aufgebaut werden kann.

5.2 Abgrenzung des Problems

Ein Kataster ist ein öffentliches Register, in dem in der Regel raumrelevante Information festgehalten ist, die jederzeit belegbar und über lange Zeit gültig ist. Der Begriff «Gefahrenkataster», wie ihn das Waldgesetz und das Wasserbaugesetz verlangen, muss für die praktische Umsetzung konkretisiert werden.

Sowohl in der Waldgesetzgebung als auch in der Wasserbaugesetzgebung wird der Begriff Gefahrenkataster nicht näher erläutert. Im allgemeinen Sprachgebrauch versteht man unter Kataster ein amtliches Verzeichnis, das Angaben über Grundstückverhältnisse enthält. In Teilbereichen sind langjährige Erfahrungen mit Katastern vorhanden, so zum Beispiel in der Gletscherchronik und bei den Lawinenkatastern. Der Begriff «Gefahrenkataster», wie ihn Wald- und Wasserbaugesetzgebung verwenden, muss für die praktische Umsetzung konkretisiert werden.

Ein Kataster zeichnet sich insbesondere durch nachfolgende Merkmale aus:

- er ist grundsätzlich ein öffentliches Register, da sich daraus rechtliche Wirkungen für Behörden und Private ableiten lassen;
- die enthaltene Information bezieht sich auf den Raum, im speziellen Fall eines Eigentumskatasters auf Grundstücke. Im erweiterten Sinn können auch andere Raumeinheiten beschrieben werden;

- in einem Kataster werden nur Fakten festgehalten, die jederzeit belegbar und über lange Zeit gültig sind.

Um die Anforderungen an einen Naturgefahrenkataster zu umreissen, ist der Bezug zum Gesamtkonzept «Gefahrenanalyse-Gefahrenbeurteilung» herzustellen (vgl. Abb. 5.1 und Kap. 2.3). Im Rahmen einer Gefahrenanalyse geht es zum einen darum, die Frage abzuklären, welche gefährlichen Ereignisse eingetreten sind, um daraus eine Prognose abzuleiten (retrospektive Gefahrenanalyse). Daneben ist auch eine vorausschauende Betrachtungsweise nötig (interpretativ-prospektive Gefahrenanalyse), die im Bearbeitungsprozess in der Karte der Phänomene und entsprechenden Interpretationen Niederschlag findet. Aus der Synthese beider Analyseschritte werden entweder Gefahrenkarten oder Gefahrenhinweiskarten erstellt, welche auf Richtplanstufe als behördenverbindliche Arbeitsinstrumente dienen sollen. Auf der Nutzungsplanebene werden Gefahrenkarten mit einer grossen Aussagegenauigkeit erstellt, welche die Grundlage für das Erstellen der parzellenscharfen Gefahrenzonenpläne bilden. ***Aufgrund des Einordnens in das Gesamtkonzept sollte der Kataster dahingehend abgegrenzt werden, dass er nur Fakten enthält und interpretierte Daten ausschliesst.*** Der Kataster ist somit nur ein Baustein in der Gesamtanalyse und Bewertung. Die Karte der Phänomene, allfällige Modellrechnungen sowie Interpretationen von Experten sind als gleichwertige Instrumente anzusehen.

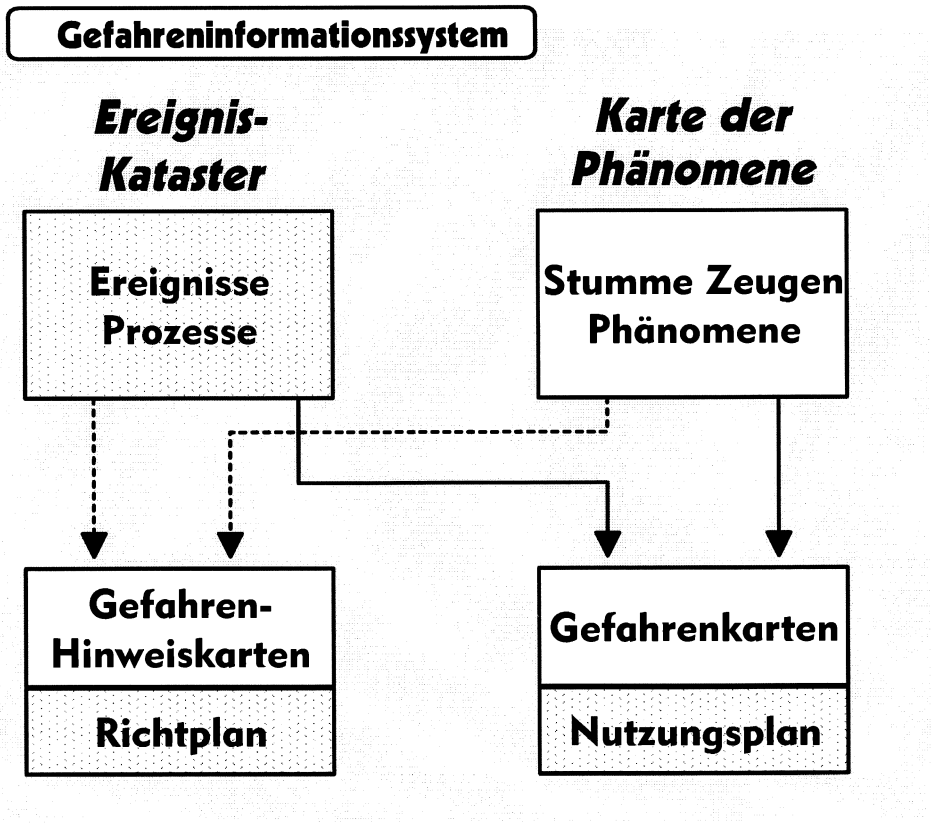


Abb. 5.1 Gefahrenkataster als Teil des Gesamtkonzeptes «Gefahrenanalyse». Der Gefahrenkataster dokumentiert nachgewiesene Ereignisse strukturiert und systematisch und ist die wichtigste Grundlage für den retrospektiven Teil der Gefahrenanalyse.

Die Minimalanforderungen an einen Kataster ergeben sich aus dem methodischen Vorgehen, wie eine Risikoanalyse und -beurteilung zu erstellen ist (Abb. 5.2).

Die Risikoanalyse geht von nachgewiesenen und/oder möglichen Ereignissen aus und überprüft, auf welches Schadenpotential diese Ereignisse mit welcher Wahrscheinlichkeit einwirken können. Daraus lässt sich ein objektiviertes Risiko herleiten, das sich aus dem potentiellen Schaden und der Häufigkeit des Eintretens dieses Schadens ergibt. Damit lassen sich bereits zwei Arten von Fakteninformationen ausscheiden, die für eine derartige Analyse benötigt werden: (1) Angaben über nachgewiesene Naturereignisse und (2) Informationen über das Schadenpotential. Seit über hundert Jahren werden Anstrengungen unternommen, das Risiko durch Schutzbauten und -anlagen zu verkleinern. Um die Wechselwirkung zwischen Schadenhäufigkeit und Massnahmen langfristig zu verfolgen, sind standardisierte Angaben über Schutzbauten und -anlagen nötig, womit sich die dritte Komponente eines Katasters ergibt. Im Umgang mit technischen Risiken werden ebenfalls Kataster erstellt. So verlangt die Störfallverordnung beispielsweise die Führung eines Risikokatasters. Aus obigen Überlegungen wird klar, dass im allgemeinen Sprachgebrauch der Begriff des Katasters präzisiert werden muss. Wir sprechen von Leitungskataster, Alpkataster, Werkkataster, Risikokataster sowie von Lawinenkatastern, die bereits lange bestehen. Sinngemäss sollte deshalb auch von Ereigniskataster, Schadenpotentialkataster und Schutzmassnahmenkataster gesprochen werden, damit der Begriff klärt, was in dem jeweiligen Gefäss enthalten ist.

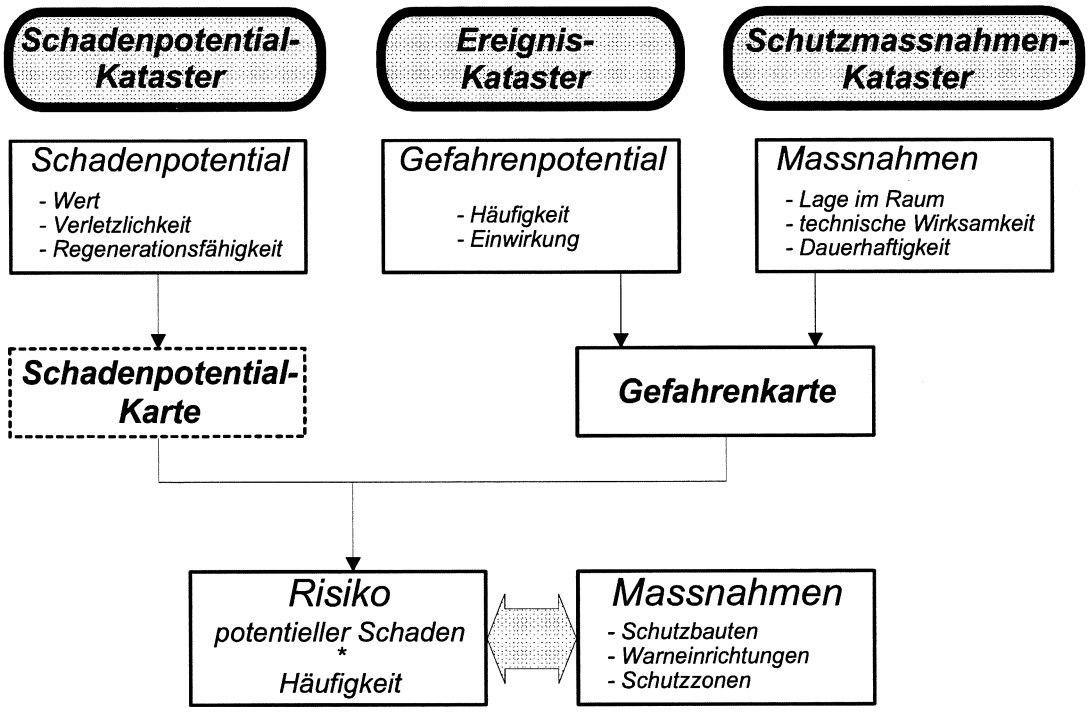


Abb. 5.2 Der Ereigniskataster dokumentiert nachgewiesene Naturgefahren-Ereignisse in einer systematischen, strukturierten und interpretierbaren Art. Für eine umfassende Naturgefahren-Analyse muss er mit zusätzlichen Katastern ergänzt werden (z.B. Informationen zum Schadenpotential, Kataster der Schutzmassnahmen).

5.3 Struktur eines Naturgefahrenkatasters

Ein umfassendes Gefahreninformationssystem soll die Analyse und die Bewertung des Risikos potentieller gefährliche Ereignisse unterstützen. Aufbauend auf der Philosophie der Risikoanalyse sind die drei Teilbereiche Ereignisse, Schadenpotential und Massnahmen entsprechend zu dokumentieren. Der vorliegende Bericht behandelt schwergewichtig die Frage, wie ein Ereigniskataster entwickelt, aufgebaut und unterhalten werden kann. Katasterdaten werden während Jahrzehnten verwendet. Ihre Lebensdauer entspricht mehreren Generationen von Hard- und Software, weshalb das Schwergewicht bei der Entwicklung eines Katasters auf die Organisation der Daten gelegt werden muss.

Der Bund fordert im Wald- und Wasserbaugesetz das Erstellen von Gefahrenkatastern. Der vorliegende Beitrag liefert die Grundlagen und das methodische Vorgehen für das Entwikkeln und die langfristige Nachführung von Gefahrenkatastern. In Artikel 15 der Waldverordnung steht der Hinweis, dass bei der Erarbeitung der Grundlagen die von den Fachstellen des Bundes durchgeführten Arbeiten und aufgestellten Richtlinien zu berücksichtigen seien. Es ist jedoch klar davon auszugehen, dass Gefahrenkataster in erster Linie wichtige Instrumente auf der Stufe der Kantone, Regionen und Gemeinden sind. Auf der Stufe der Eidgenossenschaft kann es daher lediglich darum gehen, gewisse Minimalanforderungen festzulegen, die regional umgesetzt, angepasst und allenfalls ergänzt werden können. Vor diesem Hintergrund soll ein Gefahrenkataster:

- erwiesene gefährliche Naturereignisse systematisch und nachvollziehbar dokumentieren;
- mit Priorität in den schadenrelevanten Gebieten geführt werden;
- über längere Zeit mit vertretbarem Aufwand nachgeführt werden können;
- eine dezentrale Erhebung der einzelnen Ereignisse durch lokal beauftragtes Fachpersonal ermöglichen;
- Grundinformationen für das Erstellen von Gefahrenkarten liefern;
- die Auswertungen von Schadenereignissen auf regionaler und überregionaler Stufe ermöglichen.

Beim Aufstellen eines Katasters steht man vor dem Problem, entweder möglichst viele Merkmale mit einem relativ geringen Anspruch an die Erfassungsgenauigkeit zu erheben oder sehr wenige Merkmale mit einer hohen Erfassungsgenauigkeit festzuhalten. Langfristig wird sich lediglich die zweite Lösung umsetzen lassen, weshalb ein Naturgefahrenkataster von allem Anfang an auf ein Minimum ausgerichtet werden sollte.

Ziel des Ereigniskatasters ist es, eine Aussage über das Gefahrenpotential zu ermöglichen. Dabei interessieren insbesondere der Prozesstyp, die Häufigkeit, die Wirkung (inkl. Wirkungsraum) sowie allfällige Schäden. Daraus ergeben sich folgende Minimalanforderungen:

- Unterscheidung der Prozesstypen Lawinen, Hochwasser/Murgänge, Rutschungen und Sturzprozesse.
- Prozesshäufigkeit als Kenngrösse, die aus einzelnen Ereigniszeitpunkten abgeleitet wird.
- Prozesswirkung: Wirkungslinie im Auslaufgebiet, eventuell Anrisslinie.
- Schaden: Unterscheidung von Personen-, Sach- und Naturschäden je nach Bedeutung des Ereignisses.

Ein Problem ist, wie die Informationen eines Katasters erhoben, festgehalten und erhalten werden können. Kataster irgendwelcher Art sind in diesem Verständnis Datenbanken, in welche unterschiedliche Arten von Informationen eingespiesen werden können. Zum einen kann Information verwaltet werden, wie sie mit Zahlen und Buchstaben in Form von Schrift festgehalten wird. Das Wesen eines Katasters liegt aber auch darin, dass Rauminformation enthalten ist, welche klassischerweise auf Plänen dargestellt wird. Mit dem Verwenden von geographischen Informationssystemen, welche neben numerischer und alphanumerischer Information auch geometrische Information verwalten und darstellen können, lässt man sich gerne von den neuesten technischen Errungenschaften leiten, wenn es darum geht, Lösungen zu entwickeln. Dabei ist jedoch eine Grundproblematik zu beachten. Die Lebensdauer der verschiedenen Komponenten eines Informationssystems sind sehr unterschiedlich (Abb. 5.3).

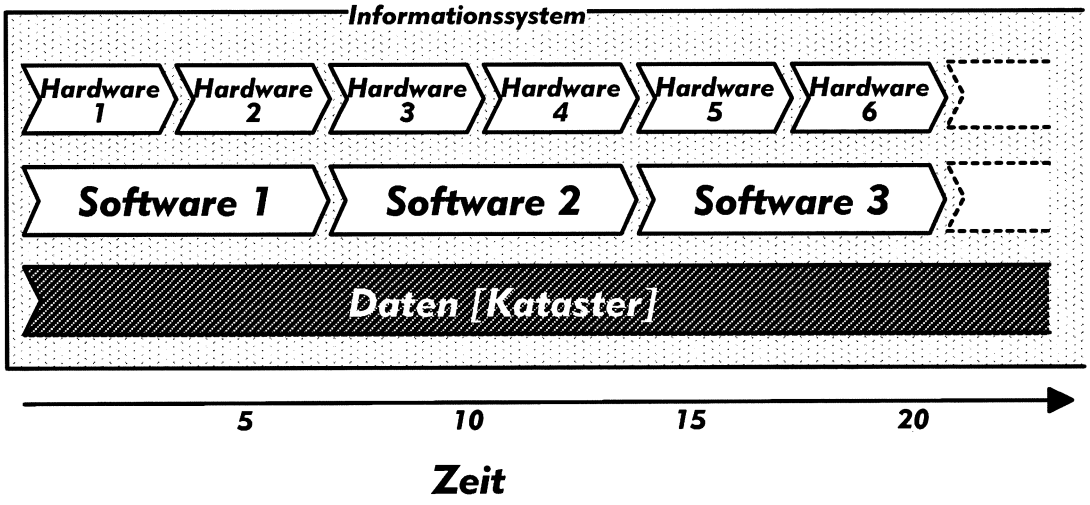


Abb. 5.3 Katasterdaten werden während Jahrzehnten verwendet. Ihre Lebensdauer umfasst mehrere Generationen von Hard- und Software, weshalb die Anstrengungen darauf ausgerichtet werden müssen, die Datenorganisation und –archivierung systemunabhängig vorzunehmen.

Während heute davon ausgegangen werden muss, dass eine Hardwaregeneration etwa drei bis fünf Jahre dauert, wird die Grundkonzeption von Software etwa alle zehn bis fünfzehn Jahre ändern, während die Daten zwanzig und mehr Jahre überleben. Dieses Phänomen wird überlagert durch die Tatsache, dass das Kostenverhältnis für Datenerfassung zu Softwareankauf und -unterhalt zu Hardwareanschaffung und -unterhalt sich bei geographischen Informationssystemen etwa wie 100 : 10 : 1 verhält. Primär ist deshalb über die Organisation und Daten zu sprechen, während Software- und Hardwareprodukte erst sekundär eine Rolle spielen. Der Aufbau eines Gefahrenkatasters soll sich daher von folgenden Prinzipien leiten lassen:

- Die Daten sollen über lange Zeiträume (> eine Generation) verwendbar sein;
- die Organisation der Daten soll unabhängig vom derzeitigen Stand der Software- und Hardwaretechnik vorgenommen werden;
- die Datenstruktur soll flexibel sein und später eventuell zusätzlich entstehende Informationsbedürfnisse, die heute noch nicht bekannt sind, integrieren können;
- die Datenstruktur soll regional angepasste, unterschiedliche Lösungen unterstützen;

5.4 Lösungskonzept

5.4.1 Informationsstruktur

Die Beschaffung und der Unterhalt der Daten für einen Ereigniskataster ist mit sehr hohem Aufwand verbunden. Die Organisation der Information muss deshalb so vorgenommen werden, dass sie systemunabhängig ist und mit grosser Wahrscheinlichkeit auch in eine nächste und übernächste Generation von Informationstechnologie übernommen werden kann.

Die Strukturierung der Information ist der erste Schritt beim Aufbau eines Informationssystems im allgemeinen resp. eines Ereigniskatasters im speziellen. Ausgangspunkt für eine Beschreibung bilden Objekte der realen Welt mit ihren Beziehungen, die nach den Regeln der Wissensrepräsentation strukturiert werden. Als «goldene Regel» gilt, dass die Objekte vor allem aus funktioneller Sicht zu bestimmen sind. Einheiten, mit denen die Benützer in der realen Welt umgehen, stellen den Ausgangspunkt der Ueberlegungen dar. Abbildung 5.4 gibt die Objekte eines Ereigniskatasters wieder.

Der Grundstein beim Aufbau eines Katasters wird gelegt, indem Katastergebiete ausgeschieden werden. Auch Hangprozesse wie Lawinen, Murgänge, Rutschungen, Steinschläge und Felsstürze bewegen sich entlang von Fliessgefällen und beeinflussen sehr oft Gerinneprozesse. Die Katastergebiete sind deshalb zwingend nach hydrologischen Gesichtspunkten abzugrenzen. Das Gewässerinformationssystem GEWISS bildet die hydrologische Struktur durch das Gewässernetz im Massstab 1:200'000 ab. Es ist absolut unabdingbar, dass zwischen den Katastergebieten und den Flussabschnitten gemäss GEWISS eine eindeutige Beziehung hergestellt werden kann. Dies ist dann gegeben, wenn ein Einzugsgebiet einheitlich in ein Fliessgewässer oder einen See entwässert wird. Ereignisse sind verschiedene Typen von gefährlichen Prozessen, die sich räumlich eindeutig den Katastergebieten zuordnen lassen. Ereignisse ihrerseits verursachen Wirkungen, die räumlich abgegrenzt werden können. Das Zusammentreffen von Wirkungen und Wertobjekten führt zu Personen-, Sach- und Naturschäden.

Die Eigenschaften der in Abbildung 5.4 dargestellten Objekte müssen mit Attributen beschrieben werden. Es gibt zwei Klassen von Attributen: (1) Geometrische Attribute, d.h. Punkte, Linien und Polygone und (2) nicht geometrische Attribute, z.B. numerische, nichtnumerische sowie strukturierte Typen (z.B. array oder records). Ein Datenmodell, wie es die Abbildung 5.4 darstellt, muss bestimmte Integritätsbedingungen erfüllen. Dieser sogenannte Normalisierungsprozess stellt sicher, dass die Operationen der Datenbearbeitung und Datenanalyse eindeutige Resultate liefern.

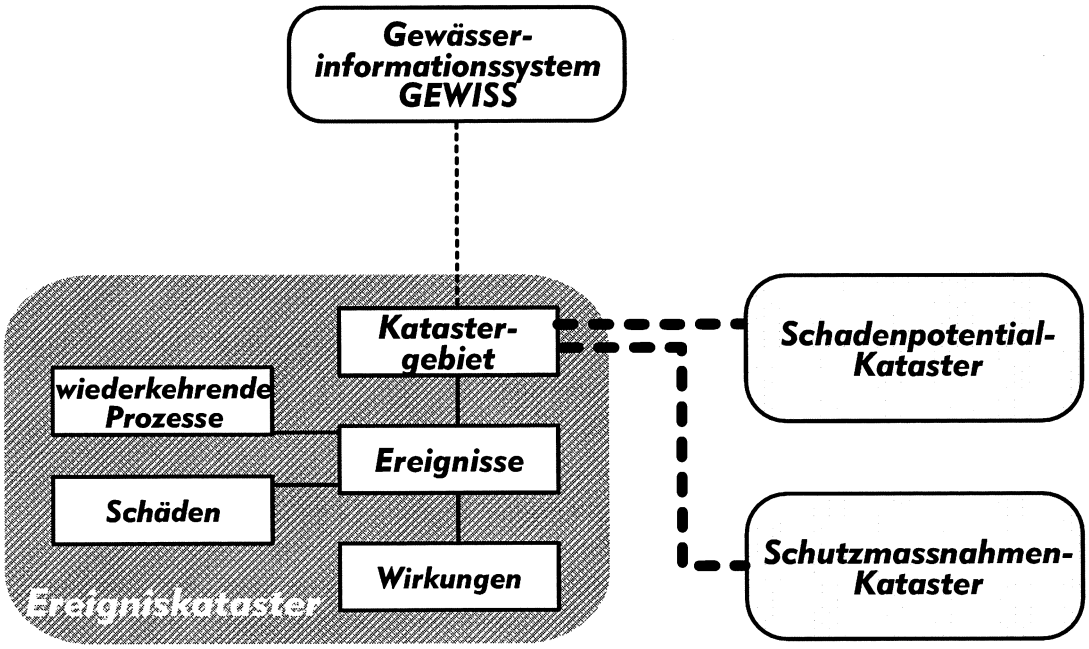


Abb. 5.4 Struktur eines Gefahrenereignis-Katasters. Der Kern des Katasters beschränkt sich auf wenige Standardmerkmale, die mit hoher Zuverlässigkeit in einer einheitlichen Struktur erfasst werden können.

5.4.2 Technische Umsetzung

Das in Abbildung 5.4 vorgeschlagene Strukturkonzept kann mit verschiedenen technischen Lösungen realisiert werden. Von der rein manuellen Lösung mit Kartei und Karte bis zur verteilten modernen EDV-Lösung (Client-Server) sind verschiedene Realisierungen denkbar. Das Gesamtsystem ist dabei so gestaltet, dass die Information zwischen verschiedenen Stufen technischer Lösungen verschoben werden kann.

Abbildung 5.5 stellt vier Stufen möglicher technischer Lösungen dar. Stufe 1 repräsentiert eine voll manuelle Lösung, in welcher die numerischen und alphanumerischen Daten in Karteien geführt und die geographischen Informationen auf Plänen resp. Karten festgehalten werden. Stufe 2 verwaltet die numerischen und alphanumerischen Daten in einer Datenbank. Darunter ist ein Informationssystem zu verstehen, das ganze Wertmengen verwalten und analysieren kann. Stufe 3 integriert ein lokales geographisches Informationssystem. Es verwaltet grosse Mengen von geographischen Objekten, die sowohl mit geometrischen als auch mit skalaren Attributen beschrieben werden. Ein geographisches Informationssystem bietet zudem Standardwerkzeuge für die Bearbeitung und die Analyse der geographischen und nichtgeographischen Daten. In näherer Zukunft werden sogenannte «client-server»-Lösungen die Regel darstellen. Ein «Server» oder «Diener» bietet Information an, die ein «Client» resp. «Kunde» benützen kann. Die Informatikwelt entwickelt sich dahin, dass eine Vielzahl von Servern Informationen anbieten, die sich Kunden massgeschneidert über grosse Distanzen zuschicken lassen können. Der Ausbau von Datennetzen wird Zugriffsgeschwindigkeiten ermöglichen, die sich nicht mehr von Einplatzsystemen unterscheiden. Es

wäre somit denkbar, dass Kantone oder Regionen Daten über gefährliche Ereignisse anbieten, die von bestimmten Kunden genutzt werden könnten.

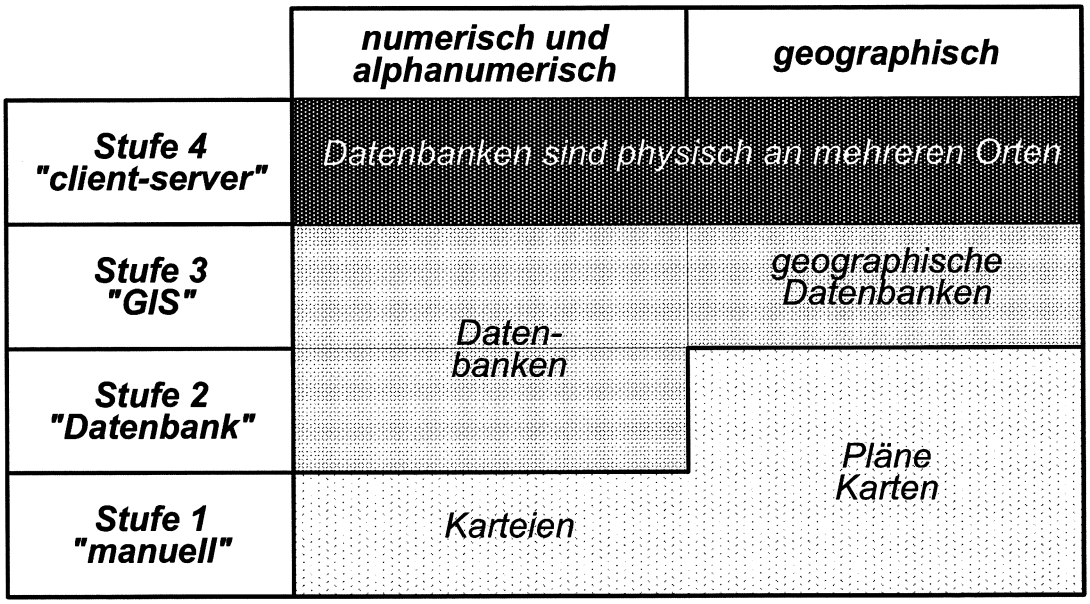


Abb. 5.5 Flexibles Lösungskonzept. Das Lösungskonzept ist durchlässig von manuell geführten Karteien und Plänen bis zur Client-Server Lösung der Zukunft, welche die Daten an unterschiedlichen Orten informatikgestützt anbietet.

Ein Ereigniskataster beinhaltet zwei Arten von Informationen:

- Grundinformation, die in der Regel einmalig aufbereitet werden muss. Aus Abbildung 5.6 geht hervor, dass die Aufteilung eines ganzen regionalen Gebietes in Katastergebiete ein erster derartiger Schritt ist. Für wiederkehrende Prozesse, z.B. Lawinen, Wildbäche, Rutschungen und Steinschlagzüge empfiehlt es sich ebenfalls, die bekannte Grundinformation einmalig zu erfassen. Diese Grundinformation dient dazu, dass die Erfassung der einzelnen Ereignisse mit möglichst wenig Aufwand erfolgen kann. Die Erfassung der Grundinformation wird in der Regel in den einzelnen Regionen zentral koordiniert.
- Dem gegenüber sind einzelne Naturgefahrenereignisse bei Eintreten zu erfassen. In der Regel wird dies durch eine flächendeckende dezentrale Organisation geschehen müssen, damit die Datenerhebung überhaupt sichergestellt werden kann.

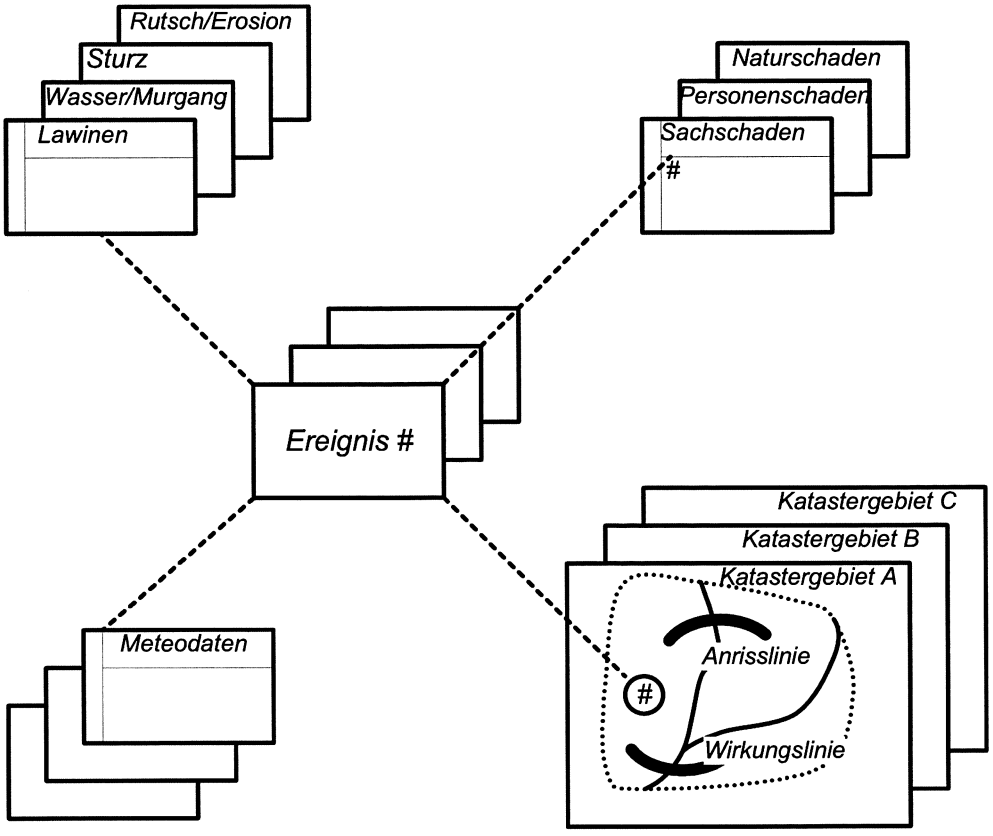


Abb. 5.6 Organisation der Daten. Nicht nur einzelne Werte, sondern ganze Wertmengen sollen in einem Kataster als Kollektive angesprochen und behandelt werden können. Eine derartige Organisation wird in einer Struktur abgebildet, die in den unterschiedlichen Lösungen immer erhalten bleiben soll.

Die Informationen sind mit standardisierten Formularen zu erfassen und zu registrieren. Sie sind so aufzubauen, dass eine spätere EDV-Erfassung ohne Umorganisation der Daten möglich ist. Allenfalls sind auch elektronische Erfassungsmethoden zu berücksichtigen. Formulare mit Barcode bieten interessante Möglichkeiten.

Rauminformation wird für verschiedenste Anwendungen erfasst, bearbeitet und analysiert. Ziel muss es sein, die räumlichen Daten so zu organisieren, dass sie auch über verschiedene Fachbereiche hinweg sinnvoll genutzt werden können. Die Schweizerische Informatikkonferenz (1992) hat Anregungen und Empfehlungen für den Aufbau von geographischen Informationssystemen zusammengestellt. Sie empfiehlt, die thematischen Ebenen standardisiert zu organisieren. Um eine Verwechslung mit Daten der amtlichen Vermessung zu vermeiden, welche die Ebenen numerisch bezeichnet, empfiehlt die SIK eine Bezeichnung mit Buchstaben. Abbildung 5.8 stellt die für die Naturgefahren massgebene Hierarchie dar. Sie schlägt vor, Naturgefahreninformationen in der Ebene O zu organisieren, welche bedarfsweise in verschiedene Unterebenen unterteilt werden kann.

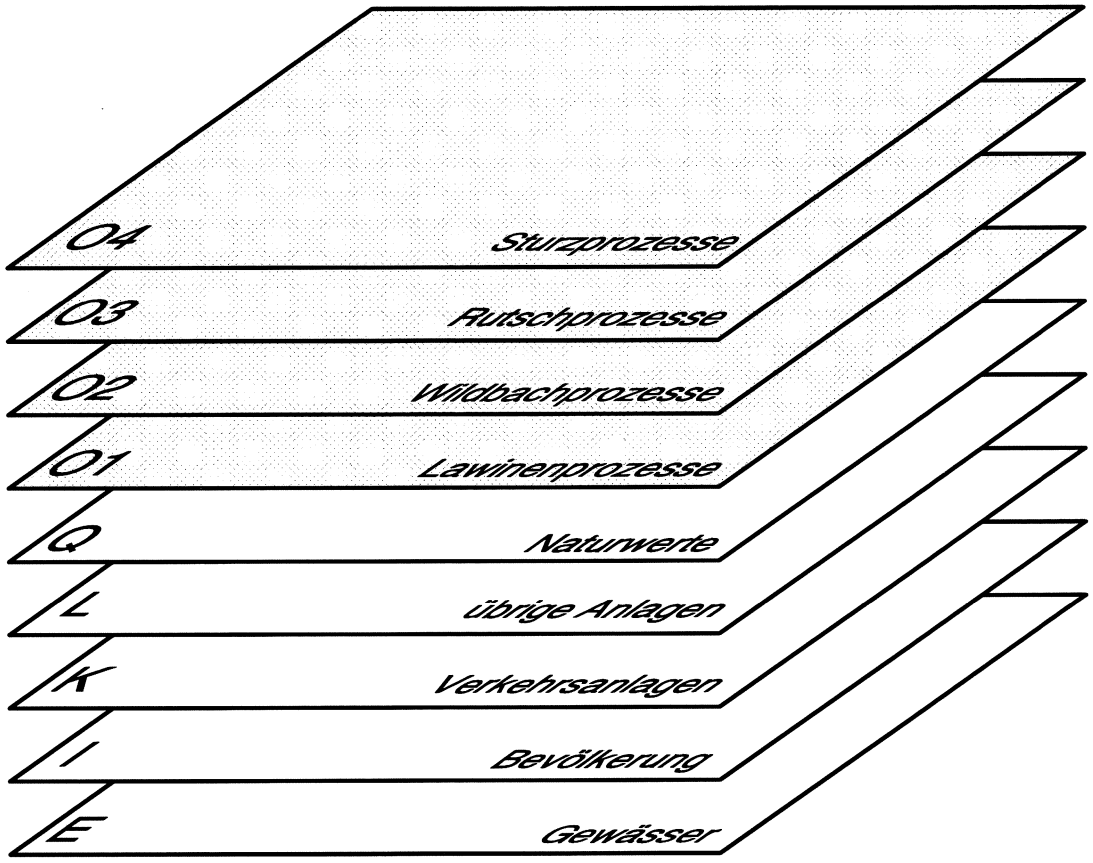


Abb. 5.7 Räumliche Organisation der Daten gemäss Empfehlung der SIK (1992)

Ebene	Inhalt	Bereiche
A	Daten der amtlichen Vermessung	• Fixpunkte Grundeigentum
B	Topographie	• Höhenmodell DHM 25 • rastergespeicherte Hintergrundkarten wie Uebersichtsplan usw.
C	Geologie	
D	Boden	• Bodenbedeckung • Bodentypen • Bodenqualitätsangaben
E	Wasser	• Oberflächengewässer • Grundwasser • Wasserwirtschaftliche Objekte
F	Luft und Klima	• klimatische Angaben diverser Art • Luftqualität • Luftgütezonen

G	«Landbedeckung»	• Flora, Fauna, Vegetation
H	Landnutzung	• Bodennutzung
I	Bevölkerung	
K	Verkehr	• Verkehrsflächen • lineare Verkehrsträger • Transportleitungen • Kommunikationsnetzwerke
L	Betriebe und Anlagen	• Landwirtschaft • Industrie • Gewerbebetriebe • Energiever- und -entsorgung • Dienstleistung
M	Geschichte und Kultur	• Archäologie • Geschichtsdenkmäler • Museen • Schulwesen • Gesundheitswesen
O	***Umwelt***	• ***Naturgefahren*** • Lärm • Altlasten • Deponien • Verseuchungen
P	Raumplanung	• Zonenpläne • Richtpläne
Q	Inventare	• Schutzgebiete • Naturschutz • Landschaftsschutz • Kulturgüterschutz
R	Hintergrundkarten	• Thematische Informationen im Rasterformat
S	Satellitendaten	• Rasterbilder • Mehrere Ebenen je nach Datenquelle und Datum
T	Luftbilder	• gescannte Rasterbilder
X	Planungen	• in der Regel ohne Bezug zu realen Gegebenheiten • Pläne, Projekte ohne rechtliche Verbindlichkeit

Es empfiehlt sich unbedingt, die von der Schweizerischen Informatikkonferenz empfohlene Struktur zu übernehmen (SIK 1992), da damit der Datenaustausch wesentlich vereinfacht wird.

Eine Besonderheit, die beim Arbeiten mit geographischen Informationssystemen oft vergessen wird, ist der Umstand, dass alle Ebenen auf ein gemeinsames erdgebundenes Koordinatensystem referenziert werden. Geographische Informationssysteme unterscheiden sich von CAD-Systemen, indem sie die entsprechende Referenzierung auf Kartenprojektionssysteme standardmässig anbieten.

In der Entwicklung der geographischen Informationssysteme zeichnet sich ein klarer Trend ab. An geometrische Objekte werden in der Regel nur Schlüsselattribute angehängt. Alle nichtgeometrischen Attribute werden zunehmend in speziellen Datenbanken abgelegt, die über Schnittstellen mit geographischen Informationssystemen kommunizieren können. Dadurch wird dem Umstand begegnet, dass geographische Informationssysteme oft nur ungenügende Möglichkeiten bieten, die numerischen und alphanumerischen Daten mit hoher Sicherheit zu erfassen, zu verwalten und zu analysieren.

5.4.3 Aufbau eines Katasters

Ein pragmatischer Lösungsansatz geht von den risikorelevanten Gebieten aus. Er grenzt das Problem grob ein und versucht, die nötigen Daten durch schrittweise Verfeinerung zu erheben.

Zu Beginn geht es darum, risikorelevante Gebiete einzugrenzen. Gefahrenhinweiskarten, die mit Schadenpotentialkarten verschnitten werden, erlauben es, die katasterrelevanten Gebiete auszuscheiden und nach Prioritäten zu ordnen. Innerhalb dieser katasterrelevanten Gebiete wird die Detailbearbeitung des Ereigniskatasters an die Hand genommen.

Die konzeptionelle Gestaltung und die technische Umsetzung eines Ereigniskatasters ist ein einmaliges Vorhaben, das zentral konzipiert und koordiniert werden muss. Das Ausscheiden der Katastergebiete ist in der Regel die erste Aktivität, die vorgenommen wird. Das Gefahrenpotential wird auf Richtplanebene mit sogenannten Gefahrenhinweiskarten dargestellt und mit dem Schadenpotential verschnitten. Für die risikorelevanten Gebiete werden sodann bekannte, eingetretene Schadenereignisse erfasst. Allenfalls sind Schadenereignisse, die auf unsicherer Datenlage beruhen, im Rahmen von Feldarbeiten zu verifizieren (Karte der Phänomene).

Die Erfassung zukünftiger Schadenereignisse ist eine Daueraufgabe, die jederzeit an jedem relevanten Ort funktionieren muss. Es geht darum, eine sich selbst organisierende, flexible Organisation aufzubauen, die die Ereignisse flächendeckend mit wenig Zeitverzug erfassen kann. Dies ist in der Regel nur durch lokale Verantwortung in Kleineinzugsgebieten möglich. Um eine gewisse Datenqualität zu garantieren, wird man sich daher auf sehr wenige Merkmale pro Schadenereignis beschränken, die mit einfachen Mitteln erfasst werden können.

Eine weitblickende Organisation der Schadenereignisdaten minimiert den Aufwand für den Unterhalt und die Pflege eines Naturgefahrenereigniskatasters.

Abbildung 5.8 stellt die Organisation der Datenerhebung dar.

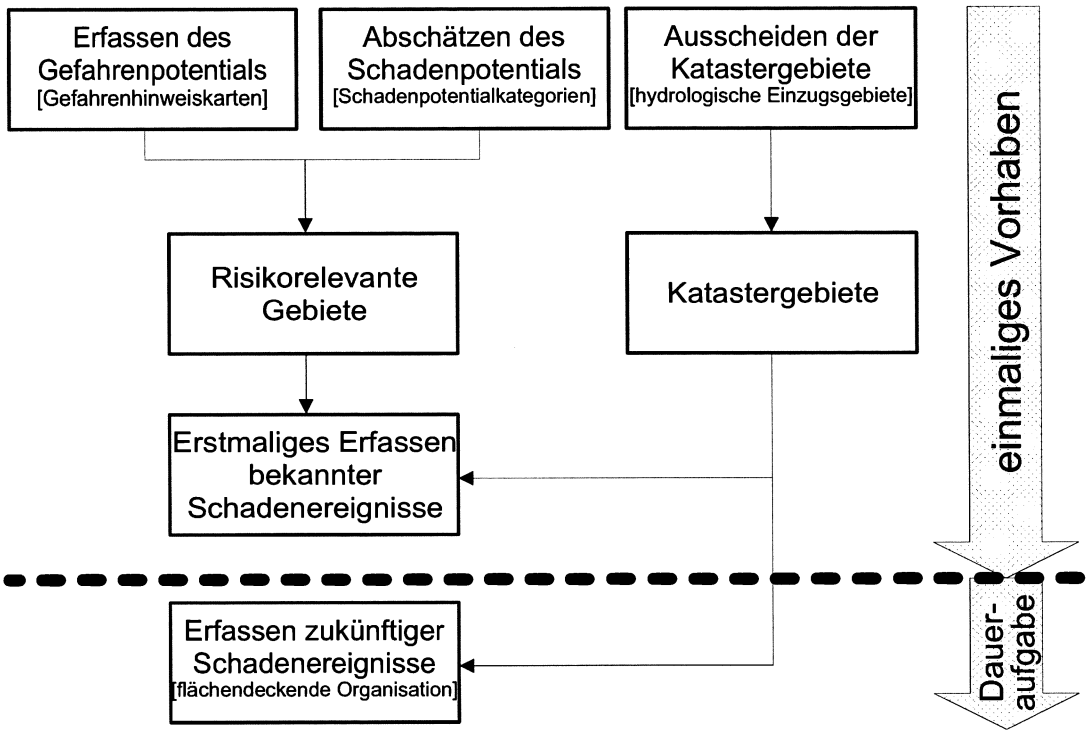


Abb. 5.8 Organisation der Datenerhebung beim Erstellen eines Ereigniskatasters. Es ist nicht nur der erstmalige Aufbau zu betrachten. Ein auf Dauer sichergestellte Nachführung muss auf jeden Fall garantiert sein.

Die konzeptionelle Lösung muss auf die operative Ebene umgesetzt werden. Bei einer informatikgestützten Lösung bedeutet dies die Auswahl eines bestimmten Datenbanksystems, das seinerseits minimale Anforderungen an die Hardware stellt. Zurzeit stehen folgende, weitverbreitete GIS-Systeme zur Verfügung:

- Im Low cost-Bereich ArcView, Spans Explorer, Map-Info, Geopoint;
- Im High end-Bereich ArcInfo, Spans, Microstation.

An Datenbanken, die für die Verwaltung numerischer und alphanumerischer Information geeignet sind, stehen zurzeit folgende Produkte zur Verfügung:

- Im High end-Bereich Oracle, Ingres usw.;
- Im Low end-Bereich Microsoft Access, Borland Paradox, Microsoft Fox Pro.

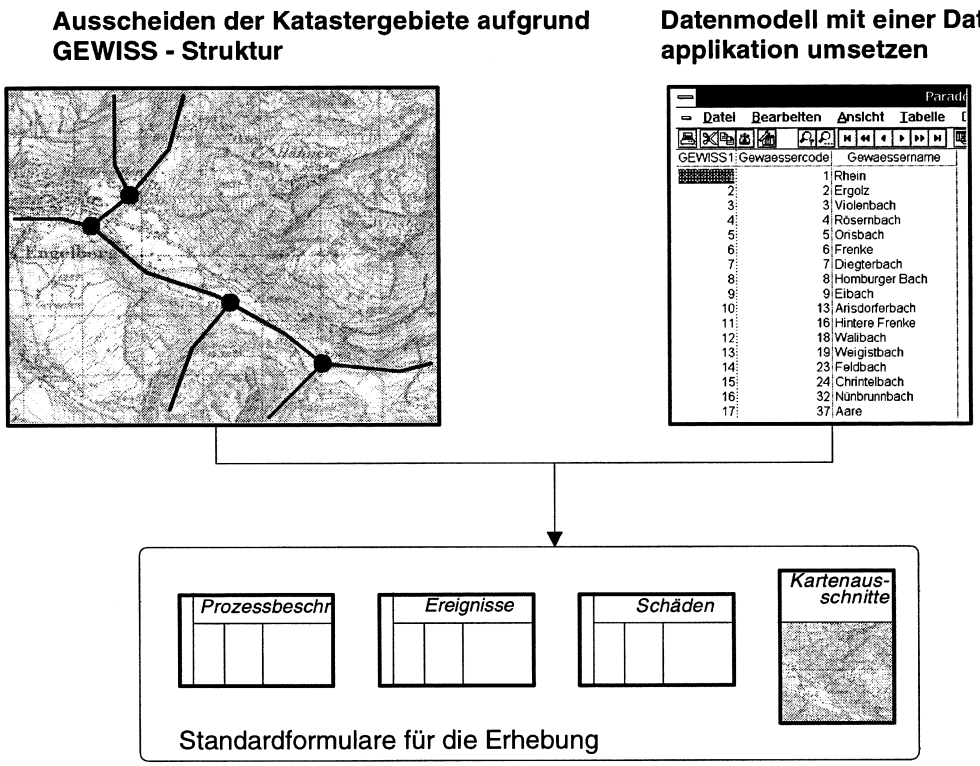


Abb. 5.9 Verbindung von geographischen und administrativen Daten. Die räumliche Struktur soll dazu dienen, die Schadenereignisse den geringer relevanten Prozessen zuzuordnen. Die Struktur der administrativen Daten erfolgt nach den Regeln des Datenbankentwurfs. (Kartenausschnitte: Reproduziert mit Bewilligung des Bundesamtes für Landestopographie vom 22.12.97).

Bevor eine breite Datenerhebung gestartet wird, sind Formulare zu entwickeln, welche die Struktur der implementierten Datenmodelle möglichst genau abbilden. Zusätzlich sind die Integritätsbedingungen (vgl. Zehnder 1989) für die einzelnen Datenattribute festzuhalten und zu beschreiben. Erst anschliessend soll die Datenerhebung an die Hand genommen werden, wonach die Datenübernahme in ein Informationssystem mit sehr wenig Aufwand möglich ist. Es ist unbedingt davor zu warnen, einen Versuch- und Irrtum-Ansatz zu wählen, da sich aus Erfahrung zeigt, dass nachträgliche Umorganisation von Daten mit einem Mehrfachen an Aufwand verbunden ist.

5.4.4 Unterhalt und Pflege eines Gefahrenereigniskatasters

Die Regelung der geographischen Zuständigkeit ist eine Grundvoraussetzung für die langfristig flächendeckende Erfassung von Schadenereignissen.

Am einfachsten kann eine Organisation aufgebaut werden, wenn bestehende Territorialorganisationen für die Erfassung von Schadenereignissen gewonnen werden. Revierförster, Jagdaufseher oder Wasserbaupersonal sind aus dieser Sicht prädestiniert, die Schadenerhebungen durchzuführen. Das Gefahreninformationssystem soll in der Lage sein, Kartenausschnitte zur Verfügung zu stellen, welche für die Erfassung von Schadenereignissen di-

rekt benutzt werden können. Einheitliche Formularsätze sind an alle zuständigen Personen zu verteilen. Eine entsprechende Aus- und Weiterbildung stellt sicher, dass die Daten nach einheitlichen Kriterien erhoben und gemeldet werden.

Die Naturgefahrendatenerfassung wird in der Regel in einem oder mehreren Zentren erfolgen. In kleineren Kantonen wird ein Zentrum genügen, während grössere Kantone vermutlich mehrere derartige Stellen aufbauen müssen. Diese Zentren haben nicht nur die Aufgabe, die Daten zu erfassen. Vielmehr sorgen sie für eine Art Qualitätskontrolle, indem sie die Rohdaten plausibilisieren und bei allfälligen Unklarheiten Rückfragen stellen. Bei grösseren Schadenereignissen organisieren die Zentren zusätzliche Erhebungen. Sie verwalten die eingehenden Informationen in der Regel mit einem informatikgestützten System, das in Zukunft sämtliche Naturgefahrendaten als Server über weitere Gebiete zur Verfügung stellt.

5.5 Fallbeispiel

Für die im Naturgefahrenbereich tätigen Fachleute stellt sich die Frage, wie die Arbeit mit einem EDV-gestützten Ereigniskataster im konkreten Fall ausgestaltet werden soll. Das nachfolgende Fallbeispiel soll die Machbarkeit des vorgestellten Konzeptes überprüfen und dabei mögliche Auswertungen zeigen. Die nachfolgende Lösung konzentriert sich auf die kritischen Komponenten der Abbildung 5.9, die Ereignistabelle und die räumliche Struktur.

Die Aufbereitung und Organisation der Daten erfolgt in zwei Teilen. Es gilt, eine räumliche Struktur festzulegen, welche die für viele Prozesse relevanten Gerinne berücksichtigt, und für sämtliche bekannten Ereignisse die Kerndaten zu erfassen (vgl. Konzept Abb. 5.9).

Die räumliche Struktur geht vom Gewässerinformationssystem GEWISS des Bundesamtes für Wasserwirtschaft aus. Für das Gebiet der Gemeinde Engelberg wurden sämtliche in GEWISS registrierten Gewässer markiert und die zugehörigen Einzugsgebiete bestimmt. Für die Gemeinde Engelberg ergeben sich dadurch 14 Einzugsgebiete, über welche die Schadenereignisse den Gerinnen zugeordnet werden können (vgl. Abb. 5.10). Beim Aufbau eines Ereigniskatasters genügt die GEWISS-Struktur, wie vom Bundesamt für Wasserwirtschaft vorgegeben ist. Bedarfsweise können die Einzugsgebiete später weiter unterteilt werden.

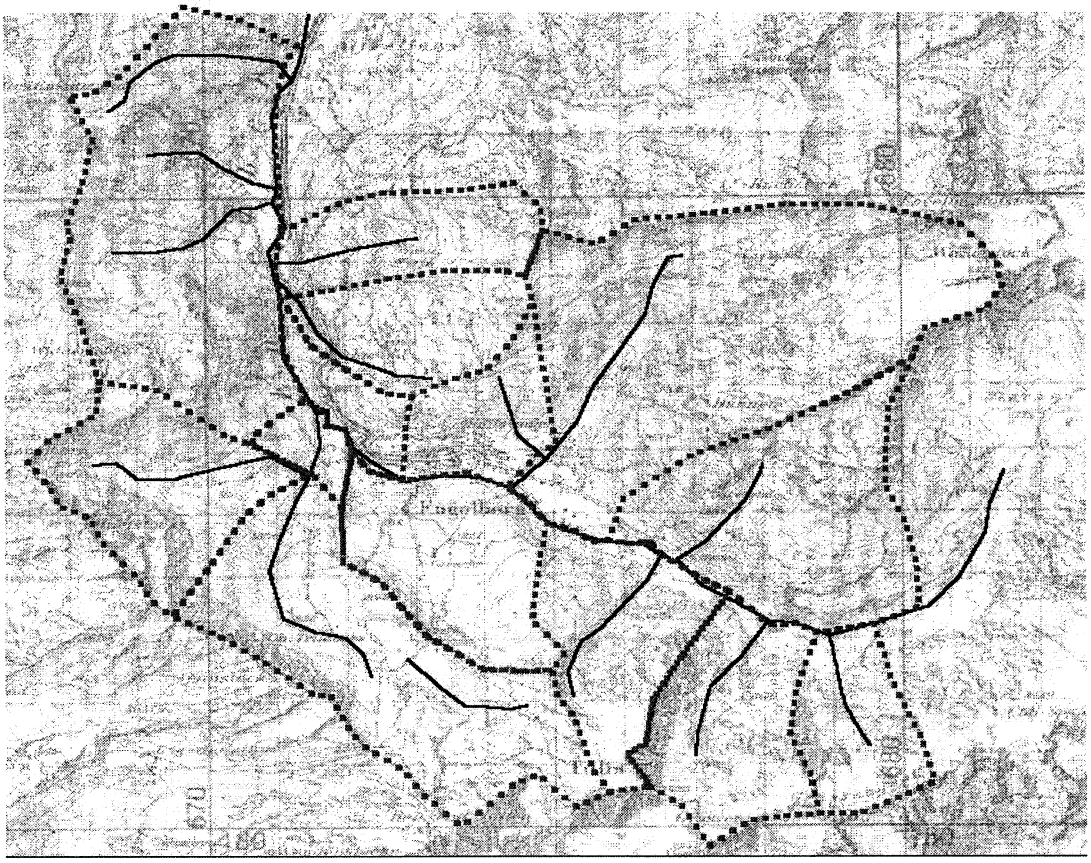


Abb. 5.10 Einteilung der Katastergebiete. Das Gerippe bildet das Gewässernetz gemäss GEWISS. Katastergebiete sind die Einzugsgebiete der GEWISS-Gewässer. (Kartenausschnitt: Reproduziert mit Bewilligung des Bundesamtes für Landestopographie vom 22.12.97).

Kernelement des Ereigniskatasters ist eine systematische Sammlung sämtlicher bekannter Schadenereignisse. Der Entscheid, welche Einzelinformationen aufgenommen werden sollen, muss sich zwingend an den gewünschten Ergebnissen orientieren. Ein Ereigniskataster soll primär auf folgende Fragen Antwort geben:

- **WANN** ist ein Schadenereignis eingetreten?
- **WAS** ist passiert (Prozesstyp)?
- **WO** hat das Schadenereignis gewirkt?
- **WER** hat die Information ursprünglich bereitgestellt und wer hat sie in das Gefahreninformationssystem aufgenommen?

Die EDV-technische Umsetzung dieser Kernfragen ist in Abbildung 5.11 dargestellt.

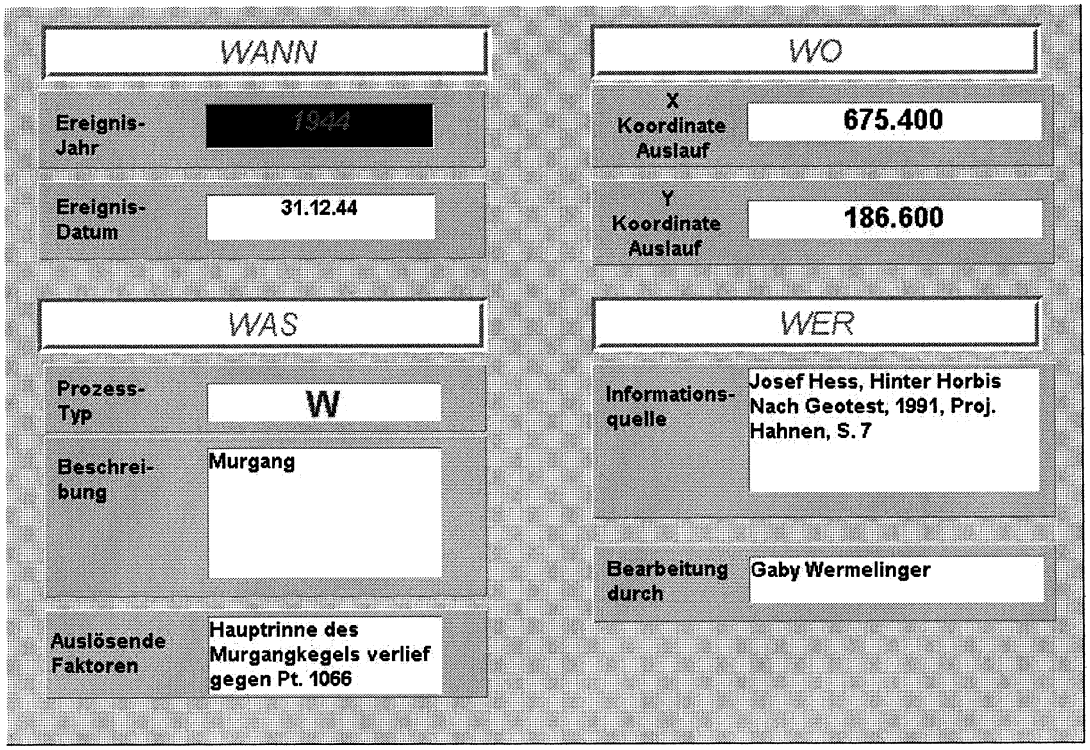


Abb. 5.11 Erfassungsformular für Naturgefahren-Ereignisse. Die erhobenen Daten ermöglichen es, die Fragen WANN, WAS, WO, WER zu beantworten.

Bei der Bearbeitung zeigte sich, dass das Ereignisdatum von entscheidender Bedeutung ist. Viele Ereignisse liegen mehr als hundert Jahre zurück. Moderne Datenbanksysteme können Daten des Formats «Datum» nur in einem begrenzten Zeitabschnitt (in der Regel auf das 20. Jahrhundert begrenzt) darstellen. Damit diese Schlüsselinformation erhalten bleibt, muss das Ereignisjahr als Zahl separat dargestellt werden. Um verschiedene Ereignistypen unterscheiden zu können, wurden fünf Prozesstypen unterschieden (Lawinen, Sturz, Wasser, Schutzbauten, Rutsch). Zusätzlich wurden im Gebiet Engelberg durch die lokalen Forstbehörden auch die Schutzbauten aufgenommen, welche ebenfalls ins Informationssystem übernommen wurden. Allerdings ist zu beachten, dass ein separater Schutzbaukataster in Entwicklung ist, weshalb diese Kategorie streng genommen nicht dazugehören sollte. Der Wirkungsort wurde als Punktinformation im Auslaufbereich über x- und y-Koordinaten der Landeskarte erfasst. Es zeigte sich, dass diese Koordinatenerfassung mit sehr vielen Fehlern behaftet ist, die im nachhinein manuell bereinigt werden mussten. Moderne Datenbanksysteme ermöglichen es, bei der Datenerfassung eine Plausibilitätsprüfung zu machen, ob sich die Koordinaten in einem zulässigen Bereich befinden.

Im Ereigniskataster der Gemeinde Engelberg waren 490 Ereignisse erfasst, welche über die Koordinaten der Ablagerungsbereiche georeferenziert, d.h. räumlich zugewiesen werden konnten. Abbildung 5.12 zeigt die räumliche Verteilung der 490 Schadenereignisse. Diese sehr einfach zu erstellende Abbildung bietet bereits einen enormen Informationsgehalt, der eine Eingrenzung der Problemgebiete ermöglicht.

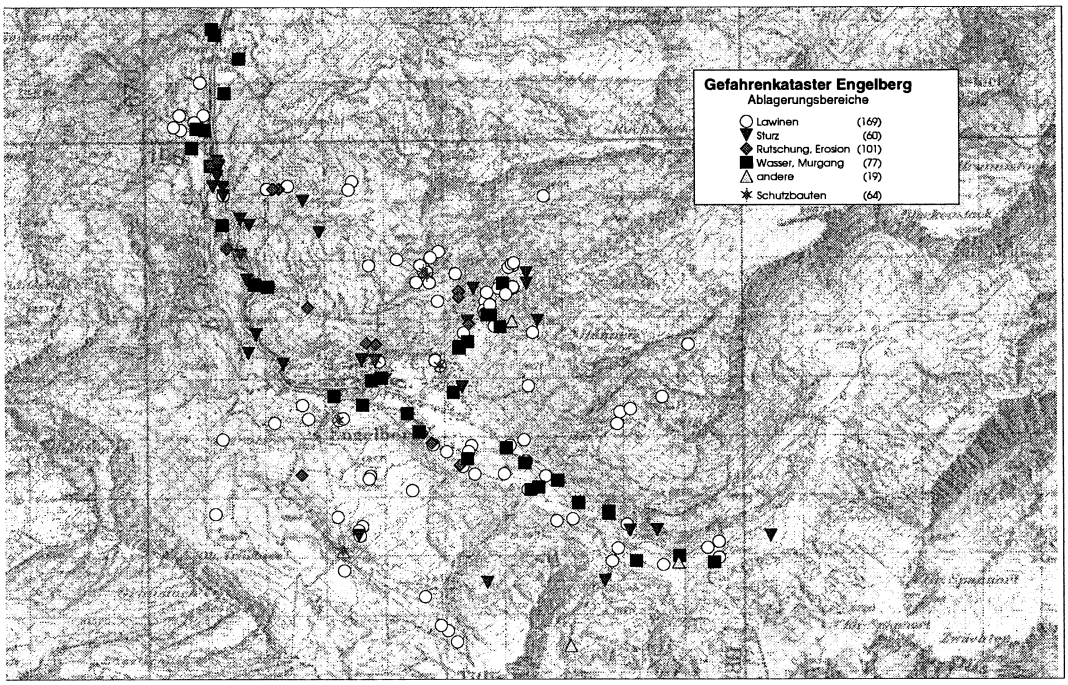


Abb. 5.12 Naturgefahren-Ereignisse in der Gemeinde Engelberg. 490 Ereignisse können örtlich zugewiesen und nach Prozesstyp differenziert dargestellt werden (Kartenausschnitt: Reproduziert mit Bewilligung des Bundesamtes für Landestopographie vom 22.12.97).

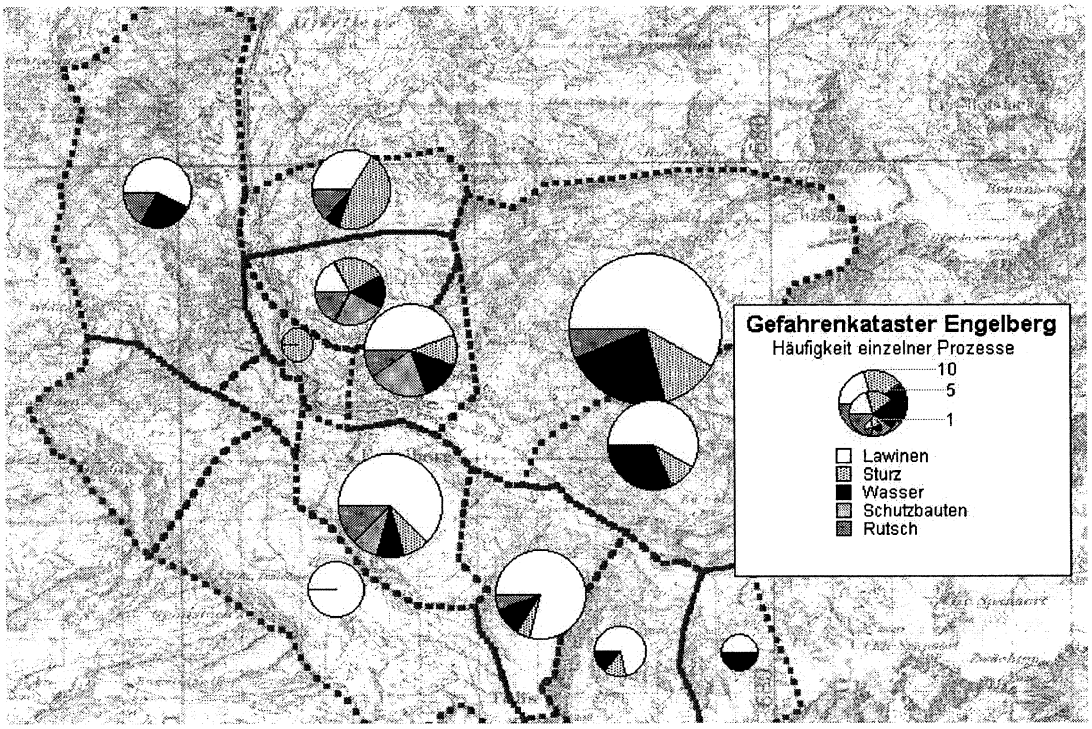


Abb. 5.13 Räumliche Häufigkeit von Naturgefahren-Ereignissen der Gemeinde Engelberg: Die Häufigkeit ist für jedes Katastergebiet dargestellt und nach den einzelnen Prozesstypen aufgegliedert. (Kartenausschnitt: Reproduziert mit Bewilligung des Bundesamtes für Landestopographie vom 22.12.97).

Die Analyse der Häufigkeit der Schadenereignisse ist in Abbildung 5.13 dargestellt. Die Häufigkeiten wurden für die gemäss GEWISS ausgeschiedenen Katastergebiete ermittelt und nach den verschiedenen Prozesstypen aufgegliedert. Abbildung 5.13 erlaubt eine nach Einzugsgebieten der massgebenden Gewässer differenzierte Betrachtungsweise. Sie lässt Problemgebiete und die Bedeutung von Prozesstypen sehr anschaulich erkennen.

Ausgangspunkt des Fallbeispieles war die Frage, wie man Katasterinformationen EDV-gestützt aufbereiten und auswerten kann. Der gewählte Lösungsansatz beschränkte sich auf die Erhebung und Verwaltung von rund zehn Informationsmerkmalen (Datenfeldern). Der pragmatische Ansatz ermöglichte trotzdem eine aussagekräftige Analyse der Daten. Für den Aufbau und die Entwicklung von Ereigniskatastern in der Praxis lassen sich folgende Schlussfolgerungen ziehen:

- Ein Kataster sollte es ermöglichen, die Kernfragen WANN, WAS, WO, WER zu beantworten;
- es empfiehlt sich, in einem Ereigniskataster nur wenige (< 10) Informationselemente zu erheben und zu verwalten, diese jedoch mit hoher Zuverlässigkeit;
- EDV-mässig lässt sich ein Ereigniskataster auch mit einen «low-cost»-GIS umsetzen, das lediglich zweidimensionale Darstellungen verwalten kann;
- Katasterarbeiten sollten sich von Anfang an von den gewünschten Ergebnissen leiten lassen (Abb. 5.12 und Abb. 5.13), die vorzugsweise in Form von einfachen Graphiken dargestellt werden.

5.6 Dank

Herr Sepp Hess, dipl. Forsting. ETH, vom Oberforstamt Obwalden, hat die gesamten Informationen zum Ereigniskataster Engelberg in elektronischer Form zur Verfügung gestellt. Ohne diese «Echt»-Daten wäre es nicht möglich gewesen, die Machbarkeit des vorgestellten Konzeptes zu überprüfen. Sepp Hess sei für seine Hilfsbereitschaft sowie für seine kritischen Anmerkungen und Anregungen herzlich gedankt.

5.7 Literatur

Armstrong, M. P. (1990): Database organization strategies for spatial decision support systems. Int. J. Geographical Information Systems, 4.1: 3-20.

Oosterom, P.; van den Bos, J. (1990): An object-oriented approach to the design of Geographical Information Systems. In: Design and Implementation of large Spatial Databaser (Buchmann et al., eds.). First Symposium SSD '89. Proceedings. Springer, Berlin. 364 S.

SIK-GIS (1992): SIK-GIS Empfehlungen 1992. Anregungen für den Aufbau von geographischen Informationssystemen (GIS) und zur Erstellung des Datenkatalogs, zur Datenerfassung und -nachführung. Bern. Manuskript. 51 S.

Worboys, M.F. et al. (1990): Object-oriented data modelling for spatial databaser. Int. J. Geographical Information Systems, 4.4: 369 - 383.

Zehnder, C.A. (1989): Informationssysteme und Datenbanken. 5., durchgesehene Aufl., Verlag der Fachvereine vdf. Zürich. 274 S.

Teil II

Vorbemerkungen zu den Kapiteln 6-8

In den folgenden Kapiteln

- 6 Erhebung des Schadenpotentials,
- 7 Daten für die GIS-basierte Gefahrenbeurteilung und
- 8 Gefahrenbeurteilung auf Richtplanebene

werden Verfahren und Methoden zur Risiko- bzw. Gefahrenanalyse auf der **Ebene Richtplanung** vorgestellt, wie sie dem neuesten Stand entsprechen und zu einem grossen Teil und als Schwerpunkt im Rahmen des FLAM-Moduls Naturgefahren erarbeitet worden sind. In diesem Bereich bestand bisher das grösste methodische Defizit.

Wie in Kapitel 3.3 ausgeführt und betont wird, geht es auf der Ebene Richtplanung darum, «Naturgefahren und zukünftig vermutete Gefahrensituationen» und die möglichen Schadenereignisse oder Schadensfolgen **übersichtsmässig** aufzuzeigen und in erster Näherung zu lokalisieren.

Die in den folgenden Kapiteln 6-8 beschriebenen Verfahren zielen darauf ab, in rationeller Weise für relativ ausgedehnte Gebiete (Kantone, Regionen) **übersichtsmässig** auf **Schlüsselstellen** für die Gefahrenbeurteilung und auf **Konfliktstellen** mit der Nutzung (Raumplanung) hinzuweisen.

Schlüsselstellen für die Gefahrenbeurteilung:
Wo sind bei der Disposition zu und dem Ablauf von einem gefährlichen Prozess möglicherweise entscheidende Vorgänge zu erwarten ?
Wohin muss der Experte bei einer vertieften Gefahrenbeurteilung (Ebene Nutzungsplanung bzw. Projekt) sein Hauptaugenmerk prioritär ausrichten ?

Konfliktstellen:
Wo kann der gefährliche Prozess zu Schäden führen, d.h. wo tangiert er ein Schadenpotential (Siedlungen, Verkehrswege) ?

Im Hinblick auf die grosse Ausdehnung der auf der Ebene Richtplanung mit vertretbarem Aufwand zu bearbeitenden Gebiete werden generell Verfahren angestrebt, die mit Hilfe von

- digitalen Geländemodellen,
- georeferenzierten Daten über die natürliche Raumausstattung und die Nutzung sowie mit
- erarbeiteten Prozessmodellen

Hinweise auf die möglichen Schlüssel- und Konfliktstellen geben.

Angesichts der modellmässigen und damit etwas starren und auf einem beschränkten Set von Eingabeparametern beruhenden Verfahren können die Aussagen nicht absolut verbindlich und die Lokalisierung auch nicht absolut präzise sein. Wie dies am Beispiel der Gefahrenhinweiskarte für den Kanton Bern (siehe Anhang B) gezeigt werden kann, ist es heute

jedoch möglich, mit diesen Verfahren Produkte herzustellen, die **den Anforderungen auf der Ebene Richtplanung** genügen.

Es wäre jedoch ein absoluter Missbrauch der im folgenden vorgestellten Methoden, sie auf der Ebene Nutzungsplanung als ausschliessliches Verfahren einzusetzen. Im Sinne der vorbereitenden Bearbeitung (Aufzeigen **möglicher** Schlüssel- und Konfliktstellen) stellen sie jedoch ein wertvolles Instrument auch auf dieser Bearbeitungsebene dar.

6 Erhebung des Schadenpotentials auf der Ebene Richtplanung

6.1 Einleitung

Falls ein gefährlicher Naturprozess in seinem Wirkungsraum den Handlungsbereich menschlicher Aktivitäten tangiert, kann er zu Schaden führen. Wie in Kapitel 2.2. ausgeführt, werden potentiell gefährdete Personen und Sachen als **Schadenpotential** bezeichnet.

Auf der Ebene Richtplanung ist es sinnvoll, neben einer flächendeckenden Lokalisierung und Benennung der Gefahren auch das Schadenpotential zu lokalisieren und in Form von Objekt-Kategorien zu bezeichnen. Eine gemeinsame Darstellung von Gefahren und Schadenpotential erleichtert das Erkennen von Konfliktstellen und bildet eine Risiko-Hinweiskarte.

Auf regionaler Stufe, d.h. auf der Ebene Richtplanung, geht es darum, über grosse Gebiete (Regionen) **übersichtsmässig** auf mögliche Schadenereignisse oder Schadensfolgen hinzuweisen und diese in erster Näherung zu lokalisieren.

Dies erfordert eine einheitliche Erfassung und Klassierung des Schadenpotentials. Sinnvoll und angemessen für die Ebene Richtplanung ist dessen Beschreibung nach Kategorien (vgl. Kap. 2.3).

In Analogie zur anschliessend erörterten Gefahrenbeurteilung auf der Ebene Richtplanung (Kap. 7 und 8), ist es in vielen Fällen auch in Bezug auf das Schadenpotential zweckmässig,

- die Daten in digitaler Form zu erfassen,
- die Objekte zu georeferenzieren und
- nach Möglichkeit bestehende Datensätze zu verwenden.

Im folgenden wird deshalb ein EDV-mässiges Verfahren skizziert, das weitgehend auf vorhandenen georeferenzierten Datensätzen basiert.

Dieses Verfahren wurde im Rahmen der Erstellung der digitalen Gefahrenhinweiskarte des Kantons Bern entwickelt (siehe Anhang B), die – genaugenommen – eine Risiko-Hinweiskarte ist. Die folgenden Ausführungen basieren auf den Erfahrungen, die bei der Entwicklung dieser Karte gemacht wurden.

Eine solche Karte gibt einen Überblick über mögliche Konfliktstellen und liefert somit Hinweise für die Ausscheidung von Waldflächen mit besonderer Schutzfunktion (BSF, siehe Anhang B) und bildet eine Grundlage für Massnahmenplanungen.

Um diesen Anforderungen gerecht zu werden, ermöglicht das im folgenden skizzierte Verfahren, eine automatisierte und damit einheitliche und nachvollziehbare Bezeichnung derjenigen Gefahrenstriche (z.B. Lawinenzüge), die ein Schadenpotential treffen. Damit können die **schadenpotentials-relevanten** Prozessräume als Ganzes (vom Start- über das Transit- bis ins Zielgebiet, vgl. Kap. 3.5.1) von denjenigen Prozessräumen unterschieden werden, die mit keinem Schadenpotential in Konflikt treten.

6.2 Grundlagendaten

Eine «manuelle» Erhebung des Schadenpotentials gestaltet sich relativ mühsam. Als generalisierte Übersichtsdarstellung für die Schadenpotential-Klassen «Menschen» und «Sachwerte» können allenfalls Richt- bzw. Zonenpläne verwendet werden, die im Vergleich z.B. zu topographischen Karten diesbezüglich deutlich mehr Information bieten.

Um die Vorteile der GIS-unterstützten Erstellung der Gefahrenhinweiskarte voll nutzen zu können, müssen die Grundlagendaten des Schadenpotentials in digitaler Form vorliegen. Da die digitale Erfassung von Informationen allgemein kostspielig ist, muss versucht werden, auf bestehende digitale Datensätze zurückzugreifen. Die Daten der Servicestelle Geostat des Bundesamtes für Statistik (BFS) bilden in der Schweiz eine ideale Basis zur Aggregierung von Schadenpotentials-Klassen.

Da für die Kategorien «Menschenleben» einerseits und «Sachwerte» andererseits auf unterschiedliche Ursprungsdateien zu greifen ist, wurden im Projekt Gefahrenhinweiskarte des Kantons Bern zwei entsprechende Schadenpotentials-Gruppen gebildet:

- Das primäre Schadenpotential setzt sich zusammen aus Datensätzen der Volkszählung 1990. Diese Grundlagendaten repräsentieren die Kategorie «Menschenleben».
- Das sekundäre Schadenpotential stellt die Kategorie «erhebliche Sachwerte» dar.

Im folgenden wird der Inhalt und die Erfassung der einzelnen Kategorien näher ausgeführt.

6.2.1 Das primäre Schadenpotential

Menschenleben als wichtigstes Schadenpotential sind als georeferenzierter Raumdatensatz schwierig zu definieren, da Menschen eine örtlich und zeitlich variable Grösse darstellen. Für eine einheitliche Beurteilung muss aber eine Grösse gefunden werden, die einen georeferenzierten Wert darstellt. Geeignet ist die «Wohnbevölkerung der Schweiz», die alle 10 Jahre im Rahmen der Volkszählungen erfasst wird.

Im Rahmen der Eidg. Volkszählung 1990 wurden erstmals für alle erfassten Gebäude der Schweiz die Landeskoordinaten bestimmt. Zu diesen Punktdaten stehen 389 Merkmale über **Bevölkerung**, Haushalte, **Gebäude** und Wohnungen zur Verfügung. Diese Daten sind in einem Standarddatensatz in digitaler Form auf ein Hektarnetz aggregiert. In dichtbesiedelten Gebieten (Städte und Agglomerationen) liegen die Daten nur in Hektarrasterform vor.

Beim Bezug von Absolutwerten auf Hektarstufe oder als Punktdatensatz muss ein Datenschutzvertrag mit dem Bundesamt für Statistik (BFS) abgeschlossen werden. Aus Datenschutzgründen sind nicht alle Merkmale in digitaler Form erhältlich. Eine ausführliche Dokumentation des Verfahrens ist im Kategorienkatalog zur Bodennutzung der Schweiz, Band 2 (BFS 1992) enthalten.

```
Record#
Pos. > 123456789+123456789+123456789+
       000001584371134907220151O
       000002584824134767110111O
       000003584263135075220251O
       000004584981135779330251O

Pos. 1-6     Laufnummer
Pos. 7-12    G-XACH, Landeskoordinaten X
Pos. 13-18   G-YACH, Landeskoordinaten Y
Pos. 19G-APTO, Anzahl Personen total im Gebäude
Pos. 20G-APWG, Anzahl Personen im Gebäude nach wirtschaftlichem Wohn-
sitz
Pos. 21G-KATW, Gebäudekategorie nach wirtschaftlichem Wohnsitz
Pos. 22G-GART, Gebäudeart
Pos. 23G-BAUP, Bauperiode, klassiert in 20 Jahrschritten ab 1900
Pos. 24G-AZWW, Zahl der zeitweise bewohnten Wohnungen im Gebäude
```

Tab. 6.1 Beispiel: Auszug der Datenstruktur der Gebäude- und Wohnungsdaten der Volkszählung 1990 (BFS 1992). Die Daten liegen als Zahlenmatrix gemäss diesem Beispiel vor.

6.2.2 Das sekundäre Schadenpotential

Die erheblichen Sachwerte bilden das sekundäre Schadenpotential. Diese Klasse repräsentiert Gebäude, Infrastrukturanlagen, sowie Bahnen und Strassen. Die Daten der Arealstatistik enthalten umfassende Angaben zu diesen Klassen, sind aber leider mit der letzten Erhebungsperiode 1979 - 85 nicht auf dem aktuellsten Stand. Die Daten liegen klassiert im Hektarraster vor. In den Klassen 11 bis 15 der Arealstatistik sind folgende Elemente enthalten: Gebäudeareale, Industrieareale, besondere Siedlungsflächen (z.B. Energieversorgungsanlagen), Erholungsanlagen, Verkehrsflächen. Da das Erhebungsverfahren auf Stichprobenauswertungen beruht, sind hier zum Teil erhebliche Fehler zu verzeichnen. Fällt beispielsweise ein Industriegebäude mit einer kleinen Ecke in ein Hektarrasterfeld, so wird diese Hektarzelle vollumfänglich der Klasse Industriegebäude zugeordnet. Im weiteren ist zu berücksichtigen, dass in den Datensätzen der Arealstatistik vereinzelt fehlerhafte Zuordnungen bestehen.

Die Erfassung der Verkehrswege erfolgt ebenfalls im Hektarraster der Bodennutzung (Autobahnen, Hauptstrassen, Parkplätze sowie Flugplätze). Nachführungsarbeiten werden seit Herbst 1994 bereits auf der Basis der digitalen Datensätze der Landeskarte 1:25'000 (Pixelkarte, VECTOR25) durchgeführt. Zur Zeit laufen beim Bundesamt für Statistik Untersuchungen zur Erarbeitung von neuen, genaueren Erhebungsverfahren.

Da in den Datensätzen des BFS Strassen nur bis zur Stufe Hauptstrassen erfasst sind und Bahnlinien vollständig fehlen, mussten im Projekt Gefahrenhinweiskarte 1:25'000 Kanton Bern, Strassenverbindungen (auch zu dauernd bewohnten, abgelegenen Siedlungen) sowie Bahnlinien zusätzlich auf der Basis der Landeskarte 1:25'000 digitalisiert werden.

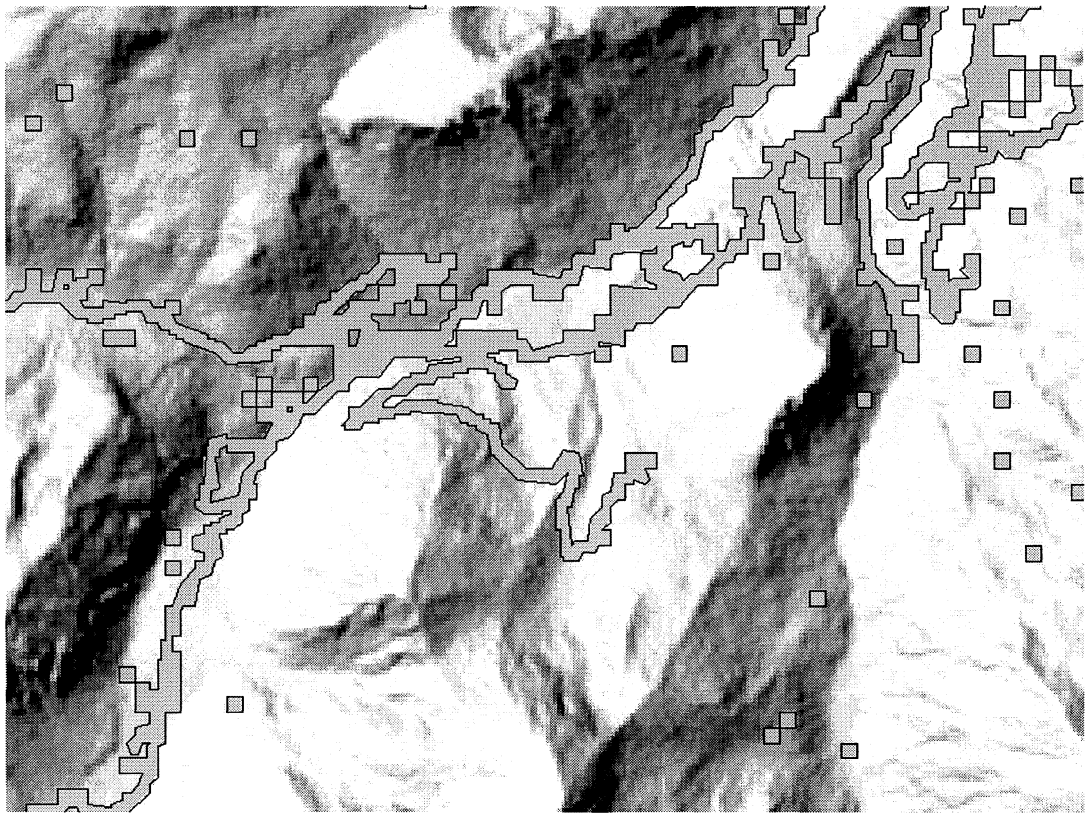


Abb. 6.1 Darstellung des Schadenpotentials (Wohnhäuser, Strassen, Infrastrukturanlagen) im **Hektarraster**. Kartengrundlage: Aus dem DHM25 berechnete Reliefkarte mit Beleuchtung aus NW (Datengrundlage: DHM25 des Bundesamtes für Landestopograhpie 1995; Reproduziert mit Bewilligung des Bundesamtes für Landestopographie vom 22.12.97).

Die adäquate Darstellungsform zum Hektarraster ist grundsätzlich die Landeskarte 1:100'000. Falls die Strassen im Hektarraster auf der Kartengrundlage 1:25'000 dargestellt werden (Abb. 6.1), zeigt sich einerseits, dass die Hektarrasterform jeweils zu grosse Gebiete erfasst und andererseits die Lagegenauigkeit dem Kartenmassstab nicht immer adäquat ist.

In den Vorstudien zur EDV-gestützten Gefahrenhinweiskarte 1:25'000 wurde die Erfassung und Darstellung des Schadenpotentials mit den Daten der Arealstatistik getestet. Die Erfahrungen haben gezeigt, dass die Verwendung von Hektardaten auf der Bearbeitungsstufe 1:25'000 wegen der oben genannten Gründe nicht unbedingt zu empfehlen ist.

6.3 Aufbereitung, Umsetzung und Darstellung des Schadenpotentials

Um der räumlichen Auflösung der Prozessmodellierungen im 10x10m - Raster eine adäquate räumliche Darstellung des Schadenpotentials gegenüberzustellen, wurden im Projekt Gefahrenhinweiskarte des Kantons Bern (siehe Anhang B) zwei Datensätze gewählt, die als Punkt- und Linieninformationen vorliegen. Es sind dies die 2 Kategorien, «Verkehrswege» und «ständig bewohnte Häuser». Dabei sind die Verkehrswege getrennt nach Kantonsstrassen, Bahnlinien und Zufahrtsstrassen zu ständig bewohnten Häusern. Die Digitalisierung der Strassenabschnitte und Bahnlinien wurde vom Amt für Wald, Abt. Naturgefahren durchgeführt.

Die Koordinaten der ständig bewohnten Häuser wurden aus den Volkszählungsdaten 1990, in Form einer Texttabelle (ASCII-Format, siehe Tab. 6.1) in das Geographische Informationssystem importiert.

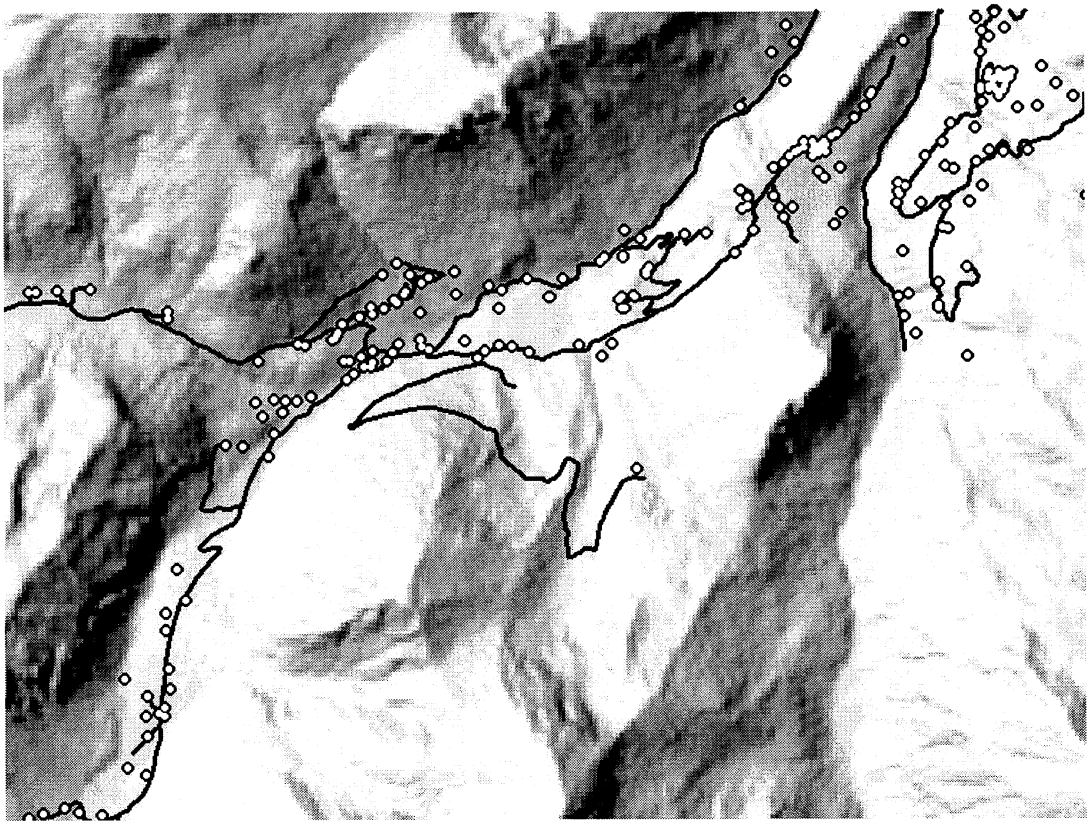


Abb. 6.2 Darstellung des Schadenpotentials (Wohnhäuser, Strassen,) als **gepufferte Vektor- und Punktdaten** (Kreisdurchmesser für Häuser 25 m, Strassenbreite 10 m). Kartengrundlage: Aus dem DHM25 berechnete Reliefkarte mit Beleuchtung aus NW. Im Vergleich zur Darstellung in Abbildung 6.1 wird die scharfe räumliche Auflösung der Punkt- und Vektordaten gegenüber dem Hektarraster deutlich sichtbar. (Datengrundlage: DHM25 des Bundesamtes für Landestopograhpie 1995; Reproduziert mit Bewilligung des Bundesamtes für Landestopographie vom 22.12.97).

Damit diese georeferenzierten Grundlagendaten (Punkte und Linien) als Informationsschicht bei den Prozess - Simulationen verwendet werden können, müssen sie in eine Rasterstruktur umgewandelt werden.

Nach dem Import in ArcInfo wurden diese Daten in eine Rasterstruktur umgewandelt. Um flächenhafte Elemente zu erhalten, wurden die Vektor- und Punktdaten in Bänder bzw. Kreisflächen umgerechnet. Diesen so generierten Verkehrs- und Siedlungselementen wurde eine Ausdehnung von 50 m zugewiesen. Dieses Mass wurde aus zwei Gründen gewählt: Einerseits, um kleine Ungenauigkeiten, die von der Digitalisierung und von der Generalisierung herstammen, unwirksam zu machen, andererseits um die räumlichen «Ungenauigkeiten» bei der Prozessimulation, durch eine adäquate räumliche Ausdehnung der punkt- und linienhaften Schadenpotential-Elemente zu kompensieren.

Um bei der Prozessimulation beurteilen zu können, um welche Art von Schadenpotential es sich handelt, wurde für jeden Schadenpotentialtyp ein eindeutiger Code festgelegt:

Schadenpotentialtyp	Code
ständig bewohnte Häuser	4
Kantonsstrassen	8
übrige Strassen	16
Bahnlinien	32

Liegen zwei oder mehrere Schadenpotentialtypen in einer Rasterzelle, so werden die Codierungen der einzelnen Typen addiert; der neu entstandene Code bleibt durch die Wahl der Ursprungcode eindeutig. So erhält z.B. eine Rasterzelle, in der die Bahnlinie parallel zu einer Nebenstrasse verläuft und in der sich noch ein ständig bewohntes Gebäude befindet den Code 52, d.h. Bahnlinie + Nebenstrasse + Gebäude = 32+16+4 = 52 (vgl. Abb. 8.9).

6.4 Auswertung der Resultate und weitere Verwendung

Bei der Prozessimulation (Kap. 8) wird festgestellt, welcher Typ des Schadenpotentials im Einflussbereich liegt, d.h. beispielsweise, bei der Sturzmodellierung wird für jede berechnete Sturzbahn, die ein Schadenpotential trifft, die Position und der Code festgehalten. Diese Daten werden in Tabellenform gespeichert und stehen zur weiteren Verarbeitung im GIS oder in Datenbanken zur Verfügung.

Bei der Auswertung der Gefahrenhinweiskarte oder der berechneten Waldflächen mit besonderer Schutzfunktion (WBSF) können mit Hilfe dieser Informationen statistische Analysen durchgeführt werden. Beispielsweise kann für jeden Prozesstyp angegeben werden, wie viele Gebäude, mit welcher Anzahl Personen, potentiell gefährdet sind, oder welche Waldfläche eine besondere Schutzfunktion gegenüber Lawinen ausübt und dabei wie viele Gebäude schützt.

Die Erarbeitung entsprechender Auswertungsmöglichkeiten erfolgte im Rahmen der Erstellung der Gefahrenhinweiskarte des Kantons Bern.

6.5 Literatur

BFS (1992): Die Bodennutzung der Schweiz, Band 2, Raum, Landschaft und Umwelt, Kategorienkatalog zur Arealstatistik, Bundesamt für Statistik (BFS), Bern.

BFS (1992): GEOSTAT Benützerhandbuch. Bundesamt für Statistik (BFS), Bern.

Krummenacher, B. (1995): Modellierung der Wirkungsräume von Erd- und Felsbewegungen mit Hilfe geographischer Informatiossysteme (GIS). Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen 146. Jg Nr. 9, 1995.

7 Daten für die GIS-basierte Gefahrenbeurteilung

7.1 Überblick

Daten über das Relief und die Bodenbedeckung sowie, wenn immer möglich, Daten über die Geologie sind eine Grundvoraussetzung für eine GIS-basierte Gefahrenbeurteilung.

Die Beurteilung von Naturgefahren-Prozessen erfordert Informationen zum Relief, zur Bodenbedeckung und zu den geologischen Verhältnissen. Soll eine Beurteilung GIS-basiert erfolgen, müssen diese Informationen in digitaler Form zur Verfügung stehen. Das Relief wird in einem digitalen Höhenmodell (DHM) abgebildet. Digitale Höhenmodelle können als Raster oder als triangulierte Netzwerke (TIN) verwaltet werden. Aus der Höheninformation lassen sich weitere für die Gefahrenbeurteilung wichtige Reliefparameter ableiten, z.B. Hangneigungen, Wölbungen oder Einzugsgebietsgrössen. Das DHM bildet auch eine zentrale Grundlage für die Bestimmung der Trajektorien von Gefahrenprozessen. Es ist von Vorteil, wenn zusätzlich zum DHM das Gewässernetz als digitaler Datensatz verfügbar ist. Bodenbedeckungsdaten müssen darüber Auskunft geben, ob die Erdoberfläche aus Fels, Eis, oder offenem Schutt besteht, oder ob sie vegetationsbedeckt ist. Geologische Informationen sind für die Charakterisierung des oberflächennahen Untergrundes notwendig. Sie müssen Auskunft geben über die Strukturmerkmale, die Festgesteinseigenschaften und die Art des Lockermaterials.

Eine wichtige Voraussetzung ist, dass diese Grundlagendaten flächendeckend über das Untersuchungsgebiet in einer homogenen Form und in einer adäquaten räumlichen Auflösung vorliegen. Die minimale Auflösung hängt vom Prozess, der simuliert werden soll sowie vom Zielmassstab ab. Generell gilt die Regel, dass bei flächenhaften Prozessen mit einer gröberen Auflösung gearbeitet werden kann als bei linearen Prozessen.

In der Schweiz stehen heute verschiedene digitale Datensätze zu den oben aufgeführten Themenbereichen zur Verfügung (vgl. Tab. 7.1). Der grösste Teil dieser Datensätze weist jedoch einen kleinen Massstab auf, so dass sie für detaillierte Gefahrenanalysen kaum geeignet sind. Eine grosse Gefahr beim GIS-Einsatz besteht darin, dass Analysen rein technisch auch mit ungeeigneten Grundlagendaten vorgenommen werden können; dies ist jedoch aus den Resultaten meistens nicht sofort ersichtlich. So ist es problemlos möglich, Informationen aus einer Karte im Massstab 1:25'000 mit Informationen aus einer Karte 1:500'000 zu überlagern und die Resultate im Massstab 1:25'000 darzustellen. Die kartographischen Hilfsmittel des GIS erlauben es auch in diesem Fall, eine auf den ersten Blick «genaue» Karte zu erstellen. Die Karte ist jedoch wertlos.

7.2 Datenaufbereitung

Die Gefahrenbeurteilung auf der Richtplanebene erfordert eine Aussagegenauigkeit, die einem Massstabsbereich von 1:10'000 - 1:50'000 entspricht (vgl. Tab. 3.2). Dies bedingt, dass die Grundlagendaten in einem entsprechenden Massstab zur Verfügung stehen. Aus Tabelle 7.1 geht hervor, dass heute nur das digitale Höhenmodell in einer entsprechenden räumlichen Auflösung zur Verfügung steht. Deshalb ist es notwendig, weitere Datensätze

neu aufzubereiten oder bestehende Datengrundlagen zu verbessern. Die im Rahmen der Gefahrenhinweiskarte des Kantons Bern (vgl. Anhang B) entwickelten Verfahren für die Datenaufbereitung umfassen die Erstellung eines verbesserten digitalen Höhenmodells und die Ableitung von detaillierteren Daten zur Bodenbedeckung. Die Verfahren werden in den folgenden Kapiteln beschrieben.

Themenbereich	*Datengrundlage*	*Bezugsquelle*	*Bemerkungen*
Relief	DHM 100	L+T	Abgeleitet aus dem RIMINI-Modell (250 m Raster)
	DHM 50	Tydac Schweiz	
	DHM 25	L+T	abgeschlossen
	DHM 10	Swissair Photo und Vermessung	im Aufbau
Gewässernetz	Digitales Gewässernetz 1:200'000	BFS	
	Digitales Gewässernetz 1:25'000	L+T	Teil des Vektor 25 im Aufbau
Bodenbedeckung	Arealstatistik	BFS	100 m Raster
Boden	Bodeneignungskarte 1:200'000	BFS	
Geologie	Geotechnische Karte 1:200'000	BFS	Lagegenauigkeit begrenzt
	Digitale Geologische Karte 1:25'000	Landeshydrologie und -geologie	geplant

Tab. 7.1 Digitale Grundlagendaten für die GIS-basierte Gefahrenbeurteilung. Aufgeführt sind Datensätze, die heute flächendeckend über die Schweiz zur Verfügung stehen, deren Aufbau läuft oder geplant ist (Stand 1997).

7.2.1 Digitales Höhenmodell

Das Matrixmodell des DHM25 ist für die Simulation von Gefahrenprozessen ungeeignet, da darin wesentliche Reliefelemente nicht oder nur ungenügend abgebildet werden. Ausgehend vom Basismodell des DHM25 kann unter Einbezug eines digitalen Gewässernetzes und weiterer topographischer Strukturen ein digitales Höhenmodell erstellt werden, dass den Anforderungen einer Prozessimulation im Massstab 1:25'000 genügt.

Für die im Rahmen dieses Projektes verwendeten Modellansätze muss das digitale Höhenmodell als Raster vorliegen. Für eine Gefahrenbeurteilung auf der Richtplanebene werden an das digitale Höhenmodell recht hohe Anforderungen gestellt. Reliefstrukturen, die in der Landeskarte 1:25'000 abgebildet sind, sollten im DHM wiedergegeben werden. Das aus der

Landeskarte 1:25'000 abgeleitete DHM25 des Bundesamtes für Landestopographie kann in zwei verschiedenen Formaten bezogen werden: als 25 Meter Raster (Matrixmodell) und als sogenanntes «Basismodell» (vektorisierte Höhenkurven, Seekonturen und Höhenkoten). Erste Versuche zeigten, dass im Matrixmodell feinere Reliefstrukturen wie Rippen und Kanten nur schlecht abgebildet werden. Ausserdem muss in Felsgebieten mit massiven Fehlern in den Höhenangaben gerechnet werden, da die Höhenkoten der Landeskarte bei der Interpolation nicht miteinbezogen wurden. Beides führt in der Prozessimulation zu bedeutenden Fehlern. Ausserdem ist ein Raster von 25 Metern für die Simulation von Gerinneprozessen relativ grob.

Deshalb wurde ein Verfahren entwickelt, mit dem aus dem Basismodell ein detaillierteres Höhenmodell erstellt werden kann. In diesem Höhenmodell werden die Kotenpunkte, aber auch das Gerinnenetz und weitere topographische Strukturlinien miteinbezogen. Der Einbezug eines digitalen Gerinnenetzes in die DHM-Erstellung ist vor allem für die Abbildung des Abflussweges wichtig. Wie Abbildung 7.1 zeigt, ermöglicht das Verfahren die Erstellung eines digitalen Höhenmodells in einem 10 Meter Raster, welches das Relief wesentlich besser abbildet als das Matrixmodell des Bundesamtes für Landestopographie. Der Aufwand für die Aufbereitung eines DHM für ein Kartenblatt 1:25'000 beträgt aufgrund der bisherigen Erfahrungen 3000 bis 4000 Franken (Arbeits- und Informatikkosten Stand 1996).

Methodische Hinweise:

Für die Erstellung des DHM in Rasterform wurden zwei verschiedene Verfahren verwendet. Das erste Verfahren basiert auf dem von Huber (1994) entwickelten Ansatz und führt in einem Zwischenschritt über ein trianguliertes Netzwerk (TIN). Der zweite Ansatz basiert auf einem Verfahren, das von Hutchinson (1989) entwickelt wurde und heute in ArcInfo zur Verfügung steht (TOPOGRID).

Für das erste Verfahren sind folgende Arbeitsschritte notwendig:

1. *Erfassung Gewässernetz: Vektorisierung des Gerinnenetzes aus der Pixelkarte 1:25'000 oder Digitalisierung ab der Landeskarte 1:25'000. Die einzelnen Gewässerabschnitte müssen in Fliessrichtung gerichtet sein.*

2. *Höhencodierung Gewässernetz: Verschneidung des Gerinnenetzes mit den Höhenkurven. Übertragen der Höheninformation auf das Gerinnenetz. Höheninterpolation der Punkte auf dem Gewässernetz zwischen den Schnittpunkten (alle 25 m). Umwandlung des höhencodierten Gerinnenetzes in höhencodierte Punkte.*

3. *Contour to DEM (CTD): Dieses von Huber (1994) entwickelte Modell analysiert das Relief aufgrund der Höhenkurven, Seekonturen und der eingegebenen Punkte (Kotenpunkte aus der LK25 und Punkte aus dem Gewässernetz). Es erzeugt zusätzliche Punkte entlang von Rippen und Tiefenlinien und liefert so einen optimalen Punktesatz für die anschliessende Dreiecksvermaschung (TIN).*

4. *Generierung TIN: Erzeugung eines TIN, basierend auf den Punkten aus CTD unter Einbezug des Gerinnenetzes als Bruchkanten. (ArcInfo: ARCTIN)*

5. *Generierung Raster: Umwandlung des TIN in ein 10 m Raster. (ArcInfo: TINLATTICE)*

6. *Verifikation DHM: Prüfen auf Senken (ArcInfo: SINK). Prüfen, ob logische Fliessstrukturen abgebildet werden können (ArcInfo: FLOWACCUMULATION). Allenfalls notwendige Korrekturen*

durchführen. Für kleinere Gebiete können zur Kontrolle aus dem Raster auch die Höhenkurven rekonstruiert werden. Diese können dann mit den Inputdaten verglichen werden.

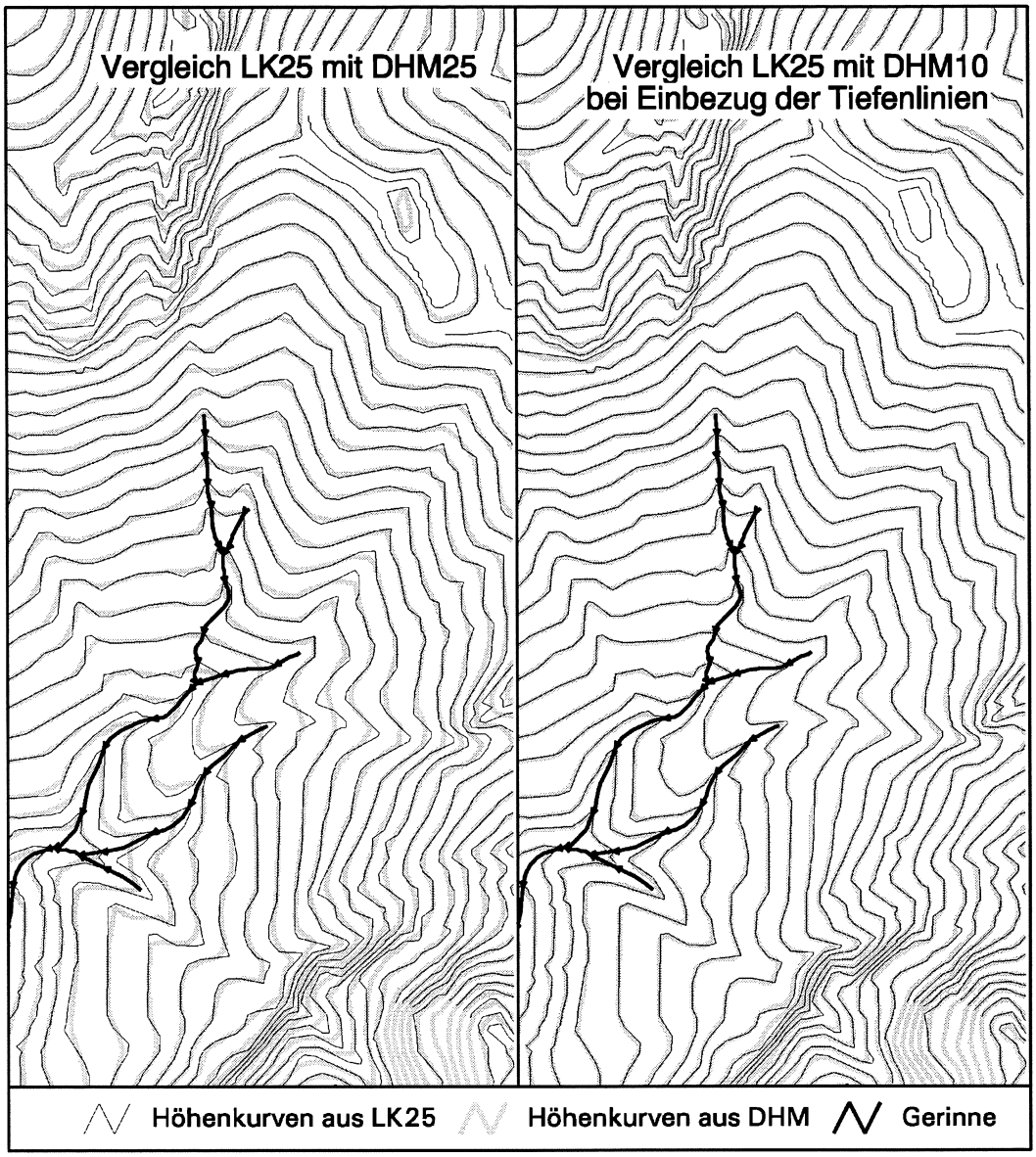


Abb. 7.1 Vergleich DHM25-Matrixmodell mit dem aus dem Basismodell abgeleiteten Höhenmodell DHM25/10. Die Reliefabbildung im Matrixmodell ist vor allem im Bereich von Gerinnen und Rippen sehr ungenau. Dies konnte im DHM25/10 wesentlich verbessert werden. (Datengrundlage: DHM25 des Bundesamtes für Landestopographie 1995).

Für den zweiten Ansatz sind folgende Arbeitsschritte notwendig:

1. *Erfassung Gewässernetz: Vektorisierung des Gerinnenetzes aus der Pixelkarte 1:25'000 oder Digitalisierung ab der Landeskarte 1:25'000. Die einzelnen Gewässerabschnitte müssen in Fliessrichtung gerichtet sein.*

2. *Höhencodierung Gewässernetz (nicht zwingend notwendig, jedoch von Vorteil): Verschneidung des Gerinnenetzes mit den Höhenkurven. Übertragen der Höheninformation auf das Gerinnenetz. Höheninterpolation der Punkte auf dem Gewässernetz zwischen den Schnittpunkten. Umwandlung des höhencodierten Gerinnenetzes in höhencodierte Punkte.*

3. *Generierung Raster: ArcInfo TOPOGRID mit folgenden Inputdaten laufen lassen: Höhenkurven, Seekonturen, Kotenpunkte aus der LK25, Punkte aus dem höhencodierten Gerinnenetz, Gerinnenetz.*

4. *Verifikation DHM: Prüfen auf Senken (ArcInfo: SINK). Prüfen, ob logische Fliessstruktur abgebildet werden kann (ArcInfo: FLOWACCUMULATION). Allenfalls notwendige Korrekturen durchführen. Für kleinere Gebiete können zur Kontrolle aus dem Raster auch die Höhenkurven rekonstruiert werden. Diese können dann mit den Inputdaten verglichen werden.*

Sinngemässe Verfahren für die Herleitung von digitalen Höhenmodellen sind auch auf anderen Geographischen Informationssystemen möglich.

7.2.2 Bodenbedeckung

Aus der Pixelkarte 1:25'000 lassen sich mit Hilfe von Mustererkennungs-Verfahren die Bodenbedeckungs-Klassen «Fels», «offener Schutt», «Eis» und «Wald» ableiten.

Die Bodenbedeckung ist eine für die Gefahrenbeurteilung wichtige Grösse. Je nach Gefahrenprozess sind folgende Bodenbedeckungs-Klassen von Interesse: «Fels», «offener Schutt», «Eis» und «Wald». Bis heute fehlen solche Grundlagen in der erforderlichen räumlichen Auflösung. Die Arealstatistik (BFS 1992) liegt nur als 100 m Raster vor und ist damit für eine Gefahrenbeurteilung im Massstab 1:25'000 zu grob. Ausserdem sind im Datensatz des BFS Fels, Schutt und Eis in der Klasse «vegetationslose Fläche» zusammengefasst. Deshalb wurde ein Verfahren entwickelt, mit dem aus der Pixelkarte 1:25'000 Informationen zur Oberflächenbeschaffenheit abgeleitet werden können. Mit diesem Verfahren können die Klassen Fels, Gletscher, Gewässer, offener Schutt, Wald und übrige Flächen unterschieden werden. Die Resultate liegen im 10 m Raster vor (Abb. 7.2). Die Klassen offener Schutt und Fels sind für die weiteren Arbeitsschritte von besonderem Interesse. Der Fels wird als Sturzquelle und der offene Schutt bei der Beurteilung der Geschiebelieferung in Wildbacheinzugsgebieten weiterverwendet.

Zusätzlich werden Gebiete mit Schraffen, sofern es sich nicht um Dämme o.ä. handelt, ausgeschieden, da sie auf Bewegungen im Lockermaterial hinweisen.

Der Aufwand für die Ableitung der Bodenbedeckung für ein Kartenblatt 1:25'000 beträgt aufgrund der bisherigen Erfahrungen 2000 bis 3000 Franken (Arbeits- und Informatikkosten Stand 1996).

Methodischer Hinweis:

Während die Klassen Gewässer und Wald direkt aus den jeweiligen Farbebenen der Landeskarte extrahiert werden können, sind zur Ausscheidung der übrigen Klassen kompliziertere Verfahren notwendig. Fels und Schutt sind zusammen mit der Situation und der Beschriftung auf der Landeskarte in schwarz dargestellt, und Eis ist nur über die blauen Höhenkurven definiert. Deshalb müssen Mustererkennungsverfahren eingesetzt werden, um diese Klassierung vorzunehmen. Dabei hilft die sogenannte Felsmaske, die von der Landestopographie erstellt wird, um in den Fels-, Schutt- und Gletschergebieten den gelben Reliefton abzumaskieren. Mit dieser Maske wird zuerst der Inhalt der schwarzen Kartenebene auf die interessierenden Bereiche reduziert. Im verbleibenden Teil werden anschliessend über Formparameter die Klassen Fels, Schutt und Schrift unterschieden. Die restlichen Gebiete werden als eisbedeckt klassiert.

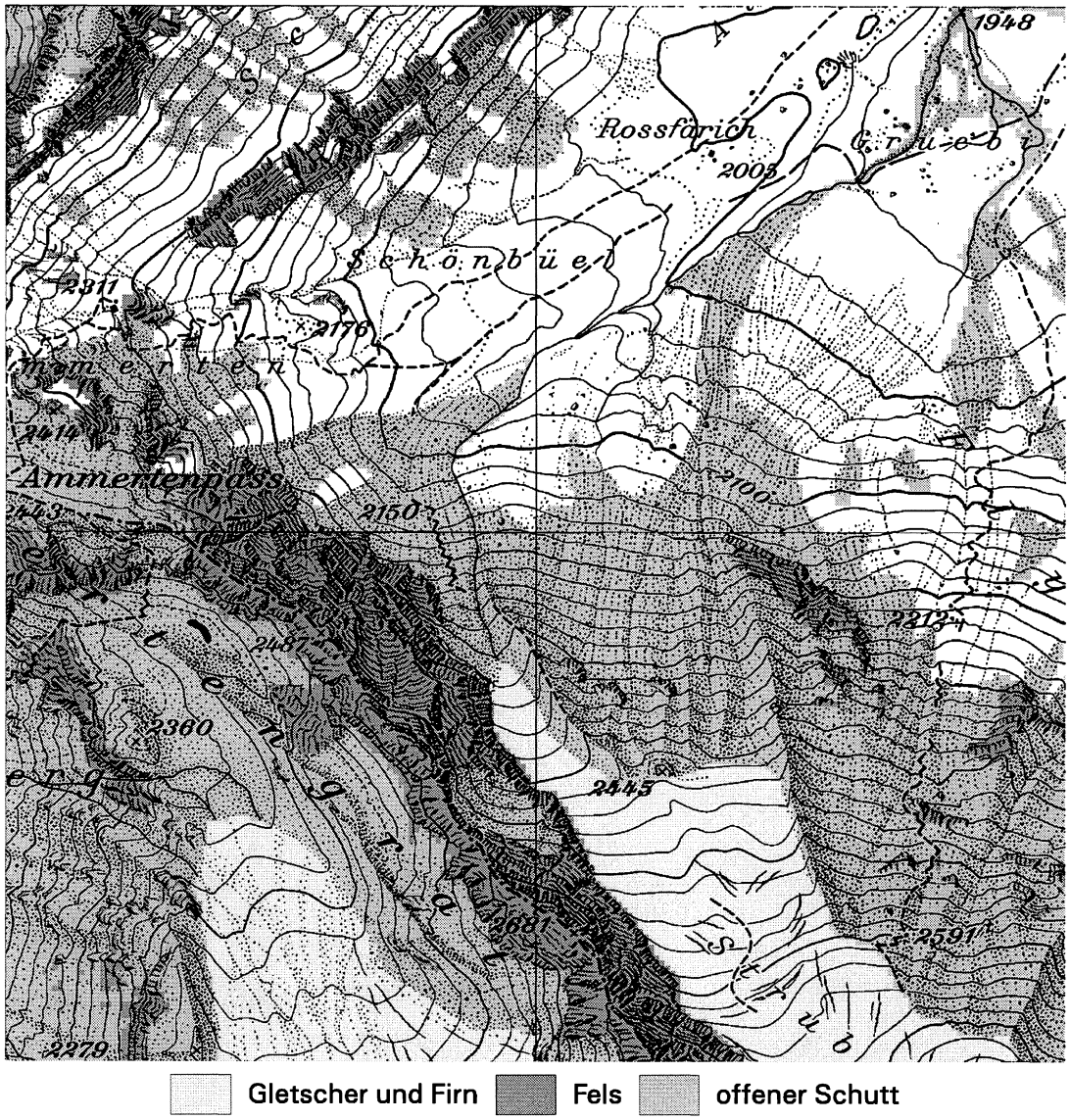


Abb. 7.2 Ableitung der Oberflächenbeschaffenheit aus der Pixelkarte. (Kartengrundlage: Reproduziert mit Bewilligung des Bundesamtes für Landestopographie vom 22.12.97).

7.3 Digitale geologische Grundlagen

Eine digitale geologische Grundlage, die in einem Massstabsbereich von 1:50'000 - 1:25'000 eingesetzt werden kann, steht zur Zeit nicht zur Verfügung.

Die geologische Charakterisierung des oberflächennahen Untergrundes ist in der Gefahrenbeurteilung von grosser Bedeutung (vgl. Kap. 3.7.2). Beim Lockermaterial sind Angaben bezüglich Korngrössenzusammensetzung, Scherfestigkeit und Durchlässigkeit von Interesse. Beim Festgestein interessiert die Verwitterungsanfälligkeit, die Lithologie und Struktur bzw. der Durchtrennungsgrad. Im weiteren sind Angaben zur Art des Lockermaterials, das bei der Verwitterung entsteht, notwendig. Bis heute fehlt eine digitale geologische Karte mit einer räumlichen Auflösung, die der Gefahrenbeurteilung auf der Richtplanebene entspricht und welche die gewünschten Informationen liefert. Zwar existiert eine digitale Geotechnische Karte der Schweiz im Massstab 1:200'000, doch ist diese für einen Einsatz in grösseren Massstabsbereichen zu ungenau (vgl. BFS 1992). Der geologische Atlas im Massstab 1:25'000 liegt nicht in digitaler Form vor und deckt auch in analoger Form erst ca. die Hälfte der Schweiz ab. Zur Zeit plant die Landeshydrologie und -geologie die Durchführung eines Pilotprojektes für die Erstellung einer digitalen geologischen Karte im Massstab 1:25'000. Bis eine solche Karte vorliegt, ist man deshalb darauf angewiesen, mit einem grossen Aufwand die geologischen Informationen speziell aufzuarbeiten oder aber auf die grobe Information der digitalen Geotechnischen Karte der Schweiz zurückzugreifen. Die Geotechnische Karte darf jedoch nicht zur Ausscheidung von konkreten Flächen verwendet werden, sondern kann einzig für eine grobe Charakterisierung grösserer Raumeinheiten (z.B. «25 % eines Einzugsgebietes liegen in Kalkphylliten») verwendet werden.

Eine grobe geologische Klassifikation kann auch aus der digitalen Bodeneignungskarte 1:200'000 abgeleitet werden.

7.4 Literatur

BFS (1992): GEOSTAT Benützerhandbuch. Bundesamt für Statistik (BFS), Bern.

Huber, M. (1994): The digital geo-ecological map. Concepts GIS-methods and case studies. Basler Beiträge zur Physiogeographie, Bd. 20. Basel.

Hutchinson, M. F. (1989): Calculation of hydrologically sound digital elevation models. Third international Symposium on Spatial Data Handling. Sydney. Columbus, Ohio: International Geographical Union.

8 Gefahrenbeurteilung auf Richtplanebene

Auf der Ebene Richtplan müssen Grundlagen zu vorhandenen Naturgefahren und zukünftig vermuteten Gefahrensituationen erarbeitet werden. Solche regionalen Übersichten sollen über die Orte, die von Gefahrenprozessen betroffen sind und die Art der Gefahrenprozesse Auskunft geben (vgl. Kap. 3.3). Mit Hilfe von GIS-basierten Gefahrenbeurteilungs-Verfahren können auch für grosse Gebiete mit einem relativ geringen Aufwand die notwendigen Informationen zur Gefahrensituation erarbeitet werden. Die Entwicklung entsprechender Verfahren bildete einen Schwerpunkt des Moduls «Naturgefahren». In den folgenden Kapiteln werden diese Verfahren eingehender vorgestellt. In Kapitel 8.4 wird ausserdem der Werdegang dieser Verfahrens-Entwicklung zusammenfassend skizziert und ein Ausblick auf künftige Entwicklungen gegeben.

8.1 Beurteilung der Wildbachgefahr

Das Ziel des Beurteilungsverfahrens ist eine generelle Charakterisierung von Wildbacheinzugsgebieten bezüglich der geomorphologischen und hydrologischen Prozesse. Diese Charakterisierung soll sich hauptsächlich auf das grundsätzliche Verhalten eines Einzugsgebietes beziehen. Eine Gefahrenbeurteilung im Hinblick auf die variable aktuelle Gefahrensituation ist kaum möglich und nicht das primäre Ziel. Das vom Büro Geo7 erarbeitete Konzept für die überblicksmässige Beurteilung der Wildbachgefahr beinhaltet einen inhaltlichen und einen verfahrensmässigen Teil. Die beiden Teilkonzepte werden im folgenden erläutert. Anschliessend folgt die Beschreibung des Verfahrens, das aufgrund dieses Konzeptes entwikkelt wurde. Im Anhang A wird die Anwendung des Verfahrens an einem Beispiel vorgestellt.

8.1.1 Inhaltliches Konzept

Bei der Beurteilung der Wildbachgefahr müssen die vier Teilsysteme Abflussbildung, Geschiebeaufbereitung, Geschiebelieferung und Geschiebeverlagerung im Gerinne analysiert werden.

Das inhaltliche Konzept basiert weitgehend auf Grundsätzen, die heute in der Beurteilung von Wildbächen angewendet werden. Ziel der Arbeiten war es, verschiedene Ansätze und Beurteilungsmethoden in einem Gesamtkonzept zu integrieren. Folgende Systemvorstellungen bildeten die Grundlage zu diesem Gesamtkonzept:

- Die Wassermenge und das Feststoffangebot bestimmen zusammen mit dem Relief die Wildbachaktivität. Dabei ist zu beachten, dass in Wildbacheinzugsgebieten der Wasserabfluss allein normalerweise keine grössere Gefährdung darstellt. Probleme ergeben sich meistens aus der Geschiebeführung. Daher kommt dem Geschiebeaufkommen eine besondere Bedeutung zu.
- Das Geschiebeaufkommen in einem Wildbacheinzugsgebiet hängt von mehreren Prozessen ab, nämlich von der Geschiebeaufbereitung, von den Prozessen, die das Geschiebe ins Gerinne bringen und von den Prozessen, die im Gerinne ablaufen. Beim Abfluss aus kleineren Wildbacheinzugsgebieten sind die hydrologischen Prozesse, die in den Hängen ablaufen, entscheidend. Die Abflusskonzentration in den Gerinnen ist wegen der kurzen Fliesszeiten eher von untergeordneter Bedeutung.

In den folgenden Abschnitten werden die einzelnen Teile des Systems detaillierter beschrieben (vgl. auch Abb. 8.1 und 8.2.)

8.1.1.1 Abflussbildung

Die Transformation des Niederschlags in den Abfluss kann durch verschiedene Prozesse erfolgen. Kölla (1986) unterscheidet fünf für die Hochwasserentstehung massgebende Arten der Abflussbildung:

- Der Grundwasserabfluss kann unter Voraussetzung eines hydraulischen Anschlusses des Grundwasserträgers an einen Vorfluter und bei gut durchlässigen Böden zur Hochwasserentstehung beitragen.
- Der Horton'sche Oberflächenabfluss kann bei ungenügender Infiltrationskapazität auftreten. Bei den in der Schweiz vorherrschenden Klimabedingungen ist diese Art der Hochwasserentstehung von untergeordneter Bedeutung.
- Der Schnellabfluss im Boden (Subsurface Stormflow) tritt in hangparallelen gutdurchlässigen Schichten auf (Makroporenfluss). Abhängig von den Bodeneigenschaften, können diese Fliesswege für die Hochwasserentstehung von grosser Bedeutung sein.
- Der gesättigte Oberflächenabfluss tritt auf Flächen auf, deren Wasserspeicher vollständig gefüllt ist. Diese Art der Abflussbildung ist stark vom Relief und den Bodeneigenschaften abhängig.
- Der Abfluss in der porösen Bodenmatrix kann hauptsächlich in tiefgründigen, gut durchlässigen Böden zur Hochwasserentstehung beitragen.

Grundsätzlich können mehrere der oben aufgeführten Prozesse für die Entstehung eines Hochwassers relevant sein. Die Bedeutung der einzelnen Prozesse kann zeitlich variieren, sei es, weil sich verschiedene Einflussgrössen jahreszeitlich verändern (z.B. Vegetation) oder weil sie von der Vorgeschichte abhängig sind (Niederschlagsgeschehen). Andere Parameter, z.B. das Relief, sind über die Zeit mehr oder weniger konstant. In Abbildung 8.1 sind die wichtigsten Zusammenhänge schematisch dargestellt.

8.1.1.2 Geschiebeaufbereitung

Grundsätzlich lassen sich zwei Typen von Geschiebequellen unterscheiden: Altschutt und Jungschutt (Stiny 1931). Altschuttgebiete zeichnen sich dadurch aus, dass die Schuttablagerungen nicht unter den heutigen Bedingungen entstanden sind. Es handelt sich dabei hauptsächlich um Moränen, glazifluviale Schotter (Talverfüllungen), alte Sturzablagerungen und alte Bachablagerungen (relikte Bachkegel). Eine Speisung dieser Schuttquellen findet heute kaum mehr statt. Altschuttgebiete sind vor allem im Bereich der Gerinne relevant. Verläuft ein Gerinne im Altschutt, kann während eines Ereignisses in einer Altschuttstrecke grundsätzlich Material mobilisiert werden, bis die Transportkapazität ausgelastet ist. Eine Limitierung durch das Geschiebepotential ist in der Regel nicht vorhanden. Man muss jedoch eine maximale Erosionsleistung berücksichtigen. Da diese Situation auch gegeben ist, wenn ein Gerinne in einer Sackung oder einer tiefgründigen Rutschung verläuft, werden Altschuttgebiete, tiefgründige Rutschungen und Sackungen analog Bunza et al. (1982) unter dem Begriff «expansive Geschiebeherde» zusammengefasst.

Im Gegensatz zu den Altschuttgebieten findet in Jungschuttgebieten eine laufende Schuttproduktion durch die Verwitterung statt. Die Grösse der Schuttproduktion ist dabei stark von der Verwitterbarkeit des Festgesteins und von der Anzahl der Frostwechsel abhängig. Das in den Hängen und Felswänden produzierte Lockermaterial wird mittels Massenverlage-

rungsprozessen in das Gerinne verfrachtet. Die vorhandene Schuttmenge ist somit limitiert und zeitlich variabel.

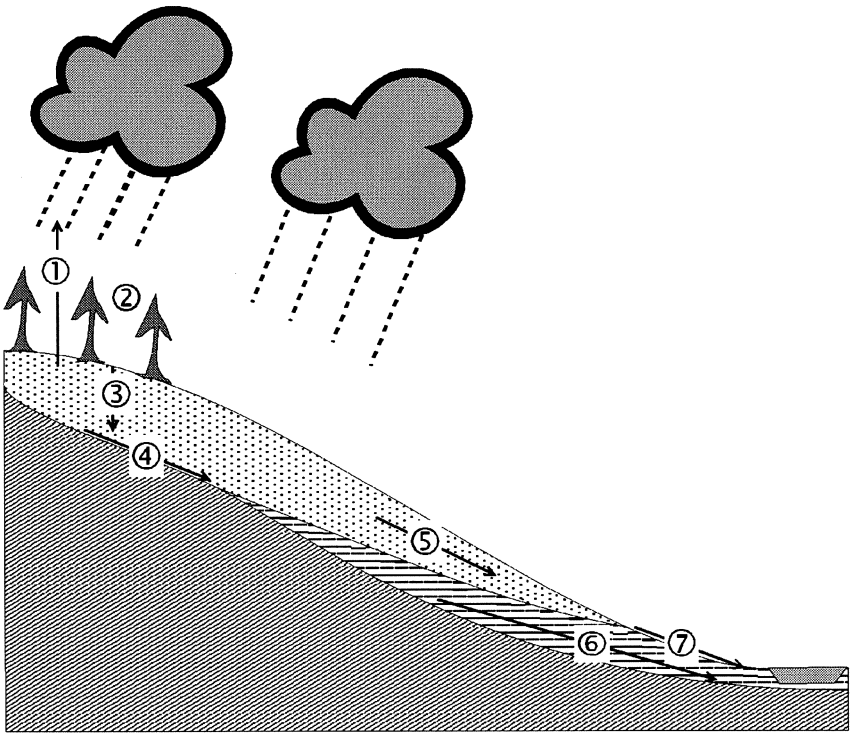


Abb. 8.1 Schematische Darstellung der Abflussbildung
1: Evapotranspiration = *f* (Vegetation, Temperatur, Bodenfeuchte)
2: Interzeption = *f* (Vegetation)
3: Infiltration = *f* (Bodeneigenschaften, Bodenfeuchte, Relief)
4: subsurface stormflow = *f* (Bodeneigenschaften, Relief)
5: Matrixfluss = *f* (Bodeneigenschaften, Bodenfeuchte, Relief)
6: Grundwasserabfluss = *f* (Bodeneigenschaften, Relief)
7: Gesättigter Oberflächenabfluss = *f* (Bodenfeuchte, Relief)

8.1.1.3 Geschiebelieferung

Die Geschiebelieferung vom Hang ins Gerinne erfolgt über verschiedene Massenverlagerungsprozesse. Relevant sind Sturzprozesse, Rutschungen und Fliessprozesse (flachgründige Translationsrutschungen mit hohem Wassergehalt, Soilslips, Flächenspülung) (Bunza et al. 1982). Diese Prozesse unterscheiden sich bezüglich der Voraussetzungen für ihr Auftreten, der Reichweite und der Verlagerungskapazität. Häufig gelangt jedoch nur ein kleiner Teil des durch diese Prozesse verlagerten Materials in ein Bachgerinne. Oft bleibt das Material in einem flacheren Hangbereich liegen und ist damit für den Geschiebehaushalt nicht relevant. Darauf basiert das Konzept der geschieberelevanten Fläche (Zimmermann 1989). Eine Fläche ist nur dann geschieberelevant, wenn sie einen direkten Anschluss an ein Gerinne hat oder über eine Runse an ein Gerinne angeschlossen ist.

8.1.1.4 Geschiebeverlagerung im Gerinne

Beim Prozessgeschehen im Gerinne sind zwei verschiedene Aspekte zu beachten:

- Die Art des Gerinneprozesses: Dabei wird zwischen Geschiebetransport (stark geschiebeführende Hochwasser) und Murgangaktivität unterschieden;
- Die «Transportbilanz», d.h. das Verhältnis von Erosion zu Akkumulation.

Die Art des Prozesses stellt eine Schlüsselgrösse in der Gefahrenbeurteilung von Wildbacheinzugsgebieten dar, da Murgänge, verglichen mit dem reinen Geschiebetransport, in kurzer Zeit ein Vielfaches an Material zu verlagern vermögen.

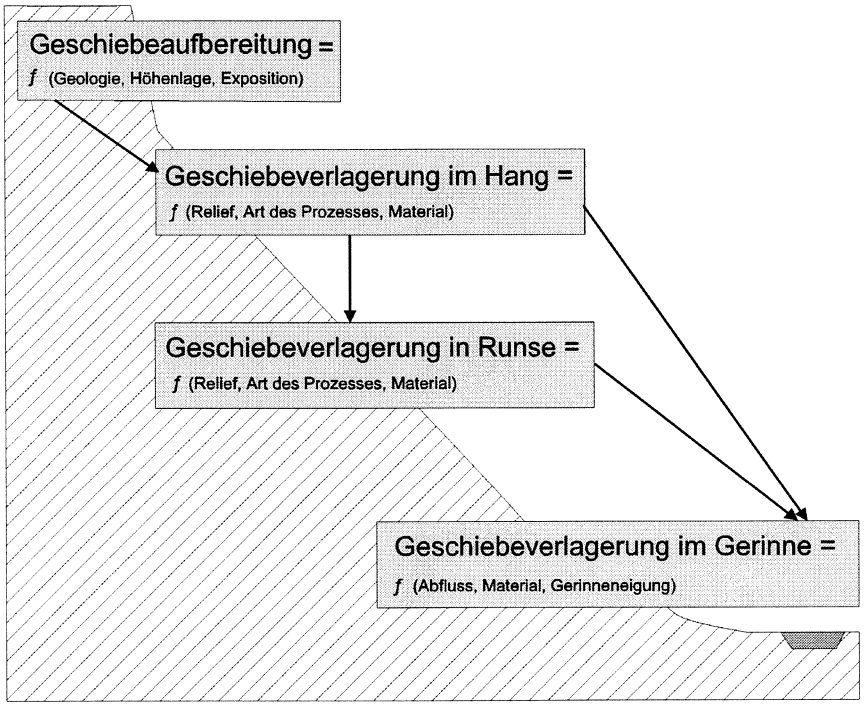


Abb. 8.2 Schematische Darstellung des Geschiebehaushaltes

8.1.2 Verfahrensmässiges Konzept

Das Beurteilungsverfahren ist zweistufig: Auf der Einzugsgebietsstufe erfolgt eine grobe Quantifizierung bezüglich Ereignisgrösse und Ereignishäufigkeit, innerhalb des Einzugsgebietes erfolgt eine prozessbezogene Beurteilung.

Das Verfahren zur Beurteilung der Wildbachgefahr in einem grösseren Gebiet (z.B. Region) sieht eine Bearbeitung in zwei Stufen vor (vgl. Abb. 8.3):

- Auf der Stufe «gesamtes Einzugsgebiet»
  - erfolgt eine Bewertung der Prozesse bezüglich Ereignisgrösse und Ereignishäufigkeit.

- Innerhalb des Einzugsgebietes erfolgt die Ausscheidung:
  - von Flächen, die den Abfluss massgeblich beeinflussen;
  - der geschieberelevanten Fläche;
  - der Prozessart;
  - des Wirkungsbereichs der Prozesse.

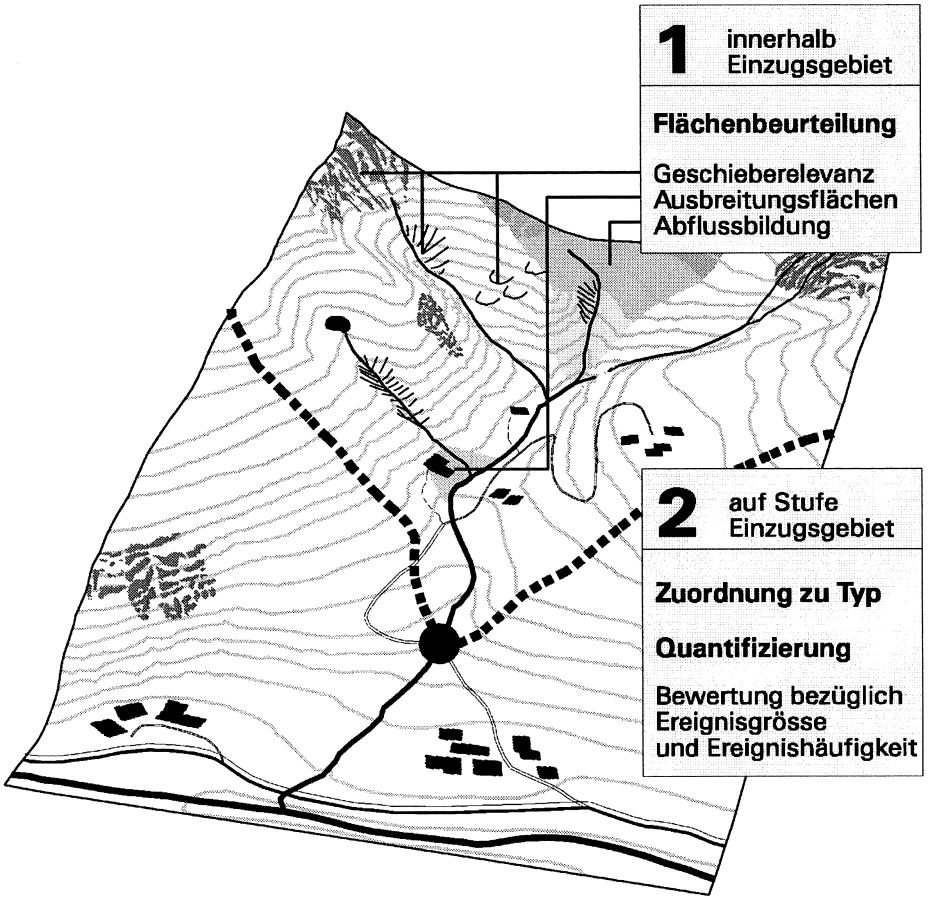


Abb. 8.3 Schema für die zweistufige Beurteilung eines Wildbacheinzugsgebietes.

Die Aufteilung auf zwei Ebenen ist durch die Tatsache begründet, dass es kaum möglich ist, durch Aggregation einer Vielzahl von Einzelprozessen auf den Gesamtcharakter eines grösseren Gebietes zu schliessen. Die Beurteilung auf Stufe des gesamten Einzugsgebiets basiert auf einem statistischen Ansatz. Aufgrund einer Wildbach-Typisierung werden Aussagen zu Ereignisgrösse und Ereignishäufigkeit abgeleitet. Möglichst prozessbezogen erfolgt dagegen die Beurteilung innerhalb des Einzugsgebietes. Eine gute Nachvollziehbarkeit der natürlich ablaufenden Prozesse soll hier mit Hilfe von Simulationsmodellen erreicht werden. Diese detaillierteren Ausscheidungen geben Auskunft über wichtige Steuergrössen in einem Einzugsgebiet und dienen damit auch als Grundlage für die Bewertung auf Einzugsgebietsstufe. Die Flächenausscheidungen innerhalb des Einzugsgebietes können aber auch als Basis für eine spätere Gefahrenbeurteilung auf der Ebene Nutzungsplanung dienen.

Die Kombination der beiden Beurteilungsstufen (Einzugsgebiet, Teilflächen) ergibt ein Gesamtbild der Wildbachgefahr in einem Einzugsgebiet.

8.1.3 Verfahren für die EDV-gestützte Beurteilung der Wildbachgefahr

Die Verfahren, die für die Beurteilung der Wildbachprozesse verwendet werden, sind nicht grundsätzlich neu. Erfahrungen aus den verschiedenen Projekten, die gerade in den letzten Jahren in der Schweiz im Bereich Wildbäche durchgeführt wurden, können genutzt werden. Zu erwähnen sind beispielsweise die Ergebnisse der Ursachenanalyse Hochwasser 1987 (BWW 1991) oder verschiedene Grundlagen, die von der Forstlichen Arbeitsgruppe Naturgefahren (FAN) herausgegeben wurden. Ein bedeutender Beitrag stammt auch aus dem laufenden Nationalen Forschungsprogramm 31 (NFP 31) «Klimaänderung und Naturkatastrophen», vor allem aus den Projekten «Murgänge und GIS» (Zimmermann et al. 1997) sowie «Sensitivität von Wildbacheinzugsgebieten» (Kienholz et al. 1997). Aus diesen Bausteinen werden die einzelnen Prozessmodelle aufgebaut. Kenngrössen, Verfahren und Modelle wurden von diesen Quellen übernommen und zu einem Verfahren kombiniert, das im folgenden eingehender beschrieben wird.

8.1.3.1 Beurteilung innerhalb des Einzugsgebietes (Teilgebiete)

Abflussbildung

Das Konzept der (variablen) beitragenden Fläche bildet die Grundlage für eine räumliche Differenzierung eines Einzugsgebietes bezüglich der Abflussbildung. Die Flächendifferenzierung erfolgt primär aufgrund einer Reliefanalyse.

Die räumliche Differenzierung bezüglich der Abflussbildung hat im Zusammenhang mit der Gefahrenbeurteilung einen eher geringen Stellenwert. Das hauptsächliche Interesse liegt bei der Abflussmenge, die am Kegelhals bzw. einer anderen kritischen Stelle zu erwarten ist. Eine differenziertere Betrachtung ist aber dann von Interesse, wenn die Schutzfunktion des Waldes in einem Einzugsgebiet zu beurteilen ist.

Eine räumliche Differenzierung ist mit Hilfe des Konzeptes der beitragenden Fläche möglich. Verschiedene Untersuchungen haben gezeigt, dass nur ein Teil des Einzugsgebietes für die Bildung von Hochwasserabflüssen relevant ist (z.B. Hewlett et Nutter 1970: in Düster 1994). Dieses Konzept wurde von Kölla (1986) aufgenommen. Sie schlägt vor, dass für die Abschätzung eines 20-jährlichen Spitzenabflusses ein Bereich von etwa 100 m als beitragende Fläche ausgeschieden werden soll. Düster (1994) hat ein differenzierteres Verfahren entwikkelt. Er führt eine Flächengewichtung über die Distanz und die Hangneigung ein. Steile, nahe bei einem Gerinne liegende Flächen haben demnach eine grössere Bedeutung für die Abflussbildung als flache, weit von einem Gerinne gelegene Flächen.

Eine weitere Möglichkeit für eine räumliche Differenzierung der Abflussbildung stellt der Topoindex dar. Dieser Index bildet eine wichtige Grundlage für die Abflussimulation mit Hilfe des TOPMODEL (Beven et al. 1995a). Der Topoindex ist ein Mass für die Bereitschaft zu gesättigten Verhältnissen und damit für den gesättigten Oberflächenabfluss. Hohe Topoindexwerte bedeuten eine hohe Bereitschaft für gesättigten Oberflächenabfluss, niedrige Werte eine geringe. Das TOPMODEL wurde im Einzugsgebiet des Rotenbaches (Schwarzsee, FR) getestet. Diese Untersuchungen haben u.a. gezeigt, dass der Topoindex die Feuchteverhältnisse im Rotenbacheinzugsgebiet gut abzubilden vermag (Kienholz et al. 1997).

Methodische Hinweise:

Alle diese Verfahren können bei Verwendung von digitalen Grundlagendaten auf Gebiete mit einer grösseren Anzahl von einzelnen Wildbächen angewendet werden. Für die Ausscheidung der beitragenden Fläche nach dem Verfahren Kölla muss ein digitales Gerinnenetz (Massstab 1:25'000 oder grösser) zur Verfügung stehen. Mit Hilfe eines GIS kann ein 100 m-Puffer um das Gerinnenetz berechnet werden. Der Ansatz nach Düster (1994) erfordert neben dem digitalen Gerinnenetz ein digitales Höhenmodell. Aus dem Höhenmodell wird mit Hilfe des GIS die Hangneigung berechnet. Diese bildet zusammen mit der Distanz zum nächsten Gerinne die Grundlage für die Berechnung der sogenannten «Kostenoberfläche», welche die Bedeutung für die Abflussbildung widergibt. Funktionen für die Berechnung der «Kostenoberfläche» sind in vielen Geographischen Informationssystemen enthalten.

Ein digitales Höhenmodell ist auch für die Berechnung des Topoindex notwendig. Die Berechnung des Topoindex erfolgt nach der Formel

$$\text{Topoindex} = \ln\left(a / \tan \beta\right) \qquad [8.1]$$

wobei a *die Fläche [m²] ist, die durch einen Punkt entwässert und* β [°] *die Hangneigung an diesem Punkt (vgl. Abb. 8.4). Da die Berechnung der Einzugsgebietsfläche* ***a*** *nach einem speziellen Verfahren erfolgt (vgl. Quinn et al. 1992), kann die Topoindexberechnung normalerweise nicht mit einem GIS vorgenommen werden. Spezielle Programme, die von der University of Lancaster entwickelt wurden, stehen jedoch zur Verfügung (Beven et al. 1995b).*

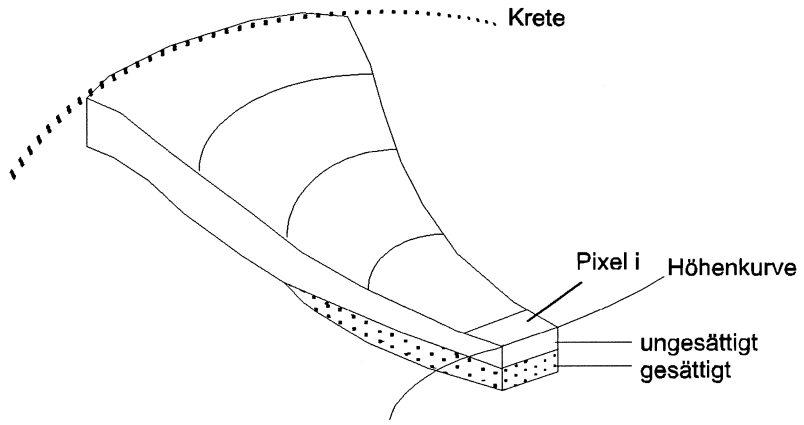


Abb. 8.4 Schematische Darstellung der Berechnung des Topoindex

Bei all diesen Verfahren für die Flächendifferenzierung werden keine Informationen zur Durchlässigkeit berücksichtigt. Soll jedoch ein Vergleich über verschiedene geologische bzw. pedologische Einheiten vorgenommen werden, müssen solche Informationen in die Flächencharakterisierung mit einbezogen werden. Beim Verfahren Kölla werden für die Abflussabschätzung Daten aus der Bodeneignungskarte der Schweiz 1:200'000 einbezogen. Diese Daten stehen heute als digitaler Datensatz beim Bundesamt für Statistik zur Verfügung (vgl. BSF 1992). Auch bei der Berechnung des Topoindex können Unterschiede in der Durchlässigkeit berücksichtigt werden (Beven 1986). Düster verwendet für die Abflussabschätzung keine Boden- bzw. Geologieparameter.

Geschieberelevante Fläche

Die Ausscheidung der geschieberelevanten Fläche in einem Wildbacheinzugsgebiet basiert auf der Reliefanalyse sowie auf einer Charakterisierung der Bodenbedeckung und der geologischen Eigenschaften. Bei der Quantifizierung der Geschiebelieferung sind nur grobe Abschätzungen möglich.

Für die Gefahrenbeurteilung ist eine räumliche Differenzierung bezüglich der Geschiebelieferung von grossem Interesse, denn es ist durchaus möglich, dass nur relativ kleine Gebiete das Geschiebeaufkommen in einem Einzugsgebiet massgeblich steuern. Solche Gebiete müssen erkannt und in der Gefahrenbeurteilung berücksichtigt werden. Deshalb sind generelle Abschätzverfahren, wie z.B. die von Zeller (1985) vorgeschlagene Formel für die Berechnung der Geschiebelieferung, für eine differenzierte Ausscheidung der geschieberelevanten Fläche nicht geeignet.

Das Verfahren für die GIS-unterstützte Ausscheidung der geschieberelevanten Fläche wurde neu entwickelt (Abb. 8.5). Die Geschiebeproduktion und die Geschiebelieferung werden dabei in einem Arbeitsschritt behandelt. Basis für die Ausscheidung der geschieberelevanten Fläche bildet das Gerinne- und Runsennetz. Wie Zimmermann (1989) gezeigt hat, dienen die Runsen als Schuttsammler. Sie sind für den Geschiebehaushalt von grosser Wichtigkeit, denn durch Runsen können grosse Flächen erschlossen werden, was zu einer bedeutenden Zunahme der geschieberelevanten Fläche führen kann.

Über eine Reliefanalyse und die Auswertung der Bodenbedeckung und – soweit vorhanden – der geologischen Informationen werden diejenigen Flächen ausgeschieden, die Material in eine Runse oder in ein Gerinne liefern können. Bei der Ausscheidung der Geschiebeherde werden drei Typen unterschieden:

- Sturzquellen;
- Rutschflächen, die an ein Gerinne anschliessen;
- Steile Bacheinhänge im Lockermaterial.

Bei den Sturzquellen sowie bei flach- und mittelgründigen Rutschflächen handelt es sich um Jungschuttherde. Tiefgründige Rutschungen sind eher als Altschuttherde zu betrachten. Steile Bacheinhänge können sowohl im Jungschutt wie im Altschutt liegen. Sind beidseits eines Gerinnes grossflächig offene Schuttflächen vorhanden, handelt es sich mit grosser Wahrscheinlichkeit um einen Altschuttherd.

Die Bedeutung der verschiedenen Geschiebequellen für die Geschiebelieferung ist unterschiedlich. Aus steilen, offenen Bacheinhängen gelangt mehr Material in ein Gerinne als von einer kompakten Felswand. Deshalb muss die geschieberelevante Fläche bezüglich der Geschiebeproduktion, bzw. -lieferung charakterisiert werden. Bei der Quantifizierung der Geschiebelieferung aus einzelnen Geschiebequellen kommt man jedoch nach wie vor nicht über grobe Abschätzungen hinaus. Deshalb wird im neu entwickelten Verfahren nur eine relative Gewichtung der Geschiebeherde vorgenommen. Dieses Verfahren liefert für ein Wildbacheinzugsgebiet eine räumliche Differenzierung bezüglich der Geschieberelevanz.

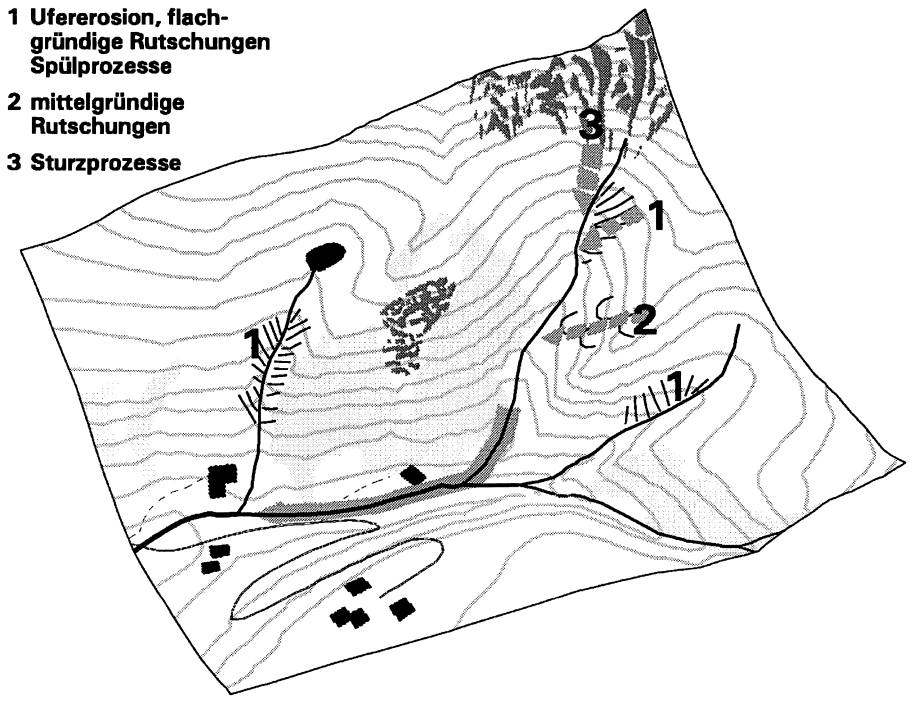


Abb. 8.5 Geschiebeliefernde Prozesse (Typen)

Methodische Hinweise:

Die Ausscheidung von Runsen und Gerinnen erfolgt auf der Basis des digitalen Höhenmodells und daraus abgeleiteten Reliefparametern. Ansatzpunkte von Runsen werden aufgrund der akkumulierten Einzugsgebietsfläche (> 0.25 ha) und der Wölbung in der Ebene (Kriterium hängt von Berechnungsverfahren ab) ermittelt. Von diesen Punkten aus wird die Fliessrichtung verfolgt. So entsteht ein sehr detailliertes Netz von Runsen und Gerinnen. Darunter befinden sich jedoch auch sehr schwach ausgebildete Runsen. Diese können mit einem Filter, der die Wölbung prüft, eliminiert werden. Die Elimination erfolgt aber nur für Runsen mit der Flussordnungszahl 1 (vgl. Strahler 1957). Die Flussordnungszahl kann im GIS berechnet werden. Teilweise entsprechen die so ermittelten Runsen zwar nicht genau dem Kurvenbild der Landeskarte 1:25'000. Der generelle Charakter (starke/schwache Zerfurchung) eines Hangbereiches wird aber in den meisten Fällen gut wiedergegeben.

In einem weiteren Schritt werden die Flächen, die Geschiebe in die Runsen und Gerinne liefern, ermittelt. Dabei werden drei Typen von Geschiebequellen unterschieden, die je mit einem eigenen Verfahren ausgeschieden werden:

- *Die gerinnenahen Bereiche, von denen Material über Ufererosion, flachgründige Rutschungen und Spülprozesse in die Gerinne gelangen, werden aufgrund der Hangneigung ausgeschieden. Ausgehend von den ausgeschiedenen Gerinnen und Runsen wird geprüft, ob die Hangneigung der unmittelbar anschliessenden Rasterzellen über dem definierten Grenzwert liegt. Dieses Verfahren wird iterativ fortgesetzt bis die Hangneigung unter den Grenzwert sinkt oder eine maximale Distanz, die vorher festgelegt wurde, überschritten wird. Der Hangneigungsgrenzwert kann dabei von Flächencharakteristika abhängig gemacht werden. In den durchgeführten Simulationen wurde beispielsweise für die Gefahrenhinweiskarte des Kantons Bern der Grenzwert für offene Schuttflächen und Flächen mit Rutschungshinweisen (Schraffen in der Landeskarte*

1:25'000) auf 20° festgelegt, für vegetationsbedeckte Flächen auf 30°. Wenn entsprechende Grundlagen zur Verfügung stehen, können die Grenzwerte auch aufgrund der geologischen Eigenschaften definiert werden. Die maximale Distanz vom Gerinne wurde auf 250 m festgelegt.

- *Die für die Geschiebelieferung relevanten Rutschgebiete werden wenn möglich aus einer speziellen Rutschsimulation (vgl. Kap. 8.3) oder aus einer Luftbildkartierung übernommen. Stehen solche Grundlagen nicht zur Verfügung, muss eine grobe Ausscheidung aufgrund der Hangneigung und der geologischen Eigenschaften erfolgen. Stehen keine digitalen geologischen Grundlagen zur Verfügung, ist jedoch eine solche Ausscheidung nicht möglich. Geschieberelevant sind Rutschflächen wiederum nur bis zu einer bestimmten Distanz, die auf 250 m festgelegt wurde.*

- *Die Ausscheidung der geschieberelevanten Sturzquellen erfolgt mit einem einfachen Pauschalgefälle-Ansatz. Felsflächen, die steiler als 34° sind und deren Pauschalgefälle zum nächsten Gerinne oder zur nächsten Runse mehr als 32° beträgt, werden als geschieberelevant ausgeschieden. Für die Berechnung des Pauschalgefälles werden, ausgehend von den Gerinnen und Runsen, die Höhendifferenzen und die Distanzen zwischen der Rasterzellen aufsummiert und anschliessend dividiert. So erhält man den Tangens der Hangneigung, der dann mit dem Grenzwert verglichen werden kann. Als maximale Distanz für die Geschieberelevanz wurden 1'000 m festgelegt.*

Im nächsten Schritt muss die Differenzierung der Geschiebequellen bezüglich der Geschiebelieferung erfolgen. In den bisherigen Arbeiten wurde folgende Gewichtung vorgenommen:

- *Die offenen Bacheinhänge oder Bacheinhänge mit Schraffen erhalten das Gewicht 1.0;*

- *Vegetationsbedeckte Bacheinhänge erhalten das Gewicht 0.2;*

- *Rutschungen erhalten das Gewicht 0.5.*

- *Für Sturzquellen erfolgt eine weitere Differenzierung. Da hier Frostwechselprozesse eine wichtige Rolle spielen, werden bei der Gewichtung Höhenlage und Exposition berücksichtigt. Flächen in der periglazialen Zone (verwendeter Schwellenwert: 2500 m ü.M.) mit Exposition Südost bis Südwest erhalten das Gewicht 0.7, die übrigen Felsflächen in der Periglazialzone das Gewicht 0.5. Unterhalb der Periglazialzone werden die Gewichte 0.5 (Südsektor) und 0.3 vergeben. Auch hier wäre die Berücksichtigung der geologischen Eigenschaften von grosser Bedeutung, denn kompakte Granitwände liefern deutlich weniger Material als Kalkschieferflanken.*

Für jedes Runsen- und Gerinnepixel wird anschliessend die gewichtete geschieberelevante Fläche, die oberhalb liegt, aufsummiert. Dazu kommt das Verfahren zur Anwendung, das auch zur Bestimmung der Einzugsgebietsgrösse dient. Der so ermittelte Wert entspricht einer qualitativen Bewertung des Geschiebepotentials. Das Geschiebepotential ist eine wichtige Grösse bei der Abschätzung der Ereignisgrösse und bei der Ausscheidung von Murganganrissgebieten.

Bei den hier verwendeten Grenzwerten und Gewichten handelt es sich um erste Vorschläge. Sie können lokalen Gegebenheiten angepasst werden. Die Werte sollten in weiteren Untersuchungen mit Feldaufnahmen zur Geschiebeproduktion und Geschiebelieferung verifiziert werden. Insbesondere wäre ein Vergleich der gewichteten geschieberelevanten Fläche mit Geschiebelieferungsraten interessant.

Gerinneprozesse

Die Unterscheidung von murfähigen und nicht murfähigen Gerinnen ist ein zentraler Punkt in der Beurteilung von Wildbacheinzugsgebieten.

Ein Kernpunkt der Gefahrenbeurteilung in Wildbacheinzugsgebieten stellt die Klärung der Frage dar, mit welchen Gerinneprozessen gerechnet werden muss. Falls Murgänge auftreten können, ist mit bedeutend grösseren Geschiebeumsätzen zu rechnen als wenn nur geschiebeführende Hochwasser möglich sind. Strunk (1988: 164) beschreibt dies beispielsweise folgendermassen: «Andererseits können es gerade jene sehr starken episodischen Ereignisse (Murgänge) sein, die aufgrund ihrer hohen Intensität in wenigen Stunden mehr bewegen als Jahrzehnte oder gar Jahrhunderte kontinuierlicher oder auch periodischer geomorphologischer Aktivität.» Für die Entstehung von Murgängen in Gerinnen müssen verschiedene Bedingungen erfüllt sein. Die wichtigsten Parameter sind die Gerinneneigung, das Geschiebepotential und der Abfluss. Untersuchungen im Rahmen der Ursachenanalyse Hochwasser 1987 (BWW 1991) und neue Untersuchungen im Rahmen des NFP31 (Zimmermann et al. 1997) haben gezeigt, dass zwischen der Gerinneneigung und der Einzugsgebietsgrösse oberhalb des Anrisses eine Beziehung besteht. Je kleiner das Einzugsgebiet (und damit tendenziell auch der Abfluss) umso steiler muss ein Gerinneabschnitt sein, damit Murgänge entstehen können (Abb. 8.6). Gerinneabschnitte, die diese Bedingungen erfüllen, werden als potentielle Murganganrissgebiete ausgeschieden.

Soweit möglich sollten die so ermittelten Murganganrissgebiete mit bekannten Ereignissen, z.B. aus dem Ereigniskataster, verglichen werden. Nicht berücksichtigt bei dieser Ausscheidung sind Murganganrissgebiete in Schutthalden oder Murgänge, die aus Rutschungen entstehen. Die Methodik für die Ausscheidung dieser Anrissgebiete wurde im Rahmen des NFP31 entwickelt (Zimmermann et al. 1997).

Werden aufgrund der Grenzwerte keine Murganganrissgebiete ausgeschieden, muss, vorausgesetzt ein minimales Geschiebepotential ist vorhanden, mit geschiebeführenden Hochwassern gerechnet werden.

Methodische Hinweise:

Bei der Ausscheidung von potentiellen Murganganrissgebieten in Gerinnen muss beachtet werden, dass die Gerinneneigung nicht unbedingt der mit den gängigen GIS-Routinen berechneten Hangneigung entspricht. In Fällen, wo steile Bacheinhänge das Gerinne begrenzen, kann die Neigung überschätzt werden. Deshalb sollte die Gerinneneigung entlang der ausgeschiedenen Runsen und Gerinne ermittelt werden, indem Δ h und Δ l zwischen den Gerinnepixeln berechnet werden. Meistens ist es von Vorteil, für die so ermittelten Gerinneneigungen ein gleitendes Mittel über 3 - 5 Pixel zu rechnen.

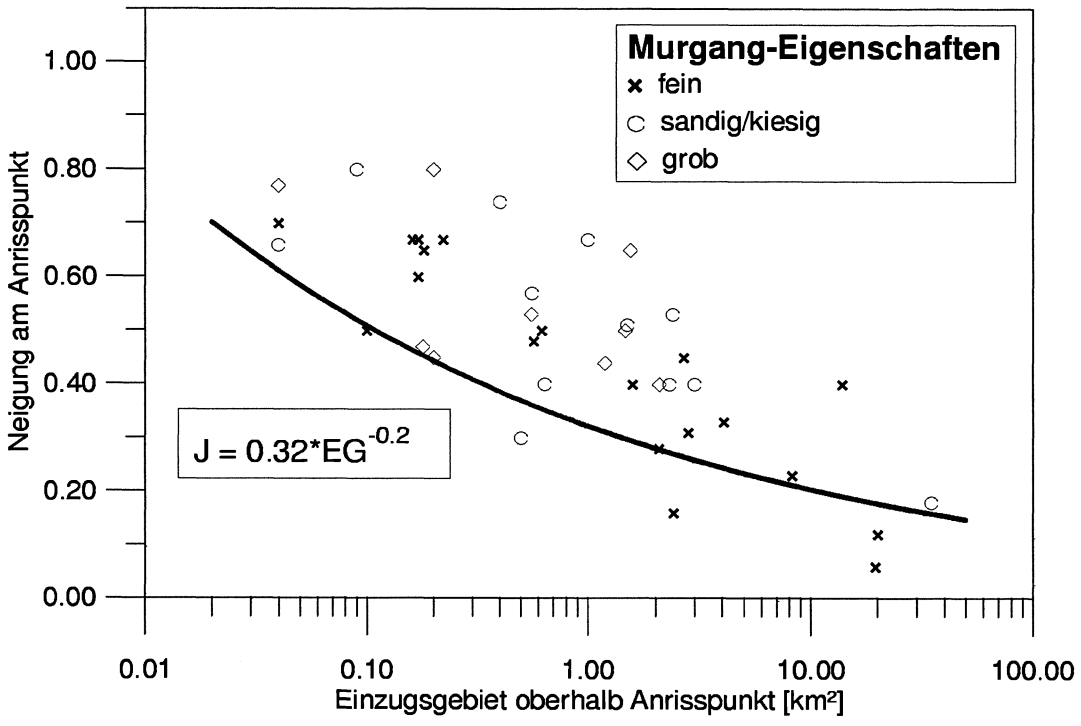


Abb. 8.6 Gerinneneigung und Einzugsgebietsgrösse von bekannten Murganganrissen.

Nach heutiger Kenntnis können Murgänge in Gerinnen bei Neigungen zwischen 20 und 80 % anreissen. Die Grenzneigung für das Auftreten von Murgängen in Gerinnen kann nach folgender Formel berechnet werden:

$$J = 0.32\ a^{-0.2} \qquad [8.2]$$

mit J [%] als Grenzgefälle und a als Einzugsgebietsgrösse in km². Der so ermittelte Wert muss in folgenden Fällen angepasst werden:

- *In Gerinnen mit einem geringen Feinmaterialanteil beträgt das minimale Grenzgefälle 27 %, vorausgesetzt, der notwendige Abfluss ist vorhanden.*

- *In Gebieten mit einer hohen Durchlässigkeit (z.B. Karst oder versackte Gebiete) muss die minimale Einzugsgebietsgrösse bedeutend höher sein. Das hydrologische Verhalten solcher Gebiete ist sehr komplex. Deshalb können für diesen Fall keine Vorgaben gemacht werden.*

Da keine absoluten Werte für das Geschiebepotential bestimmt werden, wird die gewichtete geschieberelevante Fläche als Indikator verwendet. Beträgt diese mehr als 1 ha, wird davon ausgegangen, dass genügend Geschiebe für die Entstehung eines Murganges vorhanden ist. Dieser Wert sollte an weiteren Ereignissen verifiziert werden.

Ausscheidung der Wirkungsbereiche

Die Wirkungsbereiche von Wildbachprozessen umfassen einerseits das Gerinne selbst, andererseits Ausbreitungsgebiete in Talböden und auf Kegeln. Für die Ausscheidung der Wirkungsbereiche müssen die Reichweite der Prozesse und mögliche Ausbruchstellen bestimmt werden.

Nach der Bestimmung der Prozessart müssen die Wirkungsbereiche der Gerinneprozesse abgeschätzt werden. Die Kenntnis über die Reichweite der Prozesse ist dabei entscheidend. Die Reichweite einer Masse bzw. eines Massenpunktes kann mit einem Pauschalgefälle ausgedrückt werden. Der Pauschalgefälle-Ansatz wird für verschiedene schnelle Massenbewegungen verwendet. Beispielsweise kann die Reichweite von Bergstürzen auf diesem Weg abgeschätzt werden, wobei das Pauschalgefälle vom Volumen abhängig ist. Bei Murgängen wurde eine Abhängigkeit von der Einzugsgebietsgrösse gefunden. Dieser Zusammenhang wurde in der Ursachenanalyse Hochwasser 1987 nachgewiesen (BWW 1991) und wurde in weiteren Untersuchungen bestätigt (Zimmermann et al. 1997). Dies dürfte in erster Näherung mit dem unterschiedlichen Wassergehalt von Murgängen in Zusammenhang stehen.

Im Rahmen des NFP31 wurde ein weiteres Murgang-Simulationsmodell entwickelt. Dieses basiert auf einem 2-Parameter-Ansatz, der auch bei der Ermittlung von Reichweiten von Lawinen eingesetzt wird (Zimmermann et al. 1997).

Reichweitenabschätzungen bei geschiebeführenden Hochwassern mittels einer Reliefanalyse sind nur bedingt möglich. Im allgemeinen ist eine Reichweite bis zum nächsten grösseren Vorfluter in Betracht zu ziehen.

Neben dem Gerinne sind auch potentielle Ausbreitungsgebiete in Talböden und auf Kegeln als Wirkungsbereiche zu bezeichnen. Dazu sind als erstes mögliche Ausbruchstellen zu bezeichnen. Diese Ausscheidung erfolgt aufgrund des digitalen Höhenmodells mit Hilfe des «Multipleflowdirection-Ansatzes» (vgl. unten). Nach dem gleichen Ansatz wird auch die weitere Ausbreitung ermittelt. Bei den so ermittelten Flächen handelt es sich um potentielle Ausbreitungsgebiete, potentiell aus folgenden Gründen:

- Im digitalen Höhenmodell werden wichtige Reliefeigenschaften wie zum Beispiel Gerinnetiefe oder Dämme nicht oder nicht genügend detailliert dargestellt.
- Bei der Ausscheidung der Ausbreitungsflächen ist keine Materialbilanzierung möglich. Die Murgangausbreitung oder die Ablagerung von Geschiebe brauchen deshalb nicht die ganze ausgeschiedene Fläche zu beanspruchen.

Beide Einschränkungen führen dazu, dass tendenziell zu grosse Ausbreitungsgebiete ausgeschieden werden.

Methodische Hinweise:

Das Verfahren für die Reichweiten-Abschätzung von Murgängen ist folgendermassen aufgebaut:

Für jedes Gerinnepixel muss das Grenzgefälle ermittelt werden. Dies kann nach folgender Formel berechnet werden:

$$f_p = 0.20\ a^{-0.26} \qquad [8.3]$$

mit dem Grenzgefälle f_p und der Einzugsgebietsfläche a [km²]. Ausgehend von jedem Startpixel werden die Länge und die Höhendifferenzen entlang der Fliessrichtung aufsummiert und daraus der Tangens des Gefälles ermittelt. Dieser Wert wird in jedem Pixel mit dem Grenzgefälle verglichen (Abb. 8.7). Wird das Grenzgefälle unterschritten, stoppt der Murgang. In einigen Fällen vermag das Pauschalgefälle den Prozess jedoch nicht richtig abzubilden. Zwei Fälle sind von besonderer Bedeutung:

1. *Bei abrupten Gefällsreduktionen, z.B. unterhalb einer Felsstufe, verliert ein Murgang sehr viel Energie, wodurch die Reichweite reduziert wird. Für diese Korrektur kann der Ansatz von Perla et al. (1980) verwendet werden. Dazu muss aber aus den aufsummierten Höhen und Längen die Geschwindigkeit ermittelt werden. Die Korrektur der Geschwindigkeit errechnet sich dann nach der Formel:*

$$v_{i+1} = v_i \cos(\beta_i - \beta_{i+1}) \qquad [8.4]$$

mit v: *Geschwindigkeit [m/s]*
i: *Abschnitt- bzw. Pixel-Inkrement*
β_i: *Gerinneneigung [°]*

Für die Bestimmung der Winkel werden jeweils 3 Pixel oberhalb und 3 Pixel unterhalb des aktuellen Pixels berücksichtigt. Die Geschwindigkeitsdifferenz wird als Reduktion der Höhe in die weiteren Berechnungen übernommen.

2. *Bei der Einmündung in einen grösseren Vorfluter kann ein Murgang viel Energie verlieren. Zwei Gründe können dafür verantwortlich sein:*

   - *Eine bedeutend grössere Wassermenge kann zu einer Störung der Murgangdynamik führen. Die Materialverlagerung erfolgt dann nur noch als fluvialer Geschiebetrieb.*

   - *Im Falle einer abrupten Richtungsänderung bei der Einmündung in einen Vorfluter verliert ein Murgang ebenfalls viel Energie.*

   Durch einen Vergleich der akkumulierten Einzugsgebietsgrösse des aktuellen und des Nachfolgepixels kann der erste Fall ermittelt werden. Wenn der Quotient zwischen den beiden Einzugsgebietsgrössen einen vorgegebenen Grenzwert überschreitet, wird der Murgang im entwickelten Modell gestoppt. Ebenfalls zu einem Stop kommt es, wenn der Einmündungswinkel in einen Vorfluter ≥ 90° ist. Für die Ermittlung des Einmündungswinkel werden die Fliessrichtungen von 5 Pixeln oberhalb und unterhalb des aktuellen Pixels verglichen. In beiden Fällen kommt es nicht zu einem Stop, wenn der Gerinneabschnitt die Bedingungen als Murganganrissgebiet erfüllt.

3. *Bei längeren Flachstrecken kommen Murgänge ebenfalls zum Stillstand. Deshalb wird im Modell ein Murgang gestoppt, wenn das Gefälle von 5 Pixeln 3° unterschreitet.*

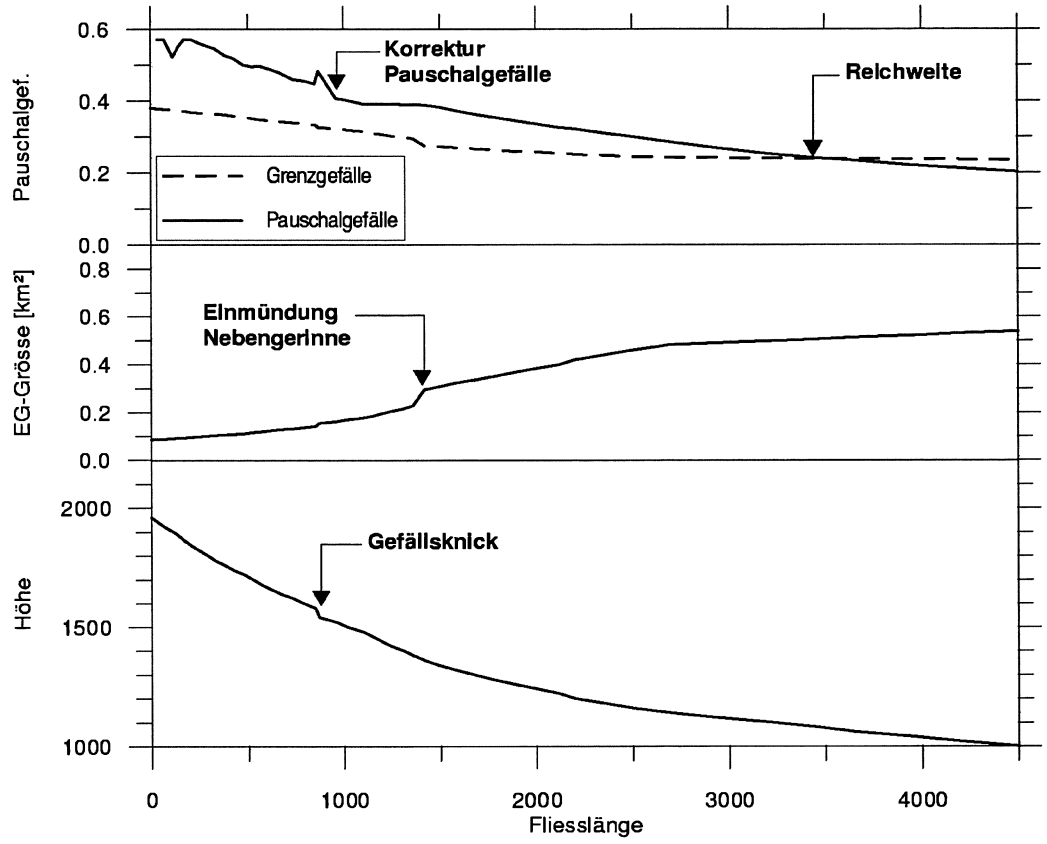


Abb. 8.7 Konzept des Pauschalgefälle-Modells

Mögliche Ausbruchstellen in Gerinnen werden mit Hilfe der Multipleflow-Direction ermittelt. In der digitalen Reliefanalyse kommt der Bestimmung der Fliessrichtung im Hang grosse Bedeutung zu. Normalerweise wird dabei die Singleflow-Direction verwendet. Jedes Pixel hat nur einen Nachfolger, nämlich das Pixel mit dem höchsten Gradienten. Dies hat zur Folge, dass keine Ausbreitungsprozesse abgebildet werden können. Um dies zu erreichen, müssen mehrere Pixel als Nachfolger bezeichnet werden können, im Extremfall jedes, das tiefer liegt als das Ausgangspixel. Mit dem Multipleflow-Direction-Ansatz besteht die Möglichkeit, die Simulation des Ausbreitungsverhaltens zu steuern. Zum einen wird festgelegt, ab welcher Hangneigung eine Ausbreitung überhaupt möglich ist, bei hohen Gradienten dominiert normalerweise eine Fliessrichtung, zum andern wird die Stärke der Ausbreitung bestimmt.

$$N_i = \begin{cases} 1 \; wenn \; \dfrac{\tan(\beta_i)}{\tan(\beta')} \geq \left(\dfrac{\tan(\beta_{max})}{\tan(\beta')} \right)^a \\ 0 \; wenn \; \dfrac{\tan(\beta_i)}{\tan(\beta')} < \left(\dfrac{\tan(\beta_{max})}{\tan(\beta')} \right)^a \end{cases} \qquad [8.5]$$

mit N_i: *Nachfolger*
β_i: *Neigung zum Nachbarpixel i [°]*
β': *Grenzgefälle für den Beginn der Ausbreitung [°]*
β_{max}: *maximales Gefälle zu einem Nachbarpixel [°]*
a: Exponent für die Ausbreitung

Für die Murgangausbreitung werden folgende Ausbreitungsparameter verwendet: Grenzgefälle 20°, Ausbreitungs-Exponent 1.5. Gerinneabschnitte, die mehr als eine Fliessrichtung aufweisen und deren Einzugsgebiet grösser 10 ha ist, werden als mögliche Ausbruchstellen ausgeschieden. Wenn nur fluvialer Geschiebetrieb möglich ist, muss das Grenzgefälle reduziert werden. Anschliessend werden in einem iterativen Verfahren die Ausbreitungsgebiete ausgeschieden (vgl. Abb. 8.8). Die Ausbreitung wird abgebrochen, wenn das Gefälle unter 5° fällt oder wenn ein See erreicht wird. Ausserdem kann über eine maximale Anzahl Iterationen eine maximale Auslaufdistanz festgelegt werden.

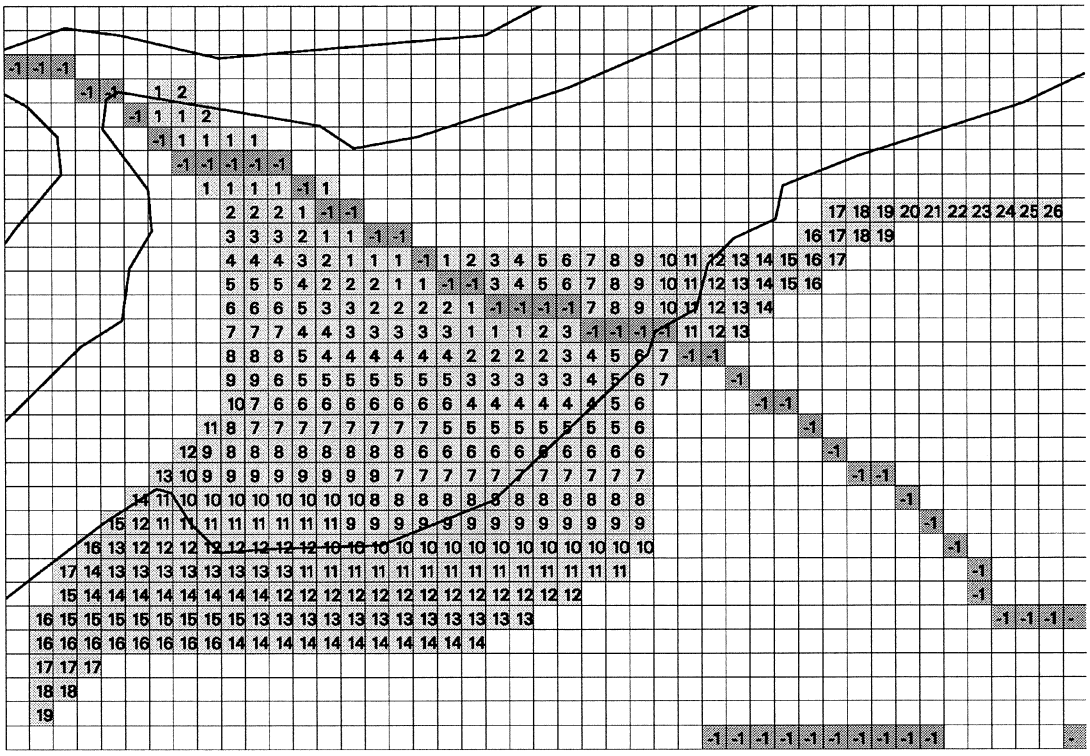


Abb. 8.8 Simulation der Ausbreitung auf einem Kegel. Die Zahlen in den Zellen stehen für die Anzahl der Iterationen. Gerinnepixel haben den Wert -1.

Je nach Fragestellung kann es notwendig sein, dass Murgangtrajektorien bezeichnet werden, die für ein Schadenpotential relevant sind. Dazu müssen für jedes Startpixel zwei Simulationsläufe durchgeführt werden. Im ersten Durchgang wird geprüft, wie manches Schadenpotential-Pixel getroffen wurde. Ist diese Zahl grösser 0 wird die Trajektorie nochmals bis zum letzten potentiellen Schadenobjekt verfolgt und mit einem entsprechenden Code versehen (Abb. 8.9). Es ist auch möglich, dass verschiedene Schadenpotential-Klassen unterschieden werden. In diesem Fall empfiehlt sich eine binäre Codierung der Schadenpotential-Klassen (2, 4, 8, 16, ...: vgl. Kap. 6.4).

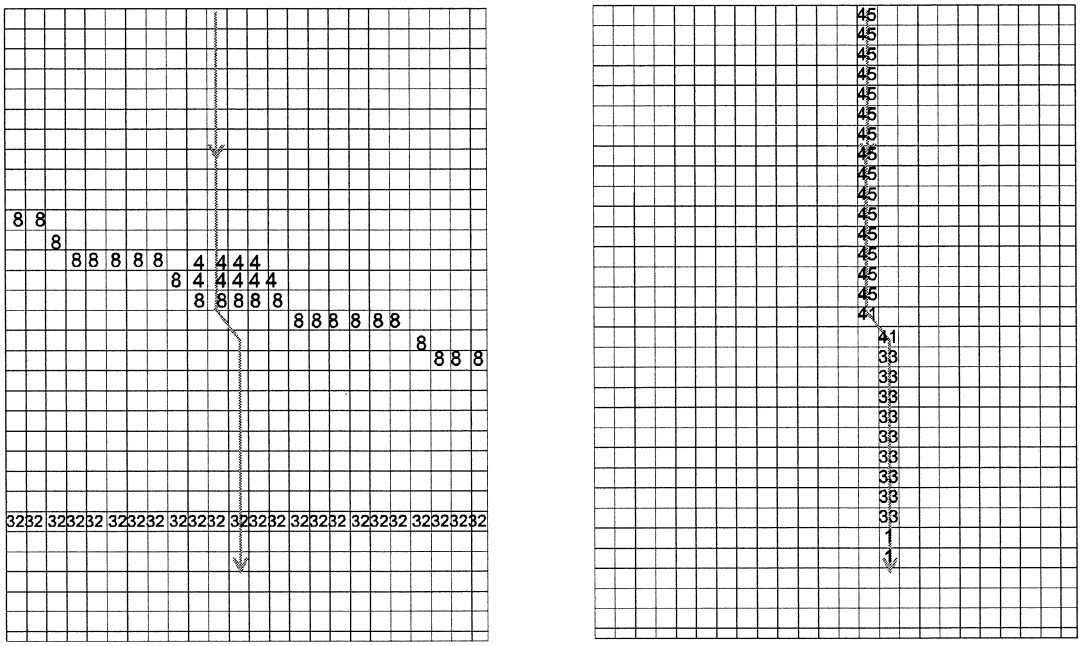


Abb. 8.9 Verfahren für die Ausscheidung der Schadenpotentials-Klassen

8.1.3.2 Beurteilung auf Einzugsgebietsstufe

Auf der Einzugsgebietsstufe erfolgt eine grobe Quantifizierung bezüglich Ereignisgrösse und Ereignishäufigkeit der Wildbachprozesse. Quantitative Angaben bilden eine wichtige Grundlage für die Prioritätenplanung, z.B. bei der Festlegung von Gebieten, in welchen eine detailliertere Gefahrenabklärung notwendig ist oder auch für eine erste Evaluation von möglichen Massnahmen. Auf der Richtplanebene bedeutet Quantifizierung die Angabe von Grössenordnungen. Detaillierte Aussagen zur Ereignisgrösse und zur Ereignishäufigkeit sind bei einer Überblicksbeurteilung nicht möglich.

Beim Feststoff interessieren vor allem Angaben zum gesamten in einem Ereignis umgesetzten Volumen, d.h. zur Ereignisfracht. Beim Abfluss interessiert demgegenüber der zu erwartende Spitzenabfluss.

Abschätzung der Feststofffracht

Die bei einem grösseren Ereignis zu erwartende Feststofffracht ist in den meisten Fällen die für die Beurteilung von Wildbacheinzugsgebieten entscheidende Grösse. Die Abschätzung der Feststofffracht erfolgt über eine Charakterisierung der Einzugsgebiete bezüglich des Geschiebepotentials, der Retentionsräume, der relevanten Gerinneprozesse und der Lithologie. Die Ereignishäufigkeit wird aufgrund der Art der Geschiebeherde und der Lithologie abgeschätzt.

Bei der Abschätzung von Feststofffrachten handelt es sich um ein recht schwieriges Unterfangen. Kennwerte und einfache Abschätzverfahren fehlen weitgehend. Gründe dafür sind das verhältnismässig seltene Auftreten von Geschiebeereignissen, die Schwierigkeiten bei der Beobachtung und der Datenerhebung sowie der nichtlineare Zusammenhang zwischen Abfluss und Geschiebetransport.

Das entwickelte Verfahren orientiert sich an den Empfehlungen zur Abschätzung von Feststofffrachten in Wildbächen (Spreafico et al. 1996) und zwar am Vorschlag für eine erste grobe Abschätzung der Feststofffrachten. Die für die Abschätzung notwendigen Parameter können aus den Simulationsresultaten, die unter Kapitel 8.1.3.1 beschrieben wurden, abgeleitet werden. Folgende Parameter werden für die Abschätzung der Ereignisgrösse verwendet (vgl. Abb. 8.10):

1. *Relevanter Gerinneprozess:* Aufgrund der Simulation der Gerinneprozesse muss geprüft werden, ob am interessierenden Punkt Murgänge möglich sind oder nicht. (Entspricht «Wildbachtyp bezüglich Verlagerungsprozess» im Verfahren nach Spreafico et al. 1996);
2. *Geschiebepotential:* Die innerhalb der Einzugsgebiete ermittelte gewichtete geschieberelevante Fläche wird klassiert. (Entspricht den beiden Parametern «Geschiebeherde im Gerinnebereich» und «längere Felsstrecken» im Verfahren nach Spreafico et al. 1996);
3. *Retentionsräume:* Die ausgeschiedenen Ausbreitungsgebiete entlang der Gerinne werden aufsummiert und dem Geschiebepotential gegenübergestellt. (Entspricht Parameter «Grössere Retentionsmöglichkeiten für Feststoffe» im Verfahren nach Spreafico et al. 1996).

Die Kombination dieser drei Parameter liefert analog dem genannten Verfahren eine qualitative Angabe zur voraussichtlichen spezifischen Feststofffracht [Volumen/km^2]. Aus diesen qualitativen Werten wird unter Einbezug einer lithologischen Klassifikation eine grobe Quantifizierung der spezifischen Feststofffracht vorgenommen. Dazu werden die in Tabelle 8.1 zusammengestellten, auf umfangreichen Erhebungen basierenden Werte verwendet.

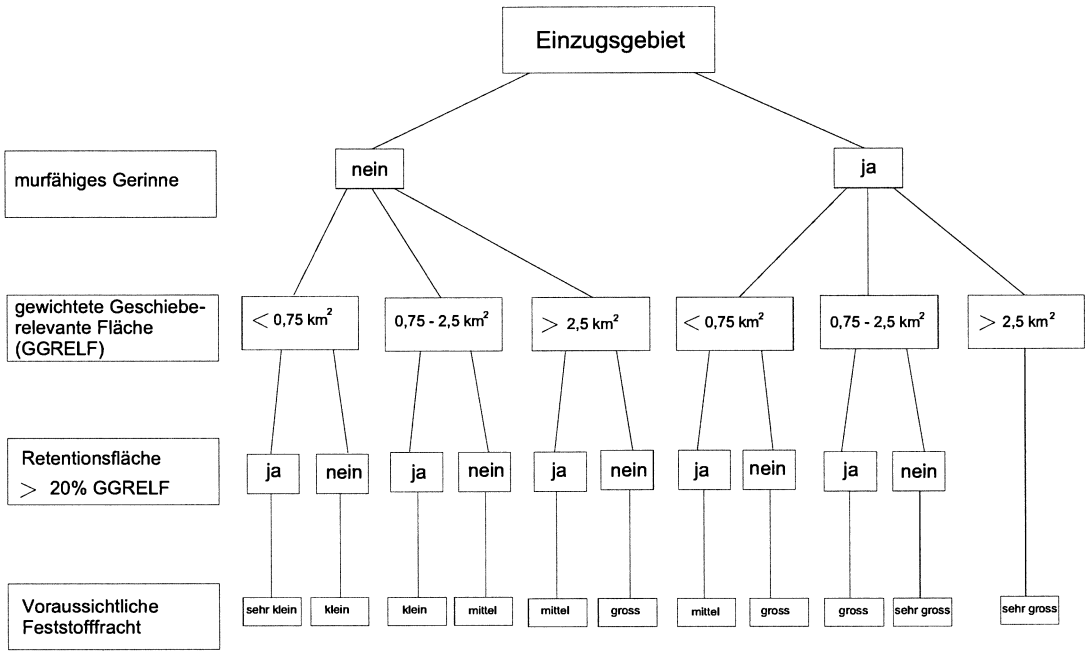


Abb. 8.10 Kombination der Parameter für die Abschätzung der spezifischen Feststofffracht

Spez. Fracht	*Molasse*	*Flysch*	*Kalk*	*Kristallin*
m^3 / km^2	10 km^2 - 1 km^2		10 km^2 - 1 km^2	10 km^2 - 1 km^2
sehr klein	20 - 100	150	200 – 800	400 – 3000
klein	50 - 200	1500	500 – 1000	800 – 5000
mittel	150 - 500	5000	1000 - 5000	1500 – 15000
gross	500 - 1500	10000	2000 - 10000	3000 – 30000
sehr gross	(800 - 3000)	20000	3000 - 30000	8000 – 80000

Tab. 8.1 Spezifische Feststofffracht eines grösseren Wildbachereignisses in Abhängigkeit von der Geologie und der Einzugsgebietsgrösse (Spreafico et al. 1996)

Spreafico et al. (1996) kommentieren Tabelle 8.1 wie folgt: «In Molasse-, Kalk- und Kristallingebieten nimmt die spezifische Feststofffracht mit zunehmender Einzugsgebietsfläche ab. Aufgrund der zur Verfügung stehenden Daten gilt dies für Flyschgebiete nicht. Die Multiplikation des aus der Tabelle interpolierten Wertes mit der Einzugsgebietsfläche ergibt die Grössenordnung der möglichen Feststofffracht. «... Extrapolationen für Einzugsgebietsgrössen über 10 km^2 sind nur unter Vorbehalt durchzuführen. Unter eine Einzugsgebietsfläche von 1 km^2 sollte man nicht extrapolieren.»

Die Ereignishäufigkeit kann nur qualitativ abgeschätzt werden. Die Abschätzung erfolgt aufgrund der Art der Geschiebequellen und, sofern entsprechende Informationen vorliegen, der geologischen Eigenschaften.

In Jungschuttgebieten ist die Ereignishäufigkeit einerseits von der Geschiebeproduktion abhängig, andererseits von der der Art des Materials:

- Kristalline Gesteine und Kalke (massige Gesteine wie Granit, Gneis, Malmkalk, einige Kreidekalke) liefern grobkörniges, durchlässiges Material. Die Mobilisierbarkeit ist wegen den grossen Klasten und wegen dem weitgehenden Fehlen von Feinmaterial erschwert. Daraus resultieren eine verminderte Frequenz und generell grössere Ereignisse.
- Weiche, schiefrige Gesteine (Schiefer, Phyllite, Mergel, Sandsteine) liefern eher feinkörniges, weniger duchlässiges Material. Die Mobilisierbarkeit ist wegen dem Vorhandensein von Feinmaterial erhöht. Daraus resultiert eine erhöhte Frequenz.

In Altschuttgebieten und in Rutschungs- und Sackungsgebieten wird die Ereignishäufigkeit hauptsächlich über die Häufigkeit der auslösenden Ereignisse (Niederschlag, Schneeschmelze usw.) gesteuert.

Abschätzung des Abflusses

Die Abschätzung der Abflussspitze ist vor allem dann von Bedeutung, wenn nur geringe Feststofffrachten zu erwarten sind oder wenn aufgrund der Einzugsgebietsgrösse mit grösseren Hochwasserabflüssen zu rechnen ist.

Für die Abflussabschätzung stehen verschiedene Verfahren zur Verfügung, die alle detailliert beschrieben sind. Deshalb werden an dieser Stelle nur generelle Hinweise gegeben.

Neben den recht häufig eingesetzten groben Schätzverfahren (z.B. Kürsteiner-Formel, vgl. ASF 1974) wird das Laufzeitverfahren (Zeller 1974) und das von Kölla (1986) entwickelte Verfahren angewendet, wobei beim Kölla-Verfahren in Einzugsgebieten unter 2 km^2 Vorsicht geboten ist.

Für grössere Einzugsgebiete (10 - 200 km^2) kann das von Düster (1994) entwickelte Verfahren eingesetzt werden. Dieses statistische Verfahren hat den Vorteil, dass es neben dem Hochwasserabfluss einer bestimmten Jährlichkeit (HQ) auch eine Angabe zur Güte der Schätzung liefert. Dies erlaubt die Einführung von Korrekturwerten, mit denen die Ungenauigkeit der statistischen Schätzung bei der Festlegung des HQ berücksichtigt werden kann.

Sind in einem Einzugsgebiet Abflussmessungen von einigen Hochwasserereignissen vorhanden, kann allenfalls das TOPMODEL (Beven et al. 1995a) eingesetzt werden. Der Einsatz dieses Modells ermöglicht es, neben der reinen Hochwasserabschätzung auch Aussagen zur Abflussbildung zu machen. Dabei muss jedoch berücksichtigt werden, dass der Einsatz dieses Modells einen recht grossen Aufwand bedeutet, der in vielen Fällen nicht geleistet werden kann.

8.1.4 Grenzen des Verfahrens

Die GIS-gestützten Verfahren liefern eine begrenzte Aussagegenauigkeit. Die Unschärfen der verwendeten empirischen Modelle sind bei der Interpretation der Analyseresultate zu berücksichtigen. Es ist dringend davor zu warnen, solche Verfahren rezepthaft anzuwenden.

Es ist unmöglich, die volle Komplexität eines Wildbacheinzugsgebietes in einem schematischen Beurteilungsverfahren zu erfassen. Insbesondere auf der Richtplanebene können die Prozesse, die in einem Wildbacheinzugsgebiet ablaufen, nur stark vereinfacht abgebildet werden. Die Vereinfachungen wirken sich natürlich auch in der Aussagegenauigkeit des Verfahrens aus. Dies ist solange kein grundsätzliches Problem, als diese Punkte offengelegt werden und so in die Interpretation der Resultate einbezogen werden können. Bei der Interpretation der Resultate aus dem oben beschriebenen Beurteilungsverfahren sind folgende Punkte zu beachten:

- Die räumliche Aussagegenauigkeit ist beschränkt. Eine Interpretation darf sich keinesfalls auf einzelne Pixel (10 m) beziehen. Adäquat sind Aussagen im Bereich von 25 – 50 m (1 – 2 mm auf der LK 1:25'000). Besondere Probleme ergeben sich in den schwach reliefierten Ausbreitungsgebieten. Hier können schon Unebenheiten von einem Meter oder noch weniger den Prozessverlauf massgeblich beeinflussen. Solche Strukturen sind jedoch in der Landeskarte und damit auch im DHM25 nicht mehr abgebildet. Wenn in solchen Gebieten genauere Aussagen verlangt sind, bedingt dies Beurteilungen im Gelände.
- Auf der Überblicksstufe sind nur grobe Quantifizierungen möglich. Dies ist einerseits durch das Verfahren bedingt, andererseits liegt der Grund auch im mangelnden Prozessverständnis, das in verschiedenen Bereichen nach wie vor besteht. Dies gilt sowohl für den Abfluss als auch für den Geschiebehaushalt. Beim Abfluss sind immer noch viele Fragen bezüglich der Abflussbildung offen, die auch die Grösse von Abflussspitzen beeinflussen. Grosse Probleme bildet nach wie vor die Quantifizierung der Feststofffrachten. So ist das Erosionsverhalten von Murgängen noch weitgehend ungeklärt. Auch beim Geschiebetransport sind noch viele Fragen offen. Hier spielt vor allem die Nichtlinearität zwischen Abfluss und Geschiebetransport eine wichtige Rolle.

Neben diesen methodischen Einschränkungen gibt es auch Grenzen aufgrund fehlender oder ungeeigneter Grundlagendaten. Am entscheidensten ist in diesem Zusammenhang das Fehlen einer anwendungsorientierten geologischen Grundlage. Der Einbezug geeigneter geologischer Informationen bringt die bedeutendste Verbesserung in der Gefahrenbeurteilung in Wildbacheinzugsgebieten (Abb. 8.11). Die geologischen Verhältnisse steuern einerseits die Art der Prozesse, die in einem Wildbacheinzugsgebiet ablaufen, andererseits die Ereignisgrösse.

Verbesserungen könnten auch mit detaillierteren digitalen Höhenmodellen erreicht werden, vor allem wenn die DHM's nicht aus Höhenkurven abgeleitet werden, sondern direkt bei der Luftbildauswertung unter Einbezug von Bruchkanten erstellt werden. Dies wäre vor allem in wenig reliefierten Bereichen von Vorteil.

Von grösster Wichtigkeit ist es, dass die Simulationsresultate kritisch überprüft werden, bevor sie als Grundlage für die weiteren Planungsarbeiten verwendet werden. Ein umfassender Gefahrenkataster und ein Schutzmassnahmen-Kataster stellt in diesem Zusammenhang eine wichtige Grundlage dar.

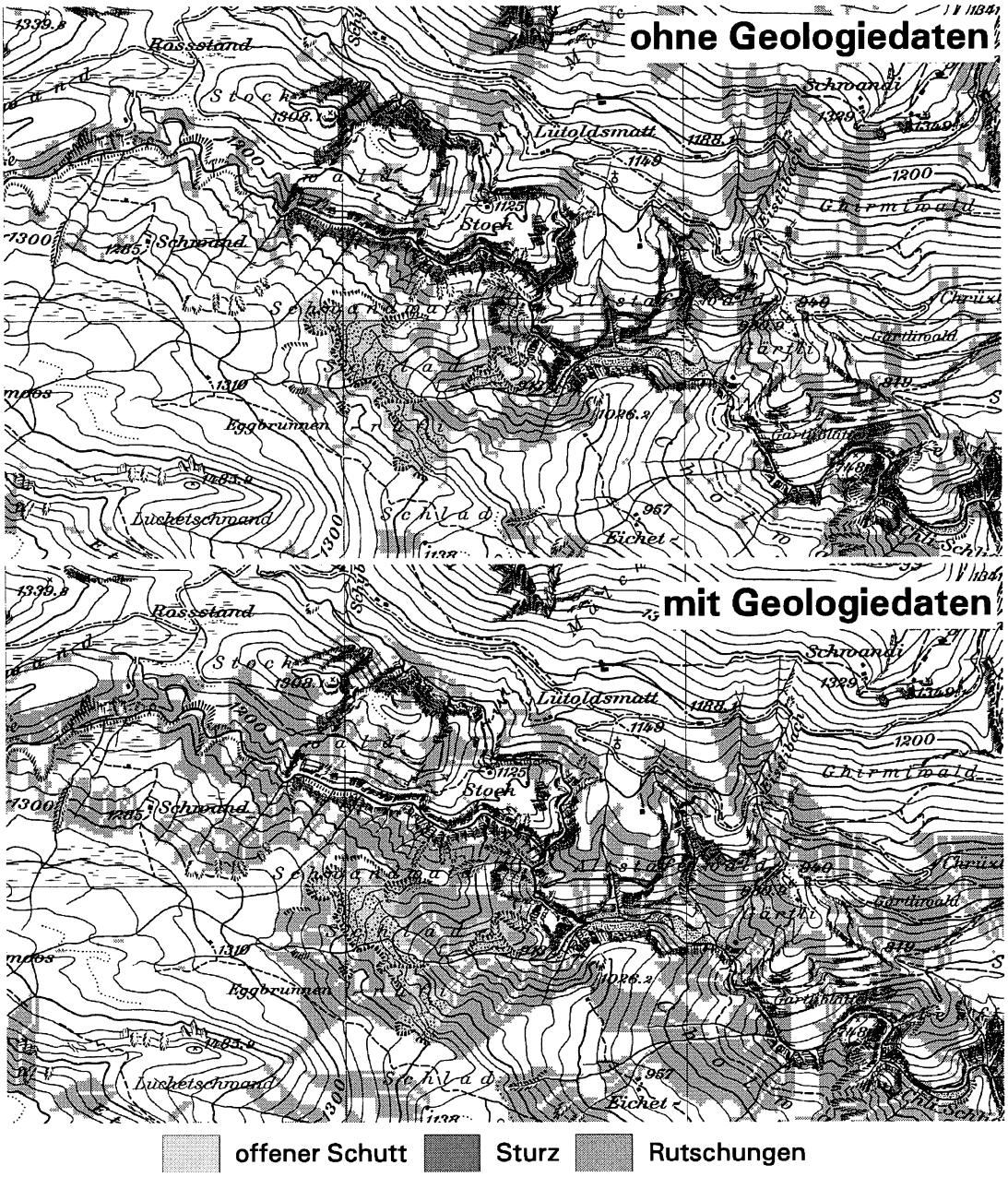


Abb. 8.11 Ausscheidung der geschieberelevanten Fläche mit und ohne Einbezug der geologischen Situation (Kartengrundlage: Reproduziert mit Bewilligung des Bundesamtes für Landestopographie vom 22.12.97).

8.1.5 Aufwand und Ertrag

Das Ziel des entwickelten GIS-basierten Verfahrens ist es, eine kostengünstige und nachvollziehbare Beurteilung der Wildbachgefahr in grösseren Raumeinheiten zu ermöglichen. Solche Beurteilungen waren bisher immer mit einem bedeutenden zeitlichen und finanziellen Aufwand verbunden.

Im Rahmen verschiedener Pilotprojekte konnten Erfahrungswerte für den Aufwand ermittelt werden, mit dem für eine GIS-basierte Beurteilung von Wildbacheinzugsgebieten zu rechnen ist. Neben dem Aufwand müssen auch die nützlichen Nebenprodukte, die bei einem solchen Verfahren anfallen, mitberücksichtigt werden. Als Bezugsgrösse für diese Kostenberechnung wird die Fläche des Kantons Bern verwendet. Die Angaben zu den Hauptarbeitsschritten sind in Tabelle 8.2 zusammengestellt. Die Zahlen zeigen, dass der grösste Aufwand in der Datenaufbereitung liegt. Sind die Daten einmal in einer geeigneten Form verfügbar, können die Simulationsarbeiten mit relativ geringem Aufwand durchgeführt werden. In diesem Zusammenhang ist zu beachten, dass in Zukunft vermehrt geeignete Datengrundlagen zur Verfügung stehen werden. So arbeitet das Bundesamt für Landestopographie zur Zeit an einem Vektordatensatz, der alle Informationen der Landeskarte 1:25'000 enthält (VECTOR25). Sind diese Daten einmal verfügbar, entfallen die Aufwendungen für die Ausscheidung der Oberflächencharakteristik.

Im weiteren soll in Zukunft ein detaillierteres digitales Höhenmodell für die Schweiz erstellt werden. Dieses Produkt wird von der Firma Swissphoto+Vermessungen AG entwickelt. Erste Tests haben jedoch gezeigt, dass dieses DHM für die Prozess-Simulation nicht geeignet ist, da das eingesetzte automatische Verfahren die Oberfläche abtastet und damit z.B. bei Waldflächen nicht das Niveau des Bodens, sondern die Höhe der Baumwipfel wiedergibt.

Arbeitsschritt	*Aufwand*	
Aufbereitung Digitales Höhenmodell	Fr.	3'500.--
Ableitung Bodenbedeckungsdaten aus Pixelkarte 1:25'000	Fr.	2'500.--
Modellierung	Fr.	3'000.--

Tab. 8.2 Aufwand für die GIS-basierte Beurteilung der Wildbachgefährdung ohne Kartographie-Aufwand (Bezugseinheit 1 Kartenblatt 1:25'000, Arbeits- und Informatikkosten Stand 1996)

Bei der GIS-basierten Beurteilung von Wildbacheinzugsgebieten entstehen «Nebenprodukte», die für verschiedenste Zwecke weiterverwendet werden können (Tab. 8.3). Das wichtigste Produkt stellt dabei das detaillierte digitale Höhenmodell dar, das auch für andere Anwendungen, forstlich und nicht-forstlich, verwendet werden kann. Daraus abgeleitete Reliefparameter wie Neigung und Exposition können in der forstlichen Planung oder in der Planung von Massnahmen wertvolle Dienste leisten. Hydrologische Daten weisen ebenfalls ein breites Spektrum von Einsatzmöglichkeiten auf. Das Gerinnenetz kann im Wasserbau gute Dienste leisten, da aus der Höhencodierung einfach die Gerinneneigung ermittelt werden kann. Der Topoindex kann Informationen bezüglich der Standortseigenschaften geben (Vernässungsgrad). Schlussendlich stellt die ausgeschiedene geschieberelevante Fläche eine wichtige Information für die Massnahmenplanung dar.

Themenbereich	*Datenebene*	Anwendungsmöglichkeiten
Relief	Detailliertes digitales Höhenmodell	universell in verschiedensten Bereichen
	Abgeleitete Reliefparameter, z.B. Hangneigung, Exposition,	Forstliche Planung, Standortabklärung, Massnahmenplanung
Hydrologie	Gewässernetz (höhencodiert)	Wasserbau, Gewässerökologie
	Einzugsgebietsgrösse	Wasserbau, Massnahmenplanung
	Sättigungsbereitschaft (Topoindex)	Standortabklärung
Bodenbedeckung	Fels, Schutt, Schnee und Eis, Wald	universell in verschiedensten Bereichen
Wildbachprozesse	Geschieberelevante Fläche	Forstliche Massnahmenplanung, Wasserbau

Tab. 8.3 Nebenprodukte aus der GIS-basierten Beurteilung der Wildbachgefährdung

Diese Gegenüberstellung zeigt, dass es mit Hilfe eines GIS-basierten Verfahrens heute möglich ist, mit vertretbarem Aufwand für grössere Gebiete eine Beurteilung der Wildbachgefährdung vorzunehmen. Nicht mehr wirtschaftlich ist ein solches Verfahren, wenn es darum geht, nur ein einzelnes oder einige kleinere Einzugsgebiete zu beurteilen. In diesem Fall sind Luftbild- und Felderhebungen kostengünstiger.

8.2 Beurteilung der Sturzgefahr

Die konventionelle Art der Erstellung von Gefahrenhinweiskarten beruht primär auf der Analyse von Luftbildern, topographischen- und thematischen Karten sowie der Auswertung von Ereigniskatastern und andern Dokumenten. Im Gegensatz zur Detailerhebung im Rahmen einer lokalen Gefahrenanalyse werden bei der Erstellung von Gefahrenhinweiskarten im Massstab 1:25'000 die einzelnen Phänomene nicht mehr als punktuelle Signaturen dargestellt, sondern es werden die Umhüllenden der Prozessräume bzw. die Teilbereiche von Prozessräumen erfasst. Wirkungsräume von potentiellen Sturzereignissen können beispielsweise nach dem **Ansatz des Pauschalgefälles** (Verfahren nach Gerber 1994) ausgeschieden werden.

Diese generalisierende Methode kann auch in einem geographischen Informationssystems umgesetzt werden. Als Modellierungsbasis dient das digitale Höhenmodell.

Die Anwendung einer Pauschalgefällsmethode ist dann sinnvoll, wenn nicht hochauflösende digitale Höhenmodelle (z.B. DHM25 als Matrixmodell, DHM50, DHM100, vgl. Kap. 7) zur Verfügung stehen.

Bei der Verwendung des DHM10 als Modellierungsgrundlage können aufgrund der guten räumlichen Auflösung (10 x 10 m, Kap. 7.2) auch exakte **Trajektorienmodelle** zur Prozesssimulation eingesetzt werden.

Der Aufbau, die Einsatzmöglichkeiten und Grenzen der verschiedenen Methoden werden nachfolgend erörtert.

8.2.1 Grundlagen der Sturzmodellierung

Bei der Beurteilung der Sturzgefahr (Steinschlag und Blockschlag) müssen auf allen Handlungsebenen die Teilprozesse im Ausbruch-, Transit- und Ablagerungsbereich analysiert und beurteilt werden. Die Bearbeitungstiefen und -methoden sind dabei sehr unterschiedlich und richten sich primär nach dem gewünschten Darstellungsmassstab entsprechend der Handlungsebene.

8.2.1.1 Beschreibung des Steinschlagprozesses und der Einflussgrössen (Modellparameter) bei der Prozessmodellierung

Als Steinschlagprozess wird die Bewegung von stürzenden Steinen und Blöcken sowie deren Interaktion mit der Umgebung verstanden. Der Raum, in dem solche Sturzbewegungen stattfinden können, wird als Prozessraum bezeichnet. Die Sturzbewegung lässt sich in die Bewegungsarten Rollen, Springen und Gleiten aufteilen, sowie in die Kontaktreaktionen mit dem Untergrund oder mit Hindernissen wie Baumstämme oder Schutzbauten. Die Bewegungsarten sind physikalisch und mathematisch weitgehend beschrieben. Bei den Kontaktreaktionen treten hingegen sehr viele unterschiedliche Einflüsse auf, welche die physikalisch-mathematische Erfassung erschweren.

Bei der Prozessraum-Modellierung über den Pauschalgefälle-Ansatz können viele Einflussfaktoren nur in stark generalisierter Form berücksichtigt werden.

Blockform und Blockgrösse

Durch die Blockform, die durch die Länge der drei Hauptachsen und den Rundungsgrad beschrieben wird, wird auch das Trägheitsmoment des Blockes definiert. Die Rotationseigenschaften ergeben sich aus diesen Blockparametern.

Der Energiegewinn eines stürzenden Blockes wird deshalb bei kubischen Blockformen eher in Translationsenergie als in Rotationsenergie umgesetzt, was bedeutet, dass ein kubischer Block potentiell schneller ist als ein Block mit quadrischer oder plattiger Form. Dem wirkt aber entgegen, dass durch die Konzentration der Masse auch der Radius kleiner wird, wodurch der Einfluss der lokalen Rauhigkeit (Unebenheiten, kleine Hindernisse, Blöcke und Steine) erhöht wird.

Dämpfung des Untergrundes

Die unterschiedlichen geotechnischen Eigenschaften des Untergrundes ergeben verschiedene Dämpfungseigenschaften beim Stossprozess. Aufgrund der oft fehlenden Informationen in Form von geotechnischen Kartierungen, müssen bei Übersichtsmodellierungen die Dämpfungsparameter geschätzt werden. Bei der hier vorgestellten Pauschalgefällemodellierung wird der Untergrunddämpfung ein fixer minimaler Wert zugeordnet.

Oberflächenrauhigkeit

Die Rauhigkeit der Bodenoberfläche beeinflusst den Ablauf des Sturzprozesses massgeblich. Haben die Unebenheiten der Oberfläche die gleichen Masse wie die Sturzkomponenten, so werden diese innerhalb einer kurzen Strecke gestoppt. Dies wird anschaulich, wenn wird das Bild einer Oberfläche in Form eines Eierkarton verwenden.

> *Sobald ein Objekt mit den Achsengrössen eines Eis über den Karton rollt, so fällt dieses nach kurzer Distanz in eine Vertiefung und bleibt liegen. Ist jedoch der Durchmesser des Objektes viel grösser als die Vertiefung im Eierkarton, so rollt es über den Karton hinweg.*

Für detaillierte Untersuchungen auf der Stufe Nutzungsplanung und auf der Projektebene müssen die entsprechenden Parameter für die Simulationen im Gelände lückenlos erhoben werden.

Auf der Übersichtsstufe kann die Rauhigkeit nicht detailliert erhoben werden. Generalisierende Angaben können z.B. aus den Datensätzen zur Landnutzung des Bundesamtes für Statistik (Hektarraster) abgeleitet werden. Bei den vorliegenden Berechnungen zur Gefahrenhinweiskarte des Kantons Bern wurde jedoch auf den Einbezug dieser Datensätze verzichtet, da die räumliche Auflösung des Hektarrasters bei der Verwendung des DHM25 bzw. DHM10 als Berechnungsgrundlage ungenügend ist.

Wald

Die grösste Auswirkung auf die Reichweiten von Steinschlag und Blocksturz hat die Waldbestockung. Die Bestandesdichte, die Durchmesserverteilung sowie offene vertikale Waldschneisen sind die massgebenden Parameter. Aus der Bestandesdichte und dem Bestandestyp kann eine mittlere baumfreie (hindernisfreie) Strecke berechnet werden, die bei der Sturzmodellierung ebenfalls mitberücksichtigt wird.

Ein mittleres bis starkes Baumholz mit einer Bestandesdichte von > 300 Stk/ha vermag Steine und Blöcke optimal aufzuhalten. Beim Absturz von Grossblöcken (∅ > 2 m) und bei Felsstürzen wird i.a. ein Waldbestand entlang der Sturzbahn zerstört.

Da in der Gefahrenhinweiskarte alle möglichen Konfliktbereiche aufgezeigt werden sollten, und wegen der Tatsache, dass Angaben zur aktuellen Bestockung nicht überall flächendekkend zur Verfügung stehen, ist es sinnvoll, im Rahmen einer «worst case» Studie die Wirkung des Waldes nicht zu berücksichtigen.

8.2.1.2 Konzept des Pauschalgefälles für die Sturzsimulation: Modellvorstellungen

Um komplexe Prozessabläufe als Gesamtheit zu erfassen, d.h. den gesamten Wirkungsraum eines gefährlichen Naturprozesses zu berechnen und darstellen zu können, muss das Prozessgeschehen abstrahiert werden.

Das Konzept des Pauschalgefälles für die Sturzsimulation basiert auf folgenden Modellvorstellungen:

- Der Sturzprozessraum wird in die Bereiche Ausbruch, Transit und Ablagerung unterteilt.
- Die möglichen Ausbruchgebiete für Sturzprozesse werden primär durch anstehende Felspartien gebildet. Dabei werden nur Felsgebiete berücksichtigt, die in der Landeskarte 1:25'000 als Felssignaturen ausgeschieden sind.
- Der Transit- und Ablagerungsbereich von Sturzprozessen wird primär durch die topographischen Gegebenheiten (Mesorelief) bestimmt. Prozessbeeinflussende Elemente der Bodenbedeckung, beispielsweise Waldareale, können in die Modellierung einbezogen werden.
- Der auf der Gefahrenhinweiskarte ausgeschiedene Prozessraum wird durch das unter einer «virtuellen Pauschalgefällsfläche» liegende Gebiet gebildet.

In den folgenden Beschreibungen werden die einzelnen Systemteile näher erläutert:

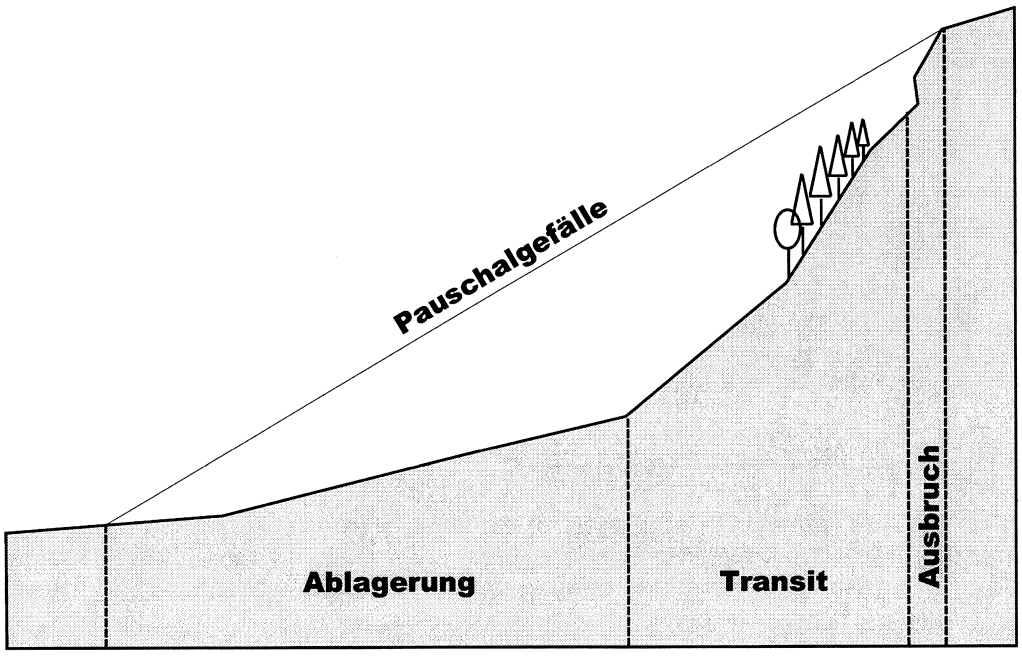


Abb. 8.12 Geländeschnitt mit Prozessbereichen und Pauschalgefälle.

Ausbruchbereich

Die Beurteilung der potentiellen Ausbruchgebiete bezüglich der möglichen Blockgrössen einerseits, sowie die Abschätzung der Eintretenswahrscheinlichkeit eines Ereignisses andererseits, kann auf der Übersichtsstufe nur sehr generell erfolgen. Dies aus 2 Gründen:

1 Weil detaillierte digitale geologische Informationen nicht flächendeckend zur Verfügung stehen, können für eine GIS-Bearbeitung die entsprechenden Parameter nicht abgeleitet werden.

2 Weil in einer Übersichtsbeurteilung für die Ausscheidung möglicher Konfliktgebiete (Prozessraum - Schadenpotential) eher pessimistische Annahmen getroffen werden müssen, drängen sich für die Wahl dieser Parameter pragmatische Lösungen auf.

Die Startzonen für mögliche Sturzprozesse werden durch alle Felsgebiete gebildet, die in der Landeskarte als Felssignaturen ausgeschieden sind.

Dabei werden weder die lithologischen Eigenschaften, noch der momentane Zustand der Verwitterung und der Zerklüftung der Felsgebiete berücksichtigt. Aufgrund dieser Modellvorgabe werden alle Startzonen (Felsgebiete) gleichwertig behandelt, d.h. es werden keine Differenzierungen bezüglich der Eintretenswahrscheinlichkeit eines Ereignisses gemacht!

Die Modellvorstellung geht davon aus, dass aus den Startbereichen im «worst case» grössere Blöcke in Form von Einzelereignissen losbrechen können. Diese Annahme hat auch direkte Folgen für die Wahl des Pauschalgefälles.

Die aus der Pixelkarte extrahierten Felsgebiete müssen in einem ersten Schritt nachbearbeitet werden, weil Fels-Rasterzellen in Kammlagen teilweise Startpunkte für die Sturzmodellierung auf zwei Talseiten hin generieren, obwohl in Wirklichkeit der Steinschlagprozess nur in einer Exposition möglich ist. Um solche Situationen zu vermeiden, müssen die entsprechenden Rasterzellen eliminiert werden. Die Algorithmen für solche Rasterzellen-Eliminierungen sind als Standardtools in den verschiedenen GIS-Programmen vorhanden.

Diese Elimination führt kaum zu fehlerhaften Resultaten, da Felszellen in Kammlagen als einzelne, isolierte Rasterzellen nur selten vorkommen. Startpunkte für die Modellierung werden in diesem Fall durch «talseitige» Nachbarzellen generiert, die sich nicht in «kritischen» Lagen befinden.



Abb. 8.13 Ausschnitt aus dem extrahierten Felsgebiet der Pixelkarte 1:25'000, überlagert mit der Landeskarte 1:25'000. Der Vergleich zeigt die gute Erfassung der Felsgebiete, wobei aber, bedingt durch die Rasterstruktur, einerseits felsfreie Bereiche (kleiner 10x10m) innerhalb eines Felsgebietes eingeschlossen werden und andererseits in Randbereichen eine geringfügige laterale Erweiterung (1/2 Pixel) erfolgt. (Kartengrundlage: Reproduziert mit Bewilligung des Bundesamtes für Landestopographie vom 22.12.97)

Transit- und Ablagerungsbereich

Der Bewertung des Transitbereiches kommt eine grosse Bedeutung zu, da in diesem Abschnitt entscheidende Parameterveränderungen erfolgen. Die Rauhigkeits- und Dämpfungseigenschaften des Untergrundes, sowie die aktuelle Bestockung, beeinflussen die Reichweite der Sturzkomponenten und damit auch das Pauschalgefälle massgebend.

Aus Erfahrungen im Rahmen von Gutachtertätigkeiten und verschiedensten Modellierungen mit dem Trajektorienmodell Zinggeler+Geotest einerseits, sowie den Erfahrungen der WSL (Gerber 1994) andererseits, können generelle Angaben zu Pauschalgefällswerten gemacht werden. Sturzprozesse von Steinen und Blöcken weisen unter normalen Randbedingungen – d.h. Transitbereiche ohne Steilstufen mit mittleren bis starken Rauhigkeits und Dämpfungseigenschaften – typische Pauschalgefällswerte von 30° - 38° auf.

Die Grössen von Sturzkomponenten sind im Symbolbaukasten zur Kartierung der Phänomene (Kienholz et Krummenacher 1995) definiert: Steine: mittlerer Durchmesser < 0.5 m, Blöcke: 0.5 - 2 m, Grossblöcke: > 2 m. In Gerber (1994: 2), wird die Klasse Blöcke noch in drei Teilklassen differenziert, 0.5 – 1 m, 1 – 1.5 m, 1.5 – 2 m.

Pauschalgefälle **Widerstand**	**65% (33°)** **klein**	**70% (35°)** **mittel**	**75% (37°)** **gross**
Steine	Vegetation: Wiese Unebenheiten: keine Boden: flachgründig	Vegetation: Baumholz Unebenheiten: klein Boden: tiefgründig	Vegetation: Stangenholz Unebenheiten: gross Boden: Hangschutt
kleinere bis mittlere Blöcke	Vegetation: Stangenholz Unebenheiten: kleine Boden: flachgründig	Vegetation: Baumholz Unebenheiten: gross Boden: tiefgründig	
grössere Blöcke und Grossblöcke	Vegetation: Baumholz Unebenheiten: gross Boden: tiefgründig		

Tab. 8.4 Pauschalgefälle in Abhängigkeit der Blockgrösse und der «Widerstandswerte» nach Gerber (1994).

Bergstürze weisen ein noch grösseres Spektrum von Pauschalgefällswerten auf. Die Bergsturzmasse bildet dabei die zentrale Grösse. Scheller (1970) hat eine grosse Anzahl bekannter Bergstürze bezüglich dieses Zusammenhanges analysiert. Dabei ergeben sich Pauschalgefällswerte von 5° - 30°.

Da flächendeckende Geländebegehungen zur Bestimmung der Blockgrössen und der Pauschalgefällswerte im Rahmen der Erstellung von digitalen Gefahrenhinweiskarten 1:25'000 aus Kostengründen nicht möglich sind, wurde beispielsweise für die Vorstudien zur Gefahrenhinweiskarte im Kanton Bern, im Sinne einer «worst case» - Annahme ein einheitlicher Wert von 30° gewählt.

8.2.2 Das Verfahren der Pauschalsgefällsmodellierung

Die Genauigkeit der EDV - gestützten Modellierung von Prozessräumen richtet sich nach der Güte der Grundlagendaten. Der Darstellungsmassstab ist durch die räumliche Auflösung des digitalen Höhenmodells gegeben.

In den folgenden Ausführungen wird die Umsetzung des zweidimensionalen Ansatzes des Pauschalgefällemodells in den dreidimensionalen Prozessraum beschrieben. Zudem wird die notwendige Abstrahierung des Modells für die Implementierung in eine GIS-Berechnungsumgebung erläutert.

Soll das Pauschalgefällemodell im dreidimensionalen Raum angewendet werden, so müssen einige wesentliche Faktoren beachtet werden:

Ein Sturzprozess erfolgt mehr oder weniger dem Verlauf der Fallinie, die je nach Strukturierung des Geländes mehrmals ihre Richtung wechseln kann. Es kann also nicht mit einem gradlinig verlaufenden Strahl die Durchdringung des Profiles ermittelt werden. Theoretisch müsste ein Modell zur Ermittlung von Steinschlagtrajektorien eingesetzt werden, um überhaupt Profile zu erhalten, auf denen das Pauschalgefällemodell eingesetzt werden kann. Ein GIS-Lösungsansatz besteht aber darin, dass der Raum in Abschnitte unterteilt wird, in denen eine geradlinige Ausbreitung angenommen und das Modell angewendet werden kann.

Auf diesen Teilstücken erfolgt normalerweise keine Durchdringung des Strahles mit der Geländeoberfläche. Es resultiert aber eine zunehmende oder abnehmende Höhendifferenz zwischen der aktuellen Geländeoberfläche und der Lage des Pauschalgefällestrahls (Ener-

gielinie). Diese Information kann anschliessend an das nächste Teilstück weitergegeben und in die weitere Berechnung einbezogen werden.

8.2.2.1 Umsetzung des Modells im GIS

Das Berechnungsprinzip des Pauschalgefälles basiert auf Nachbarschaftsanalysen von Höhenkoten im Raster-Geländemodell. Die Simulation wird vollumfänglich mit Hilfe der GIS-Funktionen durchgeführt.

Die nachfolgenden Ausführungen basieren auf den Anwendungsmöglichkeiten des Geographischen Informationssystems SPANS.

Das hier beschriebene Verfahren der Pauschalgefällemodellierung ist als Kompromiss zwischen den Anforderungen im theoretischen Modell und den funktionalen Möglichkeiten des geographischen Informationssystems SPANS zu verstehen. Mit anderen geographischen Informationssystemen oder durch die Implementation des Modells in einer Programmiersprache könnten gewisse Prozessschritte optimaler gelöst werden. Hingegen müsste der Datentransfer in das GIS zusätzlich programmiert werden.

Das Modell wird so umdefiniert, dass es nicht mehr auf dem Geländeprofil und dem entsprechenden Durchdringungsstrahl basiert, sondern auf einem dreidimensionalen Rasterhöhenmodell mit einer «Energiefläche». Diese Energiefläche entspricht der in den Raum ausgedehnte Information über die Höhendifferenzen zwischen der Geländeoberfläche und dem Strahl des Pauschalgefälles (vgl. Abb. 8.14).

Um diese Höhendifferenz berechnen zu können, muss zuerst die Höhendifferenz von Zelle zu Zelle ermittelt werden, die sich bei einem definierten Pauschalgefälle ergibt. Abbildung 8.14 zeigt die geometrischen Verhältnisse für ein Pauschalgefälle von 30°. Der Abstand von Zelle zu Zelle beträgt bei einem 25m-Raster (DHM25) in orthogonaler Richtung genau 25 m und in diagonaler Richtung 35.4 m. Da im entsprechenden Modul des GIS SPANS nicht zwischen diagonaler und orthogonaler Richtung bezüglich der Rasterorientierung unterschieden werden kann, muss als Abstand der Mittelwert eingesetzt werden. Für dieses Beispiel wird der Mittelwert der beiden Zellenabstände, nämlich 30 m gewählt. Bei diesem Abstand ergibt sich bei einem Pauschalgefälle von 30° eine Höhendifferenz von 17 m (Werte gerundet).

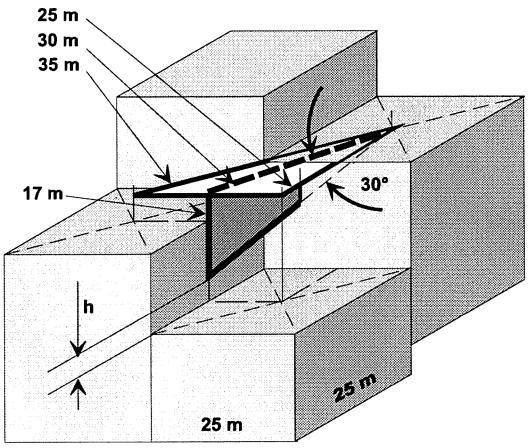


Abb. 8.14 Geometrische Verhältnisse im 3D-Pauschalgefällemodell auf der Basis des digitalen Rasterhöhenmodells

*Die «topographischen» Verhältnisse in Abbildung 8.14 sind so gewählt worden, dass die effektive Hangneigung grösser ist als das Pauschalgefälle. Zwischen den beiden rechtsliegenden Zellen resultiert bei einem Pauschalgefälle von 30° eine positive Differenz «**h**». Dieser Wert «**h**» wird im nächsten Berechnungsvorgang, wenn die angrenzenden Rasterzellen berechnet werden, zur neu resultierenden Höhendifferenz addiert. Dieser Vorgang wiederholt sich bei jedem Berechnungsschritt. Bei der Modellierung wird jeweils das grösste Gefälle bezüglich aller Nachbarzellen berechnet und die daraus resultierende Differenz weiter berücksichtigt.*

Eine positive Differenz ist gleichzusetzen mit einer Energiezunahme, eine negative entsprechend mit einer Energieabnahme. Die Aufsummierung der Höhendifferenzen ergibt ein Mass für die potentielle Lageenergie in einer bestimmten Entfernung vom Ablösungsgebiet. Bei Hangneigungen unter 30° fällt die Differenz negativ aus und ergibt eine Reduktion der im steilen Gelände «akkumulierten Energie». Dies wird so lange wiederholt, bis die Bilanz null wird. Diese Orte sind mit dem Ort des Durchdringens des Strahls des Pauschalgefälles mit dem Gelände gleichzusetzen, d.h. also dem Ort der maximal möglichen Reichweite.

In der Natur sind die Verhältnisse oft so, dass die aktuellen Neigungsverhältnisse einen grösseren Einfluss auf das Bewegungsverhalten eines stürzenden Blockes haben als die theoretische Neigung der gesamten Sturzbahn. Deshalb wird bei Verflachungen der gespeicherte Energiebetrag schneller abgebaut, als dies durch die aktuelle Höhendifferenz gemäss Pauschalgefällmodell zu erwarten wäre. Dieser Umstand muss im Modell berücksichtigt werden, weil sonst z.B. extreme Reichweiten bis an Gegenhänge resultieren würden.

*In Abbildung 8.15 ist neben dem aktuellen Ausschnitt aus dem DHM noch eine «Rasterzelle der Energiefläche» dargestellt. Aufgrund der Höhendifferenz **H** zwischen der Energiefläche und der aktuellen Höhenkote wird gemäss einem vordefinierten Schema ein gewisser Betrag zu der aktuellen Höhendifferenz **h** addiert, bevor analysiert wird, ob der Prozess überhaupt noch durchgeführt werden kann. Mit Hilfe des erwähnten Schemas und der Abbruchbedingung lassen sich die Ausbreitungseigenschaften des Pauschalgefällemodells steuern.*

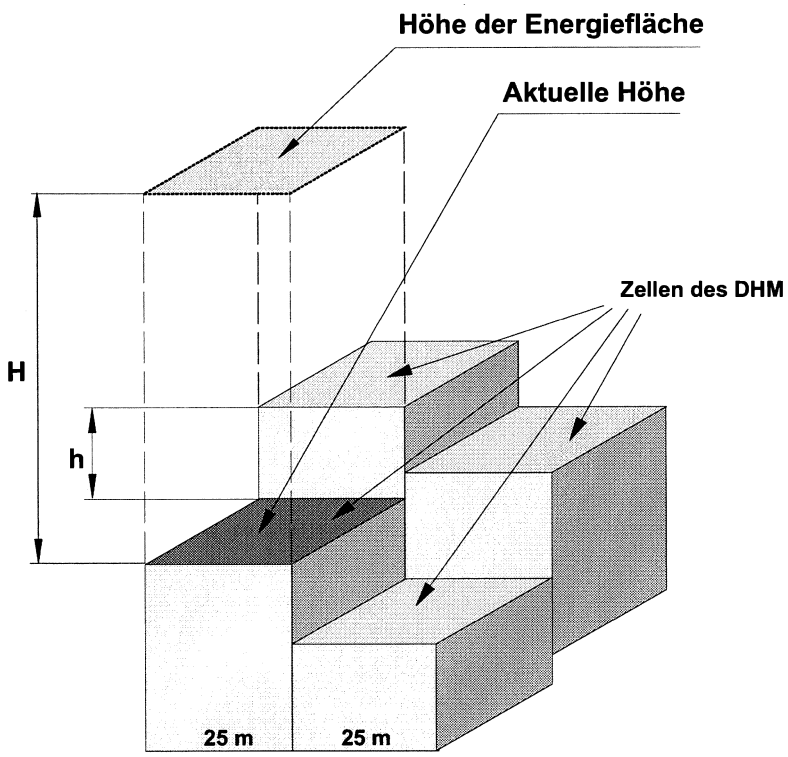


Abb. 8.15 Höhendifferenz zwischen Energiefläche und aktueller Höhenkote

In Abbildung 8.16 ist zur besseren Darstellung der lateralen Ausbreitung des Prozesses eine Projektion der Rasterzellen durch einen aktuellen Prozessraum dargestellt.

Drei Rasterzellen in Abbildung 8.16 bilden die aktuelle Prozessfläche (A). Diese sind ein Teil des Höhenmodells mit entsprechenden Höhenkoten (B). Die Richtung des Gefälles wird durch Extrapolation und Höhenvergleich ermittelt (C und D): den Wert 1114 (m ü. M.) erhalten z.B. alle Zellen in der Nachbarschaft der aktuellen Höhenkote 1114 (mit Kreis), die nicht an einen niedrigeren Wert der aktuellen Prozessfläche angrenzen (kurz: jede Zelle des die aktuelle Prozessfläche umgebenden Bereiches erhält den jeweils tiefsten Wert der benachbarten «Prozesszellen»).

Nachbarzellen mit Höhenkoten, die eine minimale Differenz zum extrapolierten Wert nicht unterschreiten und deren Höhenkote unterhalb der Energielinie des vorgegebenen Pauschalgefälles liegen, werden als neue aktuelle Prozessfläche (E) bezeichnet.

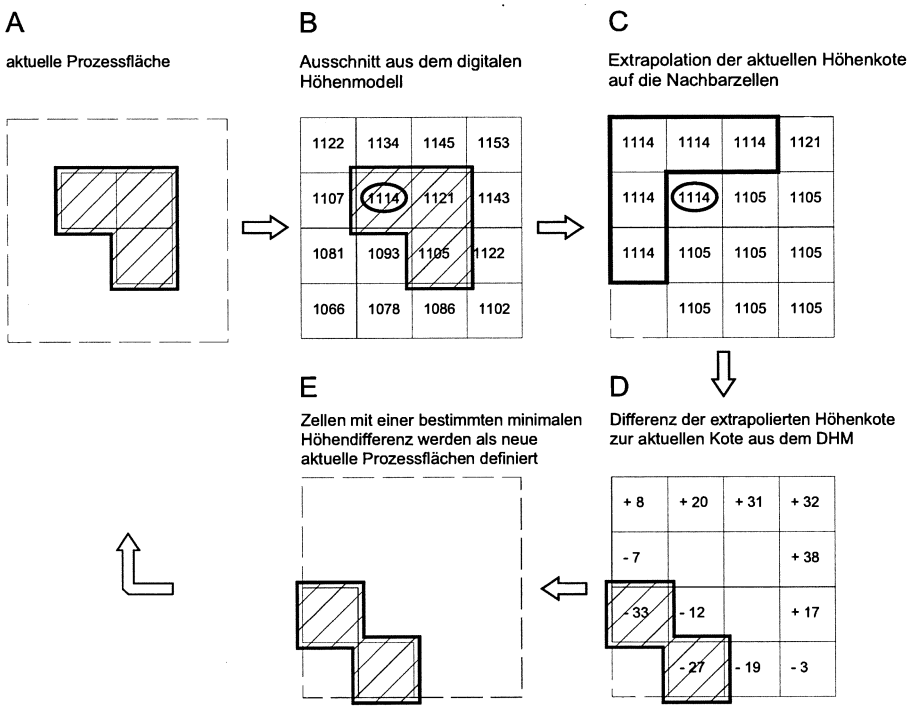


Abb. 8.16 Berechnungsschritte zur Ermittlung des Sturzraumes (Prozessfläche) auf der Basis des Raster -Höhenmodells

8.2.3 Modellvergleich

Nachfolgend wird das entwickelte Pauschalgefällemodell mit dem bestehenden Trajektorienmodell Zinggeler+Geotest anhand eines Beispiels der digitalen Gefahrenhinweiskarte des Kantons Bern verglichen und bewertet. Dazu muss zum allgemeinen Verständnis die Anwendung des Trajektorienmodells für diese Analyse kurz erläutert werden.

8.2.3.1 Das Trajektorienmodell in der Anwendung zur Erstellung von Gefahrenhinweiskarten

Das Trajektorienmodell berechnet Sturzbahnen von Steinen und Blöcken gemäss physikalischen Gesetzen. Es berücksichtigt sowohl Geländeparameter wie Bodendämpfung, Oberflächen-Rauhigkeit und Wald, sowie die Form und Grösse der Blöcke. Für die Erstellung von Gefahrenhinweiskarten im Massstab 1:25'000 werden standardisierte Werte eingesetzt, die es ermöglichen sollen, die grösstmöglichen, realistischen Reichweiten zu berechnen. Die Waldflächen werden nur zur Modifikation der Dämpfungsparameter des Untergrundes eingesetzt.

Das Computerprogramm (Zinggeler+Geotest) zur komplexen Berechnung der Sturztrajektorien basiert nicht auf einer GIS–Applikation sondern läuft als eigenständiges Programm. Als Resultat wird im Steinschlagprogramm direkt ein Grid bzw. eine Rasterstruktur (ArcInfo / SPANS) erzeugt, das die Informationen (Berechnungsresultate) pro Zelle enthält.

8.2.3.2 *Modellierungsparameter für die Trajektorienberechnung auf der Stufe Gefahrenhinweiskarte*

Grundsätzlich lassen sich mit Hilfe eines digitalen Geländemodelles Hangneigungsbereiche und Zonen mit unterschiedlichen Neigungsvariationen ausscheiden (geländemorphologische Analysen). Für die Erstellung der Gefahrenhinweiskarte 1:25'000 mit Hilfe des Sturztrajektorienmodells wird die Dämpfung des Untergrundes aufgrund definierter Hangneigungsbereiche und Waldflächen nur generell implementiert.

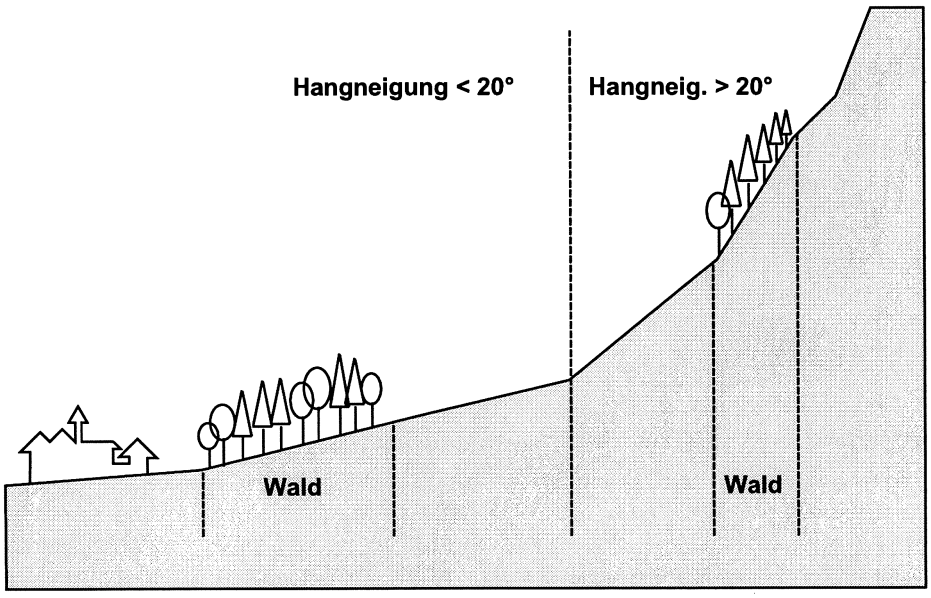


Abb. 8.17 Unterschiedliche stark generalisierte Dämpfungsbereiche als Funktion von Hangneigung und Waldbestand, als Eingangsgrösse im Trajektorienmodell.

Dabei werden die zwei folgenden empirischen Erkenntnisse integriert:

- Vermehrte Akkumulation von Lockermaterial bei Hangneigungen kleiner als 20°;
- Vermehrte Akkumulation von Lockermaterial und Auflockerung des Untergrundes durch Wurzelaktivität in Waldbereichen.

Aus der Kombination dieser generellen Aussagen ergeben sich grundsätzlich 4 unterschiedliche Dämpfungsbereiche (vgl. Abb. 8.17).

Startpunkte und Startzonen

Innerhalb der Felsgebiete werden Punkte generiert, die als Startpunkte für die Berechnung von Steinschlagsturzbahnen dienen. Mit GIS-Funktionen werden regelmässig angeordnete Punkte mit einem definierten gegenseitigen Abstand erzeugt. Für die Modellierung auf Richtplanebene (Kartenmassstab 1:25'000) hat sich folgendes Verfahren bewährt:

Im Randbereich der Felszonen werden Punkte mit einem gegenseitigen Abstand von 5 m erzeugt. Im Innern der Felszonen beträgt der Abstand 10 m. Diese Differenzierung hat den Vorteil, dass auf einem Landeskartenblatt im Gebirgsraum, wo Fels sehr grossflächig an-

steht, nicht zu viele Startpunkte generiert werden. Mit dieser Startpunktdichte werden pro Kartenblatt im Gebirgsraum etwa 400'000 bis 900'000 Startpunkte erzeugt.

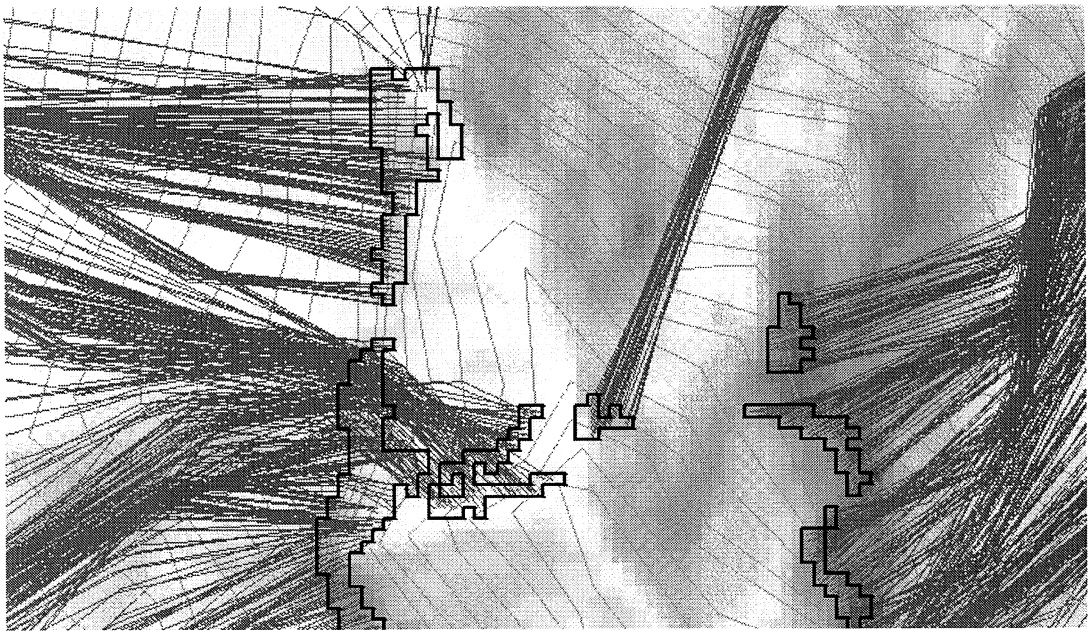


Abb. 8.18 Illustration der ausgeschiedenen Startzonen (Felsgebiete mit Pixelgrösse = 10 x 10 m) und der Anzahl Sturzbahnen, berechnet aus den generierten Startpunkten. (Kartengrundlage: Reproduziert mit Bewilligung des Bundesamtes für Landestopographie vom 22.12.97)

8.2.3.3 Vergleich der modellierten Prozessräume

In der Gefahrenhinweiskarte steht vor allem die räumliche Ausdehnung der gefährlichen Prozesse im Vordergrund. Angaben zu Energiewerten und zur Eintretenswahrscheinlichkeit können und sollen aufgrund der generalisierten Modellparameter auf dieser Bearbeitungsstufe nicht gemacht werden. Obwohl mit dem Trajektorienmodell flächendeckende Aussagen über die Sprunghöhen und die Energiewerte gemacht werden können, reduziert sich der Vergleich der beiden Simulationsresultate auf die maximalen Reichweiten, sowie auf die laterale Ausbreitung der Prozessräume. Anhand des Beispiels der digitalen Gefahrenhinweiskarte des Kantons Bern, Blatt Lenk 1:25'000 (vgl. Anhang 2) werden die Unterschiede der verschiedenen Modellierungen erörtert.

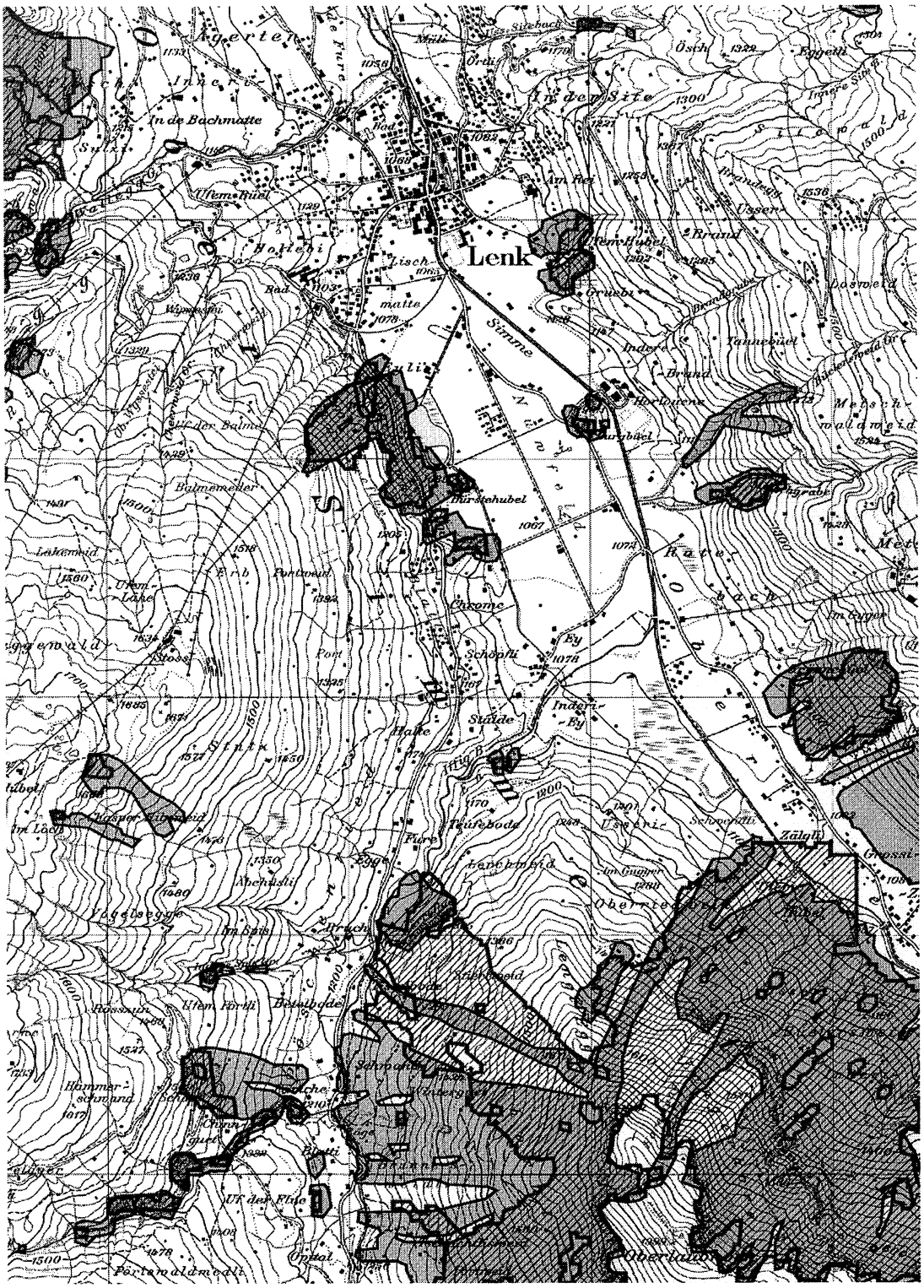


Abb. 8.19 Überlagerung der Prozessräume der Trajektorien- und Pauschalgefällemodellierung (Ausschnitt Gefahrenhinweiskarte 1:25'000 Kt. Bern, Blatt Lenk). **Schräg schraffierte Flächen = Prozessraum mit Pauschalgefällemodellierung.** (Kartengrundlage: Reproduziert mit Bewilligung des Bundesamtes für Landestopographie vom 22.12.97)

In Abbildung 8.19 ist nur der Steinschlaglayer dieser digitalen Gefahrenhinweiskarte dargestellt. Für den Vergleich wurden die Prozessräume der Trajektorien- und der Pauschalgefällssimulation überlagert abgebildet. Die einzelnen Sturzbahnen sind als Prozessräume in Rasterform (Grid, ArcInfo) zusammengefasst (Darstellung der Umhüllenden). Bei einer überblicksmässigen Betrachtung werden keine markanten Unterschiede festgestellt. Eine genaue Analyse der Prozessräume zeigt jedoch die Stärken und Schwächen der verschiedenen Simulationsverfahren.

Anhand eines vergrösserten Kartenausschnittes (Abb. 8.20) werden die Unterschiede nachfolgend erläutert.

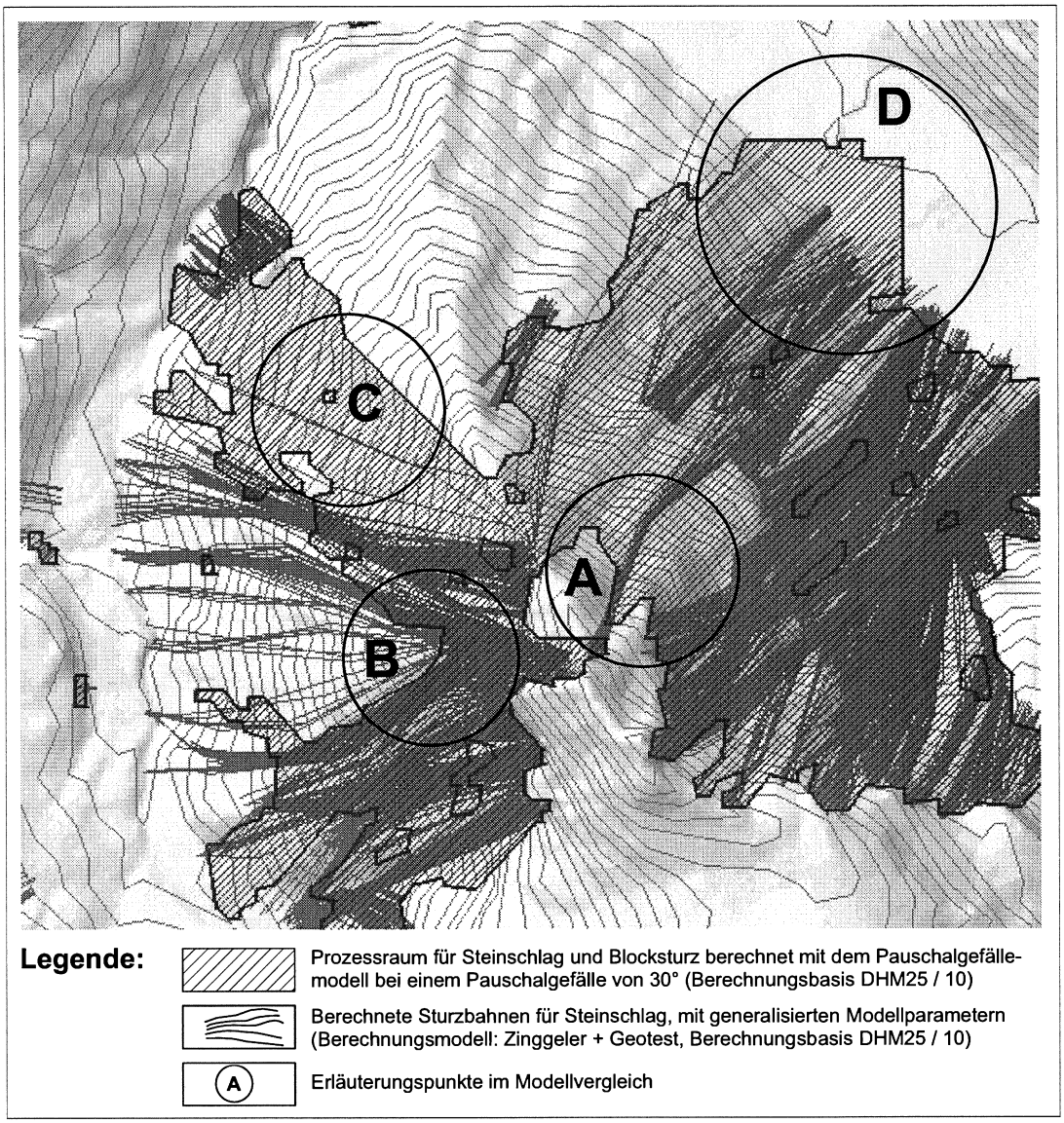


Abb. 8.20 Prozessräume der Trajektorien- und Pauschalgefällemodellierung im Vergleich (Auschnittvergrösserung von Abb. 8.19). (Kartengrundlage: Reproduziert mit Bewilligung des Bundesamtes für Landestopographie vom 22.12.97).

- **Punkt A:** In der Kammlage befindet sich ein kleines «Startgebiet» (vgl. Abb. 8.18) für Sturzprozesse. Im Trajektorienmodell werden ausgehend von diesem Felsgebiet mehrere Sturzbahnen berechnet. In der schwach ausgeprägten Runse im hangabwärtsliegenden Gelände werden die Sturzbahnen kanalisiert. Weiter hangabwärts wird die Geländeform konvex, was naturgemäss zu einem Divergieren der Sturzbahnen führt.

  Das Pauschalgefällemodell verarbeitet diese Geländeform wesentlich weniger differenziert als das Trajektorienmodell. Bedingt durch die Rasterstruktur im Berechnungsalgorithmus ergibt sich ausgehend von der untersten Felsrasterzelle eine konstante seitliche Ausbreitung, falls die Höhendifferenzen klein sind. Diese Konstellation tritt dort ein, wo die Geländerunse in eine flache bis konvexe Hangform übergeht. Die von den westlich und östlich liegenden Felsgebieten aus berechneten Prozessräume breiten sich ebenfalls seitlich aus. Im unteren Hangbereich durchdringen diese Prozessräume einander, was zu dem grossflächigen Prozessraum führt.

  Der scheinbar «fehlende» Prozessraum der Pauschalgefällemodellierung unterhalb des Startbereiches ist das Resultat einer Generalisierung d.h einer «Glättung» der Prozessraumumgrenzung. Durch die Filterfunktionen im GIS können je nach Filtereinstellungen schmale «Mono-Rasterbänder» verloren gehen.

- **Punkt B:** Im Diskussionsbereich B tritt der umgekehrte Effekt als bei Punkt A auf. Hier wird durch die Trajektorienmodellierung der gesamte Hangbereich als Prozessraum ausgeschieden. Durch die bewegte Topographie in der Kammlage (unruhiger Verlauf der Höhenlinien), sind Sturzbahnen im ganzen Hangbereich möglich. Die Hauptkonzentration der berechneten Sturzbahnen liegt jedoch auch in den schwach ausgeprägten Runsen.

  Das Pauschalgefällemodell erfasst diese Geländeformen gleich wie auf der andern Hangseite (Punkt A) weniger differenziert als das Trajektorienmodell. Die generell konvexe Hangform «zwingt» die Pauschalgefälleberechnung zum Divergieren. Die kleinen Runsenformen werden deshalb nicht erfasst.

- **Punkt C:** Im Hangbereich C wird die maximal mögliche seitliche Ausbreitung der Prozessraummodellierung veranschaulicht. Bedingt durch das gleichmässige Hangrelief erfolgt bei der Berechnung eine «ungehinderte» seitliche Erweiterung des Prozessraumes. An der Geländerippe wird der Berechnungsprozess abgebrochen. Wie die Trajektorienmodellierung zeigt, sind einzelne Sturzbahnen in diesem Hangbereich ebenfalls möglich, d.h. also, dass dieser «Pauschalgefälls-Prozessraum» nicht ganz unrealistisch ist.

- **Punkt D:** In der Detaildarstellung der Ausbreitung des Prozessraumes im Talgrund können verschiedene Effekte bei der Pauschalgefällemodellierung in Grenzlagen diskutiert werden. Die Darstellung zeigt eine deutlich grössere Reichweite des Prozessraumes im flachen Talboden durch das Pauschalgefälle. Generell ergibt sich aus der konkaven Hangform durch die Anwendung des Pauschalgefälles eine grosse Reichweite. Durch das gegenseitige Durchdringen der einzelen Prozessräume aus den verschiedenen Startgebieten ergibt sich ein relativ breiter Auslaufbereich. Bedingt durch den Berechnungsalgorithmus folgt auch in der Talebene die Berechnung zum tiefsten Punkt hin, was die abstrakte Keilform des «Ablagerungskegels» ergibt.

8.2.3.4 Schlussfolgerungen

Die GIS - gestützte Modellierung von Steinschlagprozessen auf der Richtplanstufe darf nur als Hinweis verwendet werden, da die flächendeckenden Grundlagendaten nur in generalisierter Form vorliegen und nicht im Gelände verifiziert werden.

Nun die Frage: Welche Modellierung ist richtig?

In der diskutierten Ausschittvergrösserung erscheinen die Unterschiede der beiden Modellierungen sehr krass. Die feine Liniendarstellung der Sturzbahnen aus der Trajektorienmodellierung wirkt weniger stark als der Prozessraum des Pauschalgefälles. Diese Darstellungsform wurde jedoch bewusst gewählt, um die Unterschiede hervorzuheben. Werden beispielsweise die Sturzbahnen der Trajektorienmodellierung ebenfalls zu Prozessräumen zusammengefasst, wie dies der Kartenausschnitt in Abbildung 8.19 zeigt, werden die oben diskutierten Differenzen relativiert.

- Vergleicht man nur die von beiden Modellrechnungen erzeugten Prozessflächen über einen grösseren Raum, so werden keine wesentlichen Unterschiede festgestellt.
- Wie jedoch die Detailanalyse zeigt, können lokal erhebliche Unterschiede auftreten. Beispielsweise wird im Hangbereich B durch das Pauschalgefällemodell der gesamte Prozessraum nicht erfasst.
- Mit der Verwendung des Pauschalgefällmodelles auf einem derart «hochwertigen» Geländemodell (10 m x 10 m Auflösung), werden die Grenzen der Anwendbarkeit erreicht. Aus diesem Grund wurde auch bei der Erstellung der digitalen Gefahrenhinweiskarte des Kantons Bern (siehe Anhang B) auf die Anwendung des Pauschalgefällemodells zu Gunsten des Trajektorienmodells verzichtet.
- Das diskutierte Beispiel (Abb. 8.19 / 8.20) zeigt die Anwendung der Modelle im Rahmen der Gefahren-Hinweiskartierung. Damit ist der Grundcharakter der Analyse als sogenannte «worst case-Studie» gegeben. Unter diesem Gesichtpunkt betrachtet, genügt diese Darstellungsgenauigkeit dem Anspruch, potentielle Konfliktgebiete auszuscheiden.
- Liegt als Berechnungsgrundlage «nur» das Matrixmodell des DHM 25, das DHM 50, oder gar nur das Rimini - Höhenmodell vor, so ist das Pauschalgefällemodell das geeignete Arbeitsinstrument. Der Darstellungsmassstab muss dementsprechend kleiner gewählt werden (1:50'000 bis 1:100'000).

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass die speziellen Modellierungsergebnisse massstabsadäquat sind und ohne Berücksichtigung von Bremswirkungen einen realistischen Prozessraum ergeben. Dieser Befund kann durch Vergleiche mit jüngsten Sturzereignissen in den Untersuchungsgebieten erhärtet werden.

8.2.4 Aufwand und Ertrag

Der Aufwand zur Anwendung der Simulationsmodelle gliedert sich in zwei Bereiche:

Erstellung der Modellierungsgrundlagen:

- Der Aufwand zur Erstellung der Grundlagen ist beachtlich, verglichen mit dem Aufwand zur eigentlichen Berechnung der Prozessräume. Im Kapitel 7 wird ein Überblick zum Aufwand zur Aufbereitung der Daten gegeben. Die Aufbereitungsarbeiten entsprechen ca. denjenigen für die Beurteilung der Wildbachgefahr (Kap. 8.1).

Berechnung der Prozessräume:

- Die eigentliche Berechnung der Prozessräume beispielsweise für ein ganzes Kartenblatt 1:25'000 kann weitgehend automatisiert werden. GIS-externe Programme zur Erstellung der erforderlichen Makros (SPANS *.CMD / ArcInfo *.AML) verkürzen die interaktive Arbeit am Computer. Die eigentlichen Berechnungen können somit auf die Nacht und Wochenendzeiten verlegt werden. Je nach Rechenleistung und Grösse der Startgebiete, betragen die Rechenzeiten auf einem PC 5 - 30 Stunden.

Der Ertrag beim Einsatz der Modellierungen kann nur im Vergleich mit der «manuellen» Erarbeitung einer Gefahrenhinweiskarte beziffert werden. Der grosse Vorteil der Modellierung liegt darin, dass über ein grosses Untersuchungsgebiet mit einer einheitlichen Methode jederzeit nachvollziehbar Prozessräume ausgeschieden werden können. Aenderungen in den Berechnugsparametern oder das Hinzufügen oder Weglassen von Informationsebenen kann ohne grossen Aufwand durchgeführt werden. Die berechneten Resultate liegen in georeferenzierter Form vor und können für weitere Anwendungen in GIS oder CAD Programmen verwendet werden. Die anfallenden «Nebenprodukte» können auch in anderen Anwendungen verwendet werden (siehe Kap. 8.1.3).

8.3 Beurteilung der Rutschgefahr

8.3.1 Einleitung

Im Rahmen des Moduls wurden in Zusammenarbeit der Geotest AG mit dem Geographischen Institut der Universität Bern, Gruppe für Geomorphologie, erste Versuche unternommen, ein Dispositionsmodell zur Abgrenzung rutschgefährdeter Gebiete im Lockermaterial zu erstellen. Im Testgebiet der Kleinen Schliere wurden die entsprechenden Grundlagendaten in Form von Kartierungen erhoben und digital erfasst. Der Untersuchungsraum eignet sich aus verschiedenen Gründen für die Entwicklung von Modellen:

- Das Untersuchungsgebiet der Kleinen Schliere ist bezüglich den geologischen Grundlagen und der Naturgefahren bereits gut dokumentiert (vgl. Berwert 1992, Egli 1995).
- Die Forschungsarbeiten konnten in einem interdisziplinären Rahmen diskutiert werden, da auch andere Module (Minimale Pflegemassnahmen, Waldfunktionen / Planung) in diesem Raum Erhebungen und Analysen durchführten.
- Die Forschungsarbeiten wurden durch das Oberforstamt des Kantons Obwalden koordiniert und der Gedankenaustausch wurde in den vom Oberforstamt organisierten «Schlierenkonferenzen» gefördert. An dieser Stelle wird dem Oberforstamt (J. Hess) für seine engagierte Mitarbeit bestens gedankt!

8.3.2 Stellenwert der EDV - gestützten Erstellung von Rutsch - Gefahrenhinweiskarten

Die grossräumige Beurteilung der Rutschgefahr mit Hilfe von Computersimulationsmodellen stellt in der Praxis die höchsten Anforderungen sowohl an die Abbildung der komplexen Zusammenhänge der relevanten Parameter im Modell, als auch an die digitalen Grundlagendaten.

Da das Spektrum der Rutschungstypen im Locker- und im Festgestein sehr vielfältig ist, ist es schwierig, universell verwendbare Modelle zu entwickeln. Die für die Auslösung von Rutschungen mitentscheidenden Parameter der Kohäsion und der Wassersättigung stehen nicht als digitale, flächendeckende Informationsebenen zur Verfügung.

Aufgrund der fehlenden digitalen Daten einerseits und der noch in der Entwicklung stehenden Modellierungen andererseits werden Gefahrenhinweiskarten grösstenteils noch mit konventionellen Methoden erstellt. Bei der Ausarbeitung der digitalen Gefahrenhinweiskarte des Kantons Bern (siehe Anhang B) wurde aus den oben genannten Gründen auf den Einsatz eines Dispositionsmodells zur digitalen Ausscheidung von rutschgefährdeten Hängen verzichtet.

Die EDV - gestützte Erstellung von Gefahrenhinweiskarten im Übersichtsmassstab hat gegenüber der konventionellen Gefahrenbeurteilung den Vorteil, dass die Prozessbeurteilung jederzeit nachvollziehbar ist und dass durch die Veränderung der Modellparameter ein ganzes Untersuchungsgebiet einheitlich neu berechnet werden kann.

Diese Vorteile rechtfertigen den Einsatz von «rudimentären» Computermodellen für Analysen, zur Ausscheidung von Gebieten mit einer Disposition für Rutschungen im Übersichtsmassstab. Im Rahmen des Moduls konnten mit den hier vorgestellten Versuchen wichtige Erfahrungen gesammelt werden.

Bei aktuellen Projekten (nach Abschluss des Moduls Naturgefahren), z.B. die Erstellung der digitalen Gefahrenhinweiskarte des Kantons Solothurn, konnten auf der Basis von flächendeckenden digitalen geologischen Karten die Rutschdispositionsmodelle bereits erweitert werden.

8.3.3 Inhaltliches Konzept

Die Beurteilung der Rutschgefahr im Rahmen von Übersichtsanalysen erfordert bei der Festlegung der Bearbeitungstiefe sehr gute Kenntnisse der regionalen und z.T. der lokalen geologischen und geomorphologischen Gegebenheiten. Die einheitliche und nachvollziehbare Verknüpfung aller Kenntnisse bildet den schwierigsten Teil der «konventionellen» Gefahrenbeurteilung.

Dispositionsmodelle in Kombination mit Geographischen Informationssystemen bieten im allgemeinen nur pauschale Aussagen. Sie liefern jedoch in jedem Falle nachvollziehbare und jederzeit korrigierbare Resultate.

Mit dem Dispositionsmodell soll primär unter Verwendung der zur Verfügung stehenden Grundlagendaten ein Verfahren entwickelt werden, das erlaubt, die räumliche Verteilung rutschgefährdeter Hangpartien im Lockermaterial zu modellieren. Dabei sollen die Erkenntnisse der zweidimensionalen Modellierungen auf der Basis der Böschungsstabilitätsberechnung umgesetzt werden.

Diesem Anforderungsprofil können folgende Modellvorstellungen zugrunde gelegt werden:

- Jeder Hang oder jede Böschung weist durch die geologisch - geotechnischen Kenngrössen des Lockermaterials charakteristische Eigenschaften bezüglich der Stabilität auf.
- Hänge und Böschungen, die grössere Neigungen als die kritische Hangneigung aufweisen, gelten als rutschgefährdet. Als kritisch wird jene Hangneigung bezeichnet, welche einem Sicherheitsgrad F = 1 entspricht. Die Bestimmung der kritischen Hangneigung erfolgt für jede Lockermaterialklasse (USCS). Dabei werden die Festigkeitseigenschaften (Scherparameter und Annahmen über die Höhe der maximal möglichen Wassersättigung) für jede Klasse festgelegt.
- Alle in der Pixelkarte als Fels ausgeschiedenen Gebiete (vgl. Abb. 8.13) werden bei der Modellierung als nicht relevant klassiert.

Die Kombination der Informationsebenen gemäss Abbildung 8.21 erlaubt die Erstellung eines Dispositionsmodells, welches die potentiellen Anrissgebiete für flach- und mittelgründige Rutschungen im Lockermaterial bezeichnet.

8.3.4 Methodik

Die Sicherheit eines Hanges wird allgemein durch einen Sicherheitsgrad gegen das Abgleiten entlang einer kritischen Gleitfläche ausgedrückt. Der Sicherheitsgrad ist abhängig von der Scherfestigkeit des Untergrundmaterials an der Gleitfläche. Eine Böschung gilt dann als stabil, wenn der Sicherheitsgrad $F > 1$ ist, wenn also die rückhaltenden Kräfte grösser sind als die treibenden.

In der Gefahrenbeurteilung sind vor allem Böschungen mit einem Sicherheitsgrad von $F \leq 1$ von grossem Interesse, d.h. Hangpartien in labilem oder instabilem Zustand.

Da aber bei grossflächigen Untersuchungen wegen des grossen Aufwandes nicht für jede Rasterfläche des Höhenmodells der Sicherheitsgrad berechnet werden kann, muss die Ausscheidung von rutschgefährdeten Hangpartien aufgrund der einfacher zu erhebenden flächendeckenden Parameter der Hangneigung und des Substrates erfolgen. Die Berechnung der kritischen Hangneigungen erfolgt als «Krücke» in genereller Form für alle wichtigen Substrate einer lithologischen Einheit mit Hilfe der Hangstabilitätsberechnung nach Janbu und Bishop (vgl. Nash 1987).

8.3.4.1 Grundlagen

Damit die Erstellung flächendeckender Hinweiskarten für rutschgefährdete Hänge mit Hilfe des Dispositionsmodells mit einem vertretbaren Aufwand durchgeführt werden kann, wurde die Anzahl der zu erhebenden Parameter in diesem ersten Versuch auf ein Minimum reduziert. Gemäss Abbildung 8.21 werden für die Modellierung mit Hilfe des GIS drei flächendeckende Informationsebenen, sowie eine Entscheidungsmatrix zur Bestimmung der kritischen Hangneigung verwendet. Im folgenden werden diese Elemente erläutert:

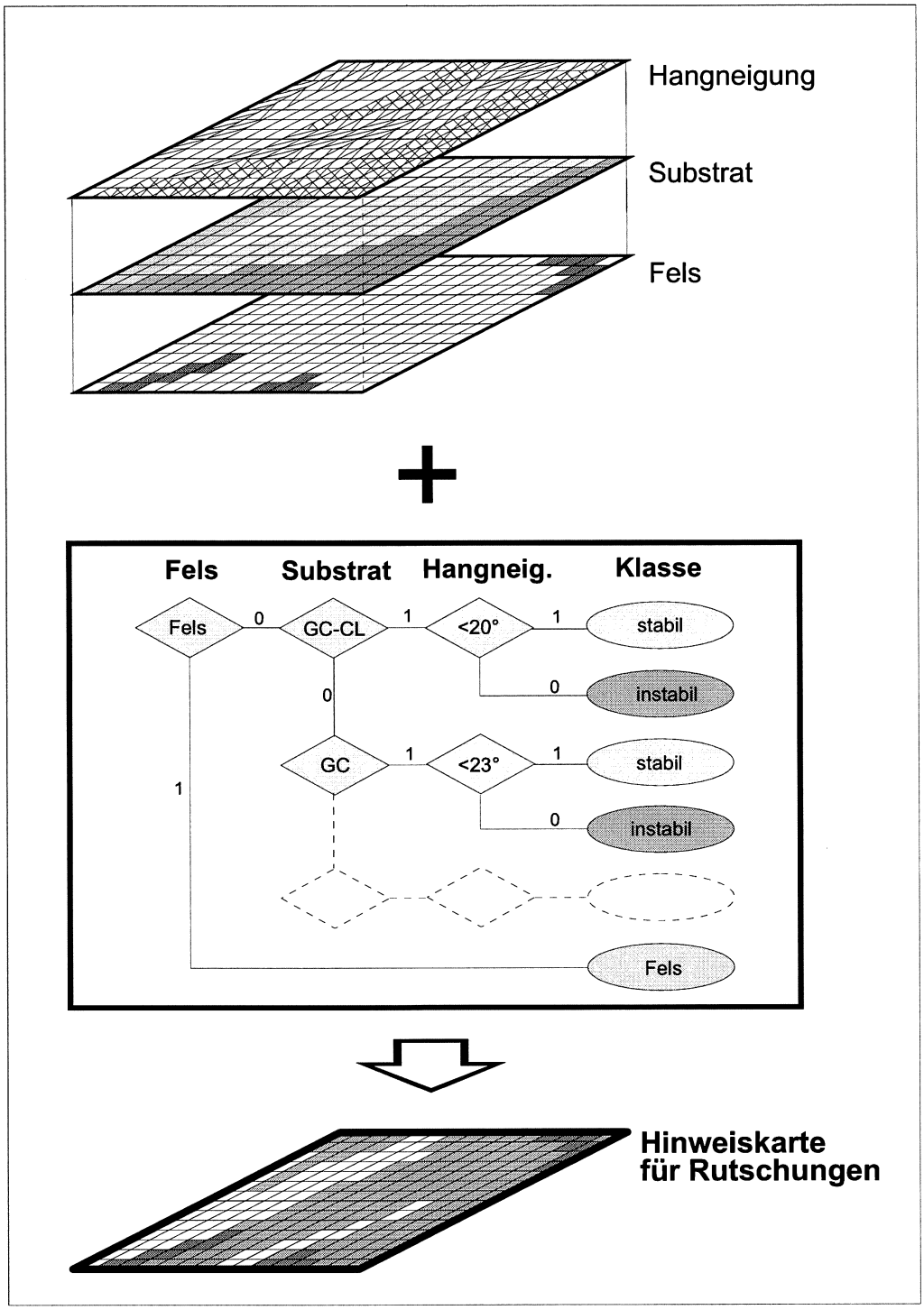


Abb. 8.21 Vorgehen bei der Erstellung der Dispositionskarte für rutschgefährdete Gebiete (Gefahrenhinweiskarte Rutschungen) mit Hilfe des Geographischen Informationssystems. Die Hangneigungskriterien werden den speziell für ein Untersuchungsgebiet erstellten Tabellen entnommen. Die tabellarische Zusammenstellung der Kenngrössen basiert auf den typischen geologischen und geotechnischen Verhältnissen im jeweiligen Untersuchungsraum (nach Liener 1995).

Hangneigungskarte

Auf der Basis des DHM25 kann über bestehende GIS-Funktionen mit geringem Aufwand für jede Rasterzelle die entsprechende Hangneigung ermittelt werden.

Substratkarte

Die Erhebung dieser Karte erfordert den grössten Aufwand bei Erstellung der Gefahrenhinweiskarte. Diese wichtigste Arbeit der Umsetzung der lithologischen Gegebenheiten in die entsprechenden geotechnischen Substratklassen muss aufgrund sehr guter Kenntnisse der lokalen geologischen Verhältnisse durchgeführt werden. Als Grundlage für die Modellierung müssen die nach USCS klassierten Substrat - Einheitsflächen digitalisiert werden.

Felsgebiete

Die Informationsebene Fels wurde bereits bei der Sturzmodellierung verwendet und findet hier eine weitere Anwendung. Im Dispositionsmodell wird die Information Fels direkt ausgeschieden und nicht mit den Hangneigungskriterien verknüpft.

8.3.4.2 Modellierung

Zur Interpretation der berechneten Hangneigungen und der digitalisierten Substratkarte muss dem geographischen Informationssystem ein Analyseschlüssel in Form einer Tabelle zur Verfügung gestellt werden. Für jedes Untersuchungsgebiet werden aufgrund der geologischen und geotechnischen Eigenschaften des Lockermaterials verschiedene Tabellen zusammengestellt.

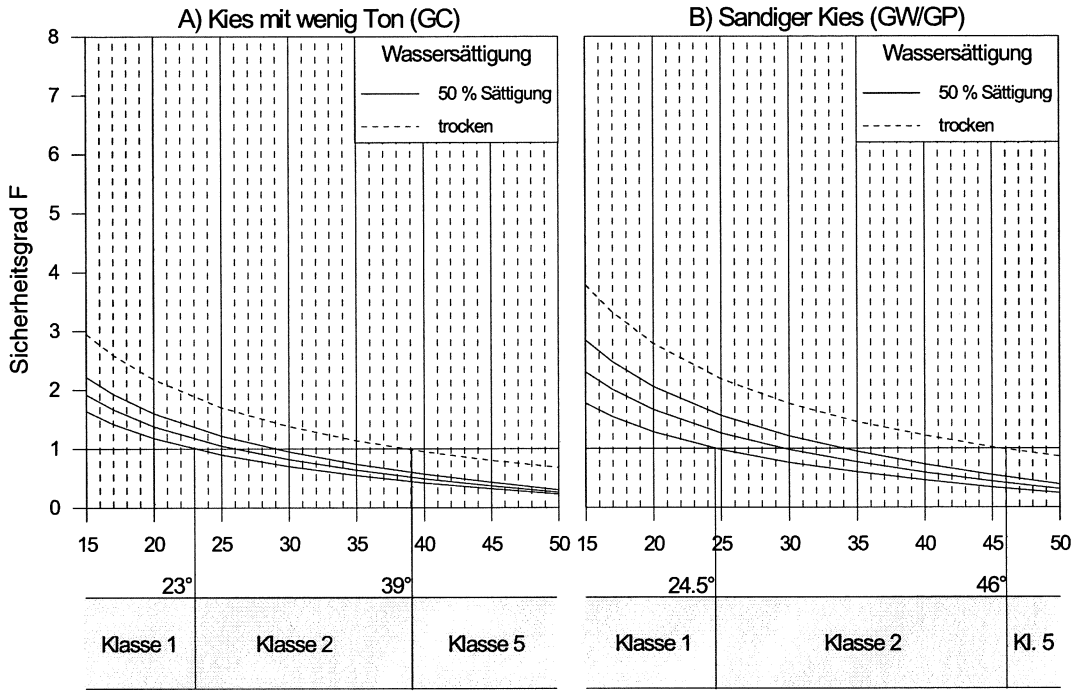


Abb. 8.22 Sicherheitsgrad F bei verschiedenen Hangneigungen für ausgewählte Substrate bei flachgründigen Rutschungen (Gleitfläche in 2m Tiefe); die ausgezogenen Linien zeigen den Verlauf des Mittelwertes und der Standardabweichung bei 50% Wassersättigung. Beispiel für eine Hangneigungsklassierung als Grundlage für die Modellierung (siehe Tabelle 8.5) der Gefahrenhinweiskarte (aus Liener 1995).

Klasse	*Definition (Dispositionstyp)*
Klasse 1	Rutschungen nur in Ausnahmefällen
Klasse 2	vorwiegend flach- und z.T. mittelgründige Rutschungen
Klasse 3	flach- und mittelgründige Rutschungen
Klasse 4	vorwiegend mittel- und z.T. flachgründige Rutschungen
Klasse 5	flachgründige Rutschungen und Erosion z.T. bis auf Fels
Klasse 6	Fels

Tab. 8.5 Klassierung der Rutsch - Dispositionstypen bei der Modellierung der Hinweiskarte für rutschgefährdete Gebiete mit Hilfe des Geographischen Informationssystems (nach Liener 1995).

In einem ersten Schritt müssen aus der geologischen Information die kritischen Hangneigungen festgelegt werden. Die Grundlage dazu bilden die für alle Substratklassen berechneten Diagramme der Sicherheitsgrade bezüglich verschiedener Hangneigungen. Mit Hilfe dieser Grundlage kann für jede Substratklasse ermittelt werden, bei welcher Hangneigung der Sicherheitsgrad F kleiner als 1 ist. Diese Grenze wird als kritische Hangneigung be-

zeichnet. Da für flach- und mittelgründige Rutschungen unterschiedliche Bruchmechanismen angenommen werden, muss die kritische Hangneigung für flachgründige und mittelgründige Rutschungen getrennt bestimmt werden (Liener 1995).

Im Symbolbaukasten zur Kartierung der Phänomene wird zwischen flach-, mittel- und tiefgründigen Rutschungen unterschieden. Dabei werden folgende Werte verwendet: Flachgründig < 2 m, mittelgründig 2-10m, tiefgründig > 10m.

Die Erstellung der Hinweiskarte für rutschgefährdete Gebiete erfolgt mit dem geographischen Informationssystem. Dabei erfolgt eine Verschneidung aller Informationsebenen (siehe Abb. 8.21), wobei jede Rasterzelle gemäss der vorgegebenen, gebietsspezifischen Tabelle klassiert wird (Tab. 8.5). Die Anzahl der Klassen wird für jedes Untersuchungsgebiet festgelegt.

Methodischer Hinweis

Die Umsetzung im Geographischen Informationssystem ArcInfo erfolgt gemäss Abbildung 8.21. Im folgenden werden die notwendigen ArcInfo-Befehle aufgeführt. Die beschriebenen Operationen können beispielsweise, sofern nicht anders erwähnt, im Modul GRID von ArcInfo durchgeführt werden.

Als Grundlage zur Erstellung der Dispositionskarte im GRID dienen drei Datenebenen:

- ***Hangneigung**: Die Hangneigung wird mit dem Befehl SLOPE aus den Höhenangaben des DHM25 berechnet.*

- ***Substrat**: Die aus den geologischen und geotechnischen Grundlagen abgeleitete Substratkarte wird von Hand hochgezeichnet und anschliessend digitalisiert. Die digitalisierte Karte liegt als «Coverage» vor und wird mit dem Befehl POLYGRID in ein «Grid» umgewandelt, das dieselbe Auflösung wie das DHM aufweist.*

- ***Fels**: Die Felsflächen werden aus den Layer Bodenbedeckung übernommen (vgl. Kap. 7.2.2).*

Zur Erstellung der Hinweiskarten werden die drei Datenebenen unter Einbezug der in Tabelle 8.5 aufgeführten Kriterien miteinander verknüpft. Abbildung 8.21 zeigt das Prinzip der Erstellung der Hinweiskarte, welche als Beispiel drei Klassen enthält.

Für die nachstehend beschriebenen Zuordnungen wird die Funktion IF... ELSE IF... ELSE... ENDIF verwendet, die zellenweise abläuft. Die Felsgebiete werden direkt in die Hinweiskarte übernommen. In einem ersten Schritt wird deshalb überprüft, ob die untersuchte Rasterzelle in einem Felsgebiet liegt oder nicht. Sofern dies zutrifft, wird dieser Rasterzelle die Klasse Felsgebiet zugeordnet. Liegt die Rasterzelle nicht im Felsgebiet, wird überprüft zu welcher Substratklasse sie gehört. Ist die Substratklasse festgelegt, wird getestet, ob die Hangneigung der untersuchten Rasterzelle kleiner oder grösser als die kritische Hangneigung der zugehörigen Substratklasse ist. Durch das Wiederholen dieses Vorganges für alle Rasterzellen des untersuchten Gebietes wird die Dispositionskarte erstellt.

Die mit diesem Verfahren erstellten Dispositionskarten weisen teilweise einzelne Rasterzellen einer Klasse isoliert in einer geschlossenen Fläche einer anderen Klasse auf. Solchen Rasterzellen wird der Wert der umgebenden Klasse zugewiesen. Damit erfolgt eine vernünftige Generalisierung, bei welcher «erratische Zellen» eliminiert werden. Auf der Massstabsebene 1:25'000 ist es aufgrund der räumlichen Auflösung der geologischen Informationen einerseits und der Genauigkeit des digitalen

Höhenmodells andererseits kaum sinnvoll, Klassierungen kleiner als eine halbe Hektare auszuscheiden.

Substrat	*Klasse 1*	*Klasse 2*	*Klasse 3*	*Klasse 4*	*Klasse 5*
	Rutschungen nur in Ausnahmefällen	vorwiegend flach- , z.T. mittelgründige Rutschungen	flach- und mittelgründige Rutschungen	vorwiegend mittel-, z.T. flachgründige Rutschungen	flachgründige Rutschungen u. Erosion z.T. bis auf Fels
GW/GP: Sandiger Kies	< 24.5°	24.5° - 46°	-	-	> 46°
GC: Kies mit wenig Ton	< 23°	23° - 39°	-	-	> 39°
GC-CL toniger Kies	< 20°	-	> 36.5°	20° - 36.5°	-
GC-CH: Kies mit Ton hoher Plastizität	< 19°	-	> 39°	19° - 39°	-
CL: Kiesiger toniger Silt	< 16.5°	-	16.5° - 49°	-	> 49°

Tab. 8.6 Hangneigungs-Grenzwinkel für bestimmte Substrate und Rutschungstypen. Entscheidungsmatrix zur Modellierung rutschgefährdeter Gebiete mit Hilfe des Geographischen Informationssystems (aus Liener 1995).

8.3.5 Vergleich der modellierten Hinweiskarten mit Geländekartierungen

Eine quantitative Bewertung der erstellten Hinweiskarten für Rutschungen erfolgte im Untersuchungsgebiet der Kleinen Schliere durch einen Vergleich mit der Geologischen Karte von Egli (1995). Dabei wurde die Güte der modellierten Hinweiskarte anhand von drei Bewertungsklassen bestimmt. Die Auswertung erfolgte mit Hilfe des GIS, dazu wurden die kartierten Rutschgebiete digitalisiert.

Flächen, bei denen die Computermodellierung die gleiche Klassierung ergab wie die Geländekartierung, wurden in der Beurteilungsklassierung als korrekt ausgeschieden. Weiter wurden Gebiete mit einer falschen Klassierung der Rutschprozesse ausgeschieden. Diese Flächen wurden sowohl im Gelände als Rutschungen kartiert, als auch in der modellierten Hinweiskarte als Rutschungen ausgewiesen, die Klassierungen sind jedoch unterschiedlich. Dies ist der Fall, wenn im Gelände beispielsweise in einem Gebiet vorwiegend flachgründige Rutschungen beobachtet wurden und die Modellierung für dieses Gebiet aber vorwiegend mittelgründige Rutschungen ergeben.

Die dritte Kategorie bezeichnet diejenigen Flächen, wo keine Übereinstimmung zwischen den Gegebenheiten im Gelände und den in der Hinweiskarte modellierten Klassen vorgefunden wurde.

Die Auswertung dieser Differenzen ergibt folgende Resultate:

Ohne die Unterteilung der modellierten Rutschflächen in flach- und mittelgründigen Rutschungen weisen 86% der modellierten Fläche eine korrekte Klassierung auf. Bei 14% der

Flächen ergab sich keine Übereinstimmung. Wird der Vergleich mit der Differenzierung der Rutschgebiete nach Flach- und Mittelgründigkeit durchgeführt, weisen noch 65% der untersuchten Flächen eine korrekte Klassierung auf. Bei 21% der Hinweisflächen wurde die Gründigkeit des Rutschprozesse falsch modelliert.

Die Gründe der Fehlinterpretationen der Computermodellierung sind sehr unterschiedlich. Zum einen wurden die Substrate räumlich zu wenig genau differenziert, beispielsweise wurde kleinräumig vorhandenes Moränenmaterial nicht ausgeschieden, und zum andern zeigte sich, dass die Klasse der vorwiegend mittelgründigen Rutschungen im Modell allgemein überschätzt wird. Die Geländekartierungen haben gezeigt, dass in diesen Fällen die Lokkermaterialmächtigkeit meist zu gering ist, und dort nur flachgründige Rutschungen auftreten können.

8.3.6 Zusammenfassung

Die ersten Versuche zur Auscheidung von rutschgefährdeten Gebieten zeigen selbst unter Verwendung von sehr wenigen Parametern recht gute Resultate. Es ist zu bemerken, dass die modellierten Gebiete nicht den gesamten Prozessraum abdecken, sondern streng genommen nur die Anrissgebiete für potentielle Rutschungen darstellen. Die Modellierung der möglichen «Auslauf-» bzw. Ablagerungsbereiche konnte im Rahmen des Moduls Naturgefahren nicht erarbeitet werden. Diese Problemstellung wird zur Zeit in andern Projekten untersucht, beispielsweise im Projekt der digitalen Gefahrenhinweiskarte des Kantons Solothurn. In diesem Projekt stehen auch flächendeckende geologische Aufnahmen in digitaler Form zur Verfügung. Das Vorhandensein dieser essentiellen Grundlage ermöglicht eine entscheidende Erweiterung der Modelle.

8.4 Zusammenfassung und Ausblick

Der Teil Gefahrenanalyse auf Richtplanebene des Moduls Naturgefahren gliederte sich in 3 Phasen. In der ersten Phase ging es darum, einerseits die theoretischen Modelle zur Ausscheidung der Wirkungsräume von gefährlichen Naturprozessen so zu beschreiben, dass diese in Computermodelle umgesetzt werden konnten, andererseits mussten die zur Umsetzung erforderlichen Grundlagendaten bereitgestellt werden. Die eigentliche Umsetzung der Modelle auf der Basis des DHM25, sowie die erforderlichen Tests und Modellanpassungen erfolgte in der Phase 2. Die Anwendung der erarbeiteten Modelle erfolgte in der Projektphase 3. Dabei ist zu bemerken, dass der Übergang von Phase 2 in Phase 3 für viele Teilbereiche fliessend war. Dementsprechend sind im vorliegenden Bericht verschiedene Entwicklungsschritte nicht explizit erörtert.

8.4.1 Projektphase 1

In den Kapiteln 8.1 - 8.4 wurden die im Rahmen des Moduls entwickelten Methoden zur EDV-gestützten Erstellung von Gefahrenhinweiskarten für verschiedene Gefahrentypen erörtert.

Beim Beginn der vorliegenden Studie im Jahr 1992, waren gerade die ersten grösseren zusammenhängenden Gebiete in Gebirgsräumen als DHM verfügbar. Die wichtigste Grundlage für die Anwendung von Computermodellen zur Simulation von gefährlichen Naturprozessen auf der Richtplanstufe war damit vorhanden.

Die Entwicklung des Handlings von grossen Datensätzen und komplexen dreidimensionalen Modellierungen nahm ihren Anfang. Dabei ist zu beachten, dass die Daten und die Modellierungsprogramme sowohl auf Workstations als auch auf Personal Computern zu verarbeiten und auszuführen waren.

In der ersten Projektphase mussten das Datenhandling optimiert und teilweise automatisiert werden. Besonders hervorzuheben sind folgende Arbeitsschritte:

- Die Aufbereitung des Basismodells des DHM25 für die verschiedenen Modellierungen auf unterschiedlichen Systemen und Programmen erforderte umfangreiche Tests sowohl von der Seite der Datengüte (Rasterauflösung), als auch vom Datentransfer in verschiedene Formate.
- Die Gewinnung der notwendigen Information aus den Daten der Pixelkarte durch Mustererkennung.
- Die Organisation und der Datenaustausch von grossen Datenmengen auf den verschiedenen Datenträgern, für unterschiedliche Systeme (DOS, WinNT, OS/2, UNIX) und Software - Produkte (ArcInfo, SPANS, Microstation usw.).
- Die Datensätze zum Schadenpotential waren sowohl von der Datenstruktur als auch vom Datenumfang «unproblematisch», zumal sie vom Bundesamt für Statistik bereits in georeferenzierter Form zur Verfügung gestellt werden. Die Übernahme dieser Daten in die verschiedenen Systeme war i.a. problemlos.

8.4.2 Projektphasen 2 und 3

In der zweiten Projektphase wurden die theoretischen Überlegungen zur Modellierung der Prozessräume in Computerprogramme und GIS-Applikationen umgesetzt und anhand von praktischen Beispielen getestet und laufend weiterentwickelt. Durch das interdisziplinäre

Arbeiten in aktuellen Projekten konnten stets kritische Diskussionen geführt werden. Im Testgebiet der Kleinen Schliere (Forstamt Obwalden) konnten vor allem im Bereich der Wildbach- und Rutschgefahrenbeurteilung auf der Basis von hochwertigen Grundlagendaten und kompetenten lokalen Praktikern optimale Tests durchgeführt werden.

Als ein Glücksfall ist die Mitarbeit des Moduls Naturgefahren im Pilotprojekt (Vorstudie) zur Erstellung der digitalen Gefahren - Hinweiskarte des Kantons Bern zu bezeichnen (vgl. Anhang B). In diesem Projekt, das unter der Leitung der Abteilung Naturfgefahren des Waldamtes des Kantons Bern vom November 1993 bis März 1995 durchgeführt wurde, konnten erstmals ganze Landeskartenblätter 1:25'000 bearbeitet werden. Das Bundesamt für Landestopographie stellte der Eidg. Forstdirektion zu Handen des Moduls Naturgefahren das DHM25 von vier Kartenblättern zur Verfügung. Die Arbeit mit grossen Datensätzen und die Anwendung der Modelle in unterschiedlichen topographischen, geologischen und geomorphologischen Räumen konnte erstmals getestet werden.

8.4.2.1 Wildbachprozesse

In Kapitel 8.1 wurde an verschiedenen Stellen auf die Arbeiten im Rahmen des Nationalen Forschungsprogramms 31 «Klimaänderungen und Naturkatastrophen» verwiesen. Im Projekt «Murgänge und GIS» (Zimmermann et al. 1997) wurden verschiedene Methoden für die Simulation von Murgängen weiterentwickelt. Die wichtigsten Ergebnisse dieses Projektes sollen als Ergänzung an dieser Stelle aufgeführt werden.

Ausscheidung von Hanganrissbereichen

Neben den Murganganrissen in Gerinnen können vor allem in höhergelegenen Gebieten auch Murgänge aus Schutthalden von Bedeutung sein. Dabei werden zwei Anrisszonen unterschieden:

- Anrisszone 1: Diese Anrisszonen liegen in steilen, wenig konsolidierten Lockermaterialmassen (Moränen oder glaziale Talverfüllungen). Der Anbruchmechanismus besteht in einer Wassersättigung des Lockermaterials mit nachfolgendem Abgleiten (Hanginstabilität). In vielen Fällen kann rückschreitende Erosion beobachtet werden. Oberflächenabfluss ist meistens kaum von Bedeutung. In Permafrostgebieten können sich flachgründige Rutschungen in der Auftauschicht ereignen. Voraussetzungen für diese Anrisszone ist das Vorkommen von offenem Schutt, eine Hangneigung zwischen 27° und 38° sowie eine Einzugsgebietsgrösse oberhalb der Anrisszone von mindestens 0.5 ha.
- Anrisszone 2: Diese Zone liegt im Kontaktbereich von steilen Felswänden und Schutthalden. In den Felswänden wird das Wasser konzentriert und gelangt anschliessend in die Schutthalden. Als Anbruchmechanismus kommen die Hanginstabilität oder die Instabilität der Bachsohle in Frage. In vielen Fällen kann progressive Erosion beobachtet werden. Für diese Zonen müssen die Bedingungen «offener Schutt», «Hangneigung grösser 25°», «Einzugsgebiet grösser 0.5 ha» und «Fels oberhalb» erfüllt sein.

Für die Ausscheidung der Anrissgebiete in der Zone 1 werden die Oberflächenbeschaffenheit (offener Schutt), die Hangneigung (abgeleitet aus dem DHM) und die Einzugsgebietsgrösse oberhalb jeder Rasterzelle überlagert. Für die Ermittlung der Einzugsgebietsgrösse in den Hängen sind die in Geographischen Informationssystemen enthaltenen Algorithmen normalerweise schlecht geeignet, da für die Einzugsgebiets-Aggregation jeweils nur die steilste Verbindung zwischen zwei Zellen als Nachfolger berücksichtigt wird (singleflowdirection). Ein solcher Algorithmus ist für die Abbildung von Oberflächenabflüssen geeignet, nicht aber für die Abbildung von Wasserflüssen im Boden. Dazu wird ein Ansatz benötigt, der mehrere Zellen als Nachfolger berücksichtigen kann (multipleflowdirection). Ein solcher An-

satz wurde von Quinn et al. (1991) beschrieben. Für die Bestimmung der Einzugsgebietsgrösse in den Hängen wird deshalb ein multipleflowdirection-Algorithmus verwendet, mit Ausnahme der Felsgebiete, wo Oberflächenabfluss dominiert und deshalb ein singleflowdirection-Algorithmus zum Einsatz kommt.

Die Ausscheidung der Anrissgebiete in der Zone 2 erfolgt grundsätzlich nach dem gleichen Verfahren wie bei den Anrisszonen 1. Zusätzlich wird über die Auswertung der aus dem DHM abgeleiteten Fliessrichtungen geprüft, ob oberhalb der möglichen Anrissgebiete eine Felsfläche existiert.

Simulation der Wirkungsbereiche von Murgängen

Wie in Kapitel 8.1.3 erwähnt wurde, ist im Rahmen des NFP 31 ein neues Murgang-Simulationsmodell, basierend auf dem Lawinenmodell von Perla et al. (1980), entwickelt worden.

Das Modell berechnet abschnittsweise die Geschwindigkeit eines Murganges entlang des Fliessweges. Neben dem mittleren Gefälle pro Abschnitt basiert das Modell auf 2 Reibungsparametern: einem Gleitreibungswert μ und einem Wert der inneren Reibung M/D (mass to drag ratio, gemäss Perla et al. 1980). Dabei beeinflusst M/D die Geschwindigkeit im steilen Bereich der Trajektorie. Dort ist der Einfluss von μ bescheiden. Auf den Auslauf hat M/D einen geringen Einfluss. Hier kontrolliert der μ-Wert die Auslauf-Bedingung.

Der Parameter μ kann entlang der Strecke variieren. Er wird als abhängiger Parameter von der Einzugsgebietsgrösse (Indikator für den Abfluss) gesetzt.

Für die Abbildung der Ausbreitung wird im neuen Murgangmodell ein «random walk-Ansatz» verwendet. Beim «random walk-Ansatz» wird der Nachfolger einer Rasterzelle zufällig gewählt. Die Wahrscheinlichkeit, dass eine Rasterzelle als Nachfolger gewählt wird, ist einerseits von der Hangneigung abhängig, andererseits von der bisherigen Fliessrichtung des Murganges (Persistenz). Für die Auswahl der möglichen Nachfolger einer Rasterzelle wird der oben beschriebene Multipleflowdirection-Ansatz verwendet.

8.4.2.2 Sturzprozesse

In Kapitel 8.2 wurde die Beurteilung der Sturzgefahr mit Hilfe der Modellierung des Prozessraumes erörtert. Das im Rahmen des Moduls entwickelte Pauschalgefällemodell basiert vollumfänglich auf Funktionen von Geographischen Informationssystemen. Obwohl das Modell auf dem Softwareprodukt SPANS entwickelt wurde, ist der Lösungsansatz auch auf andern rasterorientierten GIS anwendbar. Das bestehende Trajektorienmodell Zinggeler+Geotest konnte für Vergleichstests beigezogen werden. Durch die Anwendung beider Modelle in denselben Untersuchungsgebieten konnten auch die Vor- und Nachteile beider Modelle dargestellt werden.

8.4.2.3 Rutschprozesse

Die Modellierung von Rutschprozessen bzw. die Ausscheidung von potentiellen Prozessräumen (Ausbruch und Ablagerung), erwies sich als die schwierigste Aufgabe. Die im Rahmen einer Diplomarbeit (Liener 1995) am Geographischen Institut der Universität Bern erarbeiteten Grundlagen bieten eine gute Ausgangslage für die Weiterentwicklung der Modelle. Sobald die für diesen Prozesstyp besonders wichtigen Grundlagendaten der Geologie und Geotechnik in digitaler Form vorliegen, werden neue Möglichkeiten in der dreidimensionalen Rutschmodellierung eröffnet.

8.4.3 Ausblick

In diesem Kapitel werden aufgrund der Erfahrungen mit den Modellierungen einerseits und der Sichtung des Hard- und Softwaremarktes andererseits, die möglichen Weiterentwicklungen skizziert.

8.4.3.1 Grundlagendaten

Die Grundlagendaten sowohl des Bundesamtes für Statistik als auch des Bundesamtes für Landestopographie werden ständig erweitert und verbessert. Dazu 3 Beispiele:

- Mit der Erarbeitung des Projektes VECTOR25 des Bundesamtes für Landestopographie wird ein weiteres digitales Kartenwerk zur Verfügung stehen, mit dessen Integration in die Modelle exaktere Modellierungen ermöglicht werden.
- Die geplante Neuerhebung der Daten zur Landnutzung der Schweiz durch das Bundesamt für Statistik (BFS), mit modernen Fernerkundungsmethoden wird v.a. für die Umsetzungsanalysen neue Möglichkeiten schaffen.
- Die Umsetzung der Geologischen Kartenwerke der Schweiz in eine digitale Form wird z.Z. getestet. Es ist zu hoffen, dass dieses Werk möglichst rasch realisiert wird, damit die erwähnten Lücken in den Modellen geschlossen werden können.

Zudem werden in Zukunft vermehrt private Anbieter digitale Datensätze auf den Markt bringen, die komplexe Modellierungen und Analysen ermöglichen werden.

8.4.3.2 Modelle

Auf der Basis des DHM25 wurden im Rahmen dieses Moduls erstmals Modellierungen der Wirkungsräume von gefährlichen Naturprozessen durchgeführt. Die hier erarbeiteten Modellansätze bilden die Basis zur Weiterentwicklung. Im Rahmen von Forschungsarbeiten an den verschiedenen Instituten werden Modelle teilweise bereits weiterentwickelt.

8.4.3.3 Technische Hilfsmittel

Die rasante Entwicklung der EDV v.a. im Hardware - Bereich haben bereits während den Arbeiten im Modul Naturgefahren zu einschneidenden Veränderungen geführt. Durch die massive Reduktion der Kosten von RAM - Speichermodulen z.B von 1994 bis 1996 um ca. 50% einerseits, und auch eine ähnliche Reduktion der Preise bei den Speichermedien, z.B. Harddisk, erlaubten einen entscheidenen Ausbau der Programme und der Berechnungsperimeter. Beispielsweise konnte bis vor kurzer Zeit die Sturz-Modellierung eines ganzen Kartenblattes nicht in einem Arbeitsgang durchgeführt werden. Auch die Probleme der Modellierungen im Anschlussbereich zu den benachbarten Kartenblättern gehören dank Speichermedien mit einer Kapazität von mehreren Gbyte weitgehend der Vergangenheit an.

Auch auf der Ausgabeseite wurden in den vergangenen drei Jahren massive Fortschritte erzielt. Zum Projektbeginn war es kaum möglich, ganze Landeskartenblätter 1:25'000 als thematische Karten mit gescanntem Rasterhintergrund auf einem Tintenstrahldrucker zu Papier zu bringen. Aufwendige Sandwichkopierverfahren dienten als Notlösung.

Die Erstellung von digitalen Gefahrenhinweiskarten auf Richtplanebene wird in Zukunft durch die rasante andauernde Entwicklung im EDV-Bereich einerseits noch erleichtert werden, andererseits werden aber auch in der Anwendung der Computerprogramme und Simulationsmodelle grössere Anforderungen gestellt. Durch die zunehmende Verbreitung der

geographischen Informationssysteme in öffentlichen Ämtern und privaten Büros wird zudem die Erstellung von digitalen Datensätzen attraktiver.

Bei den Modellentwicklungen darf die Hauptarbeit der Verifikation der Modellierungen im Gelände nicht vergessen werden. Die Umsetzung der Gefahrenhinweiskarten von der Richtplanung in die Nutzungsplanung durch die Erarbeitung von Gefahrenkarten erfordert intensive Geländebegehungen und -analysen. Die Modellierungen dienen hier nur als Ergänzung.

8.5 Literatur

8.5.1 Allgemein

BFS (1992): Die Bodennutzung der Schweiz, Band 2, Raum, Landschaft und Umwelt, Kategorienkatalog zur Arealstatistik, Bundesamt für Statistik (BFS), Bern.

BFS (1992): GEOSTAT Benützerhandbuch. Bundesamt für Statistik (BFS), Bern.

BUWAL; BWW (1996): Symbolkasten zur Kartierung der Phänomene. Schriftenreihe Naturgefahren. EDMZ, Bern.

Bollinger, D.; Noverraz, F. (1996): Pilotstudie Karte der Bodenbewegungsgefahren 1:25'000 Blatt 1247 Adelboden; Vereinheitlichung der Aufnahme von Naturgefahren in der Schweiz. Landeshydrologie und -geologie, Geologische Berichte Nr. 20, Bern.

Kienholz, H. (1995): Gefahrenbeurteilung und -bewertung - auf dem Weg zu einem Gesamtkonzept. In Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen 146. Jg Nr. 9, September 1995, 701 – 725.

Kienholz, H.; Krummenacher, B. (1995): Symbolbaukasten zur Kartierung der Phänomene, Empfehlungen, Ausgabe 1995. Mitt. BWW, Nr.6, BUWAL, Bern, EDMZ Nr. 320.022d, Bern.

Krummenacher, B. (1995): Modellierung der Wirkungsräume von Erd- und Felsbewegungen mit Hilfe geographischer Informa-tiossysteme (GIS). In Schweizerische Zeitschrift für Forst-wesen 146. Jg Nr. 9, September 1995, 741 – 761.

Kienholz, H.; Krummenacher, B.; Mani, P. (1996): FAN–Herbstkurs: Kursteil 1, Kartierung der Phänomene; Kursteil 2, Erstellung von Gefahrenhinweiskarten / Umsetzung von Gefahrenkarten in die Nutzungsplanung; Kursteil 3 DEV - gestützte Modellierung von Gefahren - Hinweiskarten; Kursdokumentation 16. - 18.10.1996, Lenk. (zitiert: FAN 1996).

8.5.2 Beurteilung der Wildbachgefahr

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

Beven, K.J. (1986): Runoff production and flood frequency in catchments of order n: an alternative approach. In Gupta, V.K., Rodriguez-Intrube, I. and Wood, E.F. (Hrsg.) Scale Problems in Hydrology. Reidel, Dordrecht.

Beven, K.J.; Lamb, R.; Quinn, P.; Romanowicz, R.; Freer, J. (1995a): TOPMODEL. In Singh, V.P. (Hrsg.) Computer Models of Watershed Hydrology. Water Resources Publications, Co.

Beven, K.J.; Lamb, R.; Quinn, P.; Romanowicz, R.; Freer, J. (1995b): TOPMODEL and GRIDATB: A User's Guide to the Distribution Versions, CRES Technical Report TR110 (2nd Edition), Lancaster University.

Bunza, G.; Karl, J.; Mangelsdorf, J. (1982): Geologisch-morphologische Grundlagen der Wildbachkunde. Schriftenreihe des Bayerischen Landesamtes für Wasserwirtschaft, Heft 17. München.

BWW (1991): Ursachenanalyse der Hochwasser 1987. Ergebnisse der Untersuchungen. Mitteilung des Bundesamter für Wasserwirtschaft Nr. 4 und Mitteilung der Landeshydrologie und -geologie Nr. 14. Bern.

Düster, H. (1994): Modellierung der räumlichen Variabilität seltener Hochwasser in der Schweiz. Geographica Bernensia, G44. Bern.

Hewlett, J.; Nutter, W. (1970): The varying source area of streamflow from upland basin. Proc. Symposium on Watershed Management, ASCE, 65-83.

Kienholz, H.; Keller, H.; Ammann, W.; Weingartner, R.; Germann, P.; Hegg, Ch.; Mani, P.; Rickenmann, D. (1997): Zur Sensitivität von Wildbachsystemen. Schlussbericht NFP31-Projekt. (im Druck).

Kölla, E. (1986): Zur Abschätzung von Hochwassern in Fliessgewässern an Stellen ohne Direktmessungen. Mitteilungen der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie, Nr. 87. Zürich.

Spreafico, M.; Lehmann, C.; Naef, O. (1996): Empfehlung zur Abschätzung von Feststofffrachten in Wildbächen. Teil I, Handbuch. Arbeitsgruppe für operationelle Hydrologie, Mitt. Nr. 4, Landeshydrologie und -geologie, Bern.

Perla, R.; Cheng, T.T.; Mc Clung, D.M. (1980): A two parameter model of snow avalanche motion; J. Glaciology, Vol. 26, no. 94: 197-208.

Quinn, P.F.; Beven, K.J.; Chevallier, P.; Plancon, O. (1991): The Prediction of Hillslope Flow Pathes for Distributed Hydrological Modelling Using Digital Terrain Models. Hydrological Processes, 5: 59-79.

Stiny, J. (1931): Die geologischen Grundlagen der Verbauung der Geschiebeherde in Gewässern. Wien.

Strahler, A.N. (1957): Quantitative analysis of watershed geomorphology. Trans. Am. Geophys. Union, vol. 38:913-920.

Strunk, H. (1988): Episodische Murschübe in den Pragser Dolomiten - semiquantitative Erfassung von Frequenz und Transportmenge. Z Geomorph. N.F., Suppl.-Bd. 70:163-186. Berlin, Stuttgart.

Zeller, J. (1974): Starkniederschläge und ihr Einfluss auf Hochwasserereignisse. EAFV Bericht Nr. 126. Birmensdorf.

Zeller, J. (1985): Feststoffmessung in kleinen Gebirgseinzugsgebieten. In: Wasser-Energie-Luft, H. 7/8: 246-251.

Zimmermann, M. (1989): Geschiebeaufkommen und Geschiebebewirtschaftung. Grundlagen zur Abschätzung des Geschiebehaushaltes im Emmental. Geographica Bernensia, G34. Bern.

Zimmermann, M.; Mani, P.; Gamma, P. (1997): Murganggefahr und Klimaänderung - ein GIS-basierter Ansatz. vdf Hochschulverlag. Zürich.

8.5.3 Beurteilung der Steinschlaggefahr

Bozzolo, D.; Pamini, R.; Hutter, K. (1988): Rockfall analysis - a mathematical model and ist test with field data. Landslides, proc. of the fifth internat. Symp. on landslides: 555-560, Balkeema, Rotterdam.

Descoeudres, F.; Zimmermann, T. (1987): Three-dimensional dynamic calculation of rockfalls. Proc. 6th Internat. Congr. On Rock Mechanics: 337-342.

Erismann, T. (1986): Flowing, Rolling, Bouncing, Sliding: Synopsis of Basic Mechanisms. Acta Mechanica 64: 104-110, Springer.

Gerber, W. (1991): Steinschlagversuche Beckenried 1988-1991, Auswertungen und Resultate. Interner Bericht, WSL, Birmensdorf. 19 S.

Gerber, W. (1994): Beurteilung des Prozesses Steinschlag. Schweiz. Forstliche Arbeitsgruppe Naturgefahren (FAN) Herbstkurs vom 20 - 22. Oktober 1994 Poschiavo, Kursunterlagen.

Gerber, W.; Böll, A.; Rickli, CH.; Graf, F. (1994): Schutzmassnahmen gegen Steinschlag. FAN- Kurs 1995, Vitznau, WSL.

Grunder, M. (1984): Ein Beitrag zur Beurteilung von Naturgefahren im Hinblick auf die Erstellung von mittelmassstäbigen Gefahrenhinweiskarten (mit Beispeilen aus dem Berner Oberland und der Landschaft Davos). Diss. am Geographischen Institut der Universität Bern, Geographica Bernensia Reihe G23.

Gsteiger, P. (1989): Steinschlag - Wald - Relief, Empirische Grundlagen zur Steinschlag-simulation. Diplomarbeit am Geographischen Institut der Universität Bern.

Heierli, W.; Merk, A.; Temperli, A. (1981): Schutz gegen Steinschlag. Forschungsarbeit 6/80 auf Antrag der Vereinigung Schweizerischer Strassenfachleute (VSS). Bundesamt für Strassenbau, Bern. 120 S.

Heierli, W.; Merk, A.; Temperli, A. (1985): Schutz gegen Steinschlag. (2. Auflage). Forschungsarbeit 21/83 auf Antrag der Vereinigung Schweizerischer Strassenfachleute (VSS). Bundesamt für Strassenbau, Bern. 100 S.

Heim, A. (1932): Bergsturz und Menschenleben. Frets&Wasmuth, Zürich.

Jahn, J. (1990): Steinschlagversuche Risleten Beckenried 1988-1989. Dokumentation. Interner Bericht WSL, Birmensdorf. 57 S.

Krummenacher, B. (1993): Naturgefahren Obermatte Ergisch, Schweiz. Forstliche Arbeitsgruppe Naturgefahren (FAN) Herbstkurs vom 22. September 1993, Kursunterlagen.

Scheller, E. (1970): Geophysikalische Untersuchungen zum Problem des Taminser Bergsturzes. Diss.Nr.4560, ETH Zürich.

Spang, R. M. (1988): Empirical and mathematical approaches to rockfall protection and their practical applications. - Proc. 5th. Int. Symp. Landslides, Lausanne, 1.237 - 1.243.

Zinggeler, A. (1989): Die Modellierung der Steinschlaggefahr in Gebirgswäldern. Diplomarbeit am Geographischen Institut der Universität Bern.

Zinggeler, A.; Krummenacher, B.; Kienholz, H. (1991): Steinschlagsimulation in Gebirgswäldern. Fachtagung der Schweizerischen Geomorphologischen Gesell-schaft, 22./23. Juni 1990. Berichte und Forschungen Geographisches Institut Fribourg / CH, Vol. 3: 61-70 (1991).

8.5.4 Beurteilung der Rutschgefahr

Bollinger, D.; Noverraz, F.; Bonnard, CH.; Kellerhals, P. (1993): Die vereinheitlichte Darstellung von Bodenbewegungsgefahren. - Comité national Suisse de la décennie internationale de l'ONU Prévention des catastrophes naturelles (IDNDR), Rapport sur les études, Berne, Octobre 1993.

Egli, D. (1995): Geologie und Hanginstabilitäten im Einzugsgebiet der Kleinen Schliere. unveröff. Diplomarbeit, Geol. Inst. d. Univ. Zürich.

Hunziker, G. (1996): Auswirkungen des lithologischen Untergrundes auf die Rutschanfälligkeit des Gebietes Leissigen- Morgenberghorn. Diplomarbeit, Geogr. Inst. d. Univ. Bern.

Krummenacher, B.; Jordan, P. (1996): Computermodellierte Gefahrenhinweiskarte des Kantons Solothurn, Tagungspublikation GEOLOGIS '96, Bern; 28. 11. 1996.

Krummenacher, B.; Jordan, P. (1996): GIS-gestützte Erstellung von Gefahrenhinweiskarten; Tagungsbeilage, 12. Bodensee-Tagung Ingenieurgeologie, Bad Säckingen, 8.11.1996.

Krummenacher, B.; Mani, P.; Hegg, Ch.; Liener, S. (1997): Das Wildbachsystem - Prozesse, Bewertung, Massnahmen, Gefahren Hinweiskarten, Fachkolloquium am Bayrischen Landesamt für Wasserwirtschaft, München, 14.11. 1996. Tagungspublikation in Vorbereitung.

Liener, S. (1995): Entwicklung eines Dispositionsmodells zur Abgrenzung Rutschgefähr-deter Gebiete. Diplomarbeit am Geographischen Institut der Universität Bern.

Liener, S.; Liniger, M.; Krummenacher, B.; Kienholz, H. (1996): Abgrenzung rutschgefährdeter Gebiete - Entwicklung eines Dispositionsmodells. Interpraevent 1996, Garmisch-Partenkirchen.

Liener, S.; Liniger, M.; Krummenacher, B.; Kienholz, H. (1996): slidisp / a procedure to Locate Landslide prone areas. Seventh International Symposium on Landslides ISL 1996, Trondheim.

Mulder, H.F.H.M. (1991): Assessment of landslide hazard. Faculty of Geographical Siences, Univ. of Utrecht, Utrecht.

Nash, D. (1987): A comparative review of limit equilibrium methods of stability analysis. In Anderson, M. G., Richards, K. S. (ed.): Slope stability. Wiley&Sons, Chichester.

SNV 670 010a (1993): Bodenkennziffern. In VSS Normen, Band 8: Böden und mineralische Baustoffe. VSS, Zürich.

Teil III

Vorbemerkungen zu Kapitel 9

Ein systematisiertes Konzept zur Gefahrenanalyse auf der Ebene Nutzungsplanung bzw. auf Projektebene dient der Erarbeitung von gesamtschweizerisch vergleichbaren fachlichen Grundlagen

- *für die Bezeichnung von Gefahrenzonen (Nutzungsplanung) bzw.*
- *für die Ausarbeitung von waldbaulichen Vorprojekten und weiteren Projekten zum Schutz vor Naturgefahren.*

Wie in Kapitel 3.3.1 erläutert wurde, sind in der Schweiz im Rahmen der Ortsplanung (kommunale **Nutzungsplanung**) Zweck, Ort und Mass der Bodennutzung für jedermann verbindlich festzulegen. Dabei müssen die Inhalte der Gefahrenkarte berücksichtigt werden. Gefahrenkarten bilden auf Ebene Nutzungsplanung **eine** der verschiedenen Grundlagen für die Zonenplanung.

Gemäss Kreisschreiben Nr. 17 des BUWAL (Eidg. Forstdirektion) sind im **Forstwesen** zur Beschaffung von Bundesmitteln für die Erstellung von «Schutzbauten und Anlagen» sowie für die «Waldbegründung und Pflege» jeweils eine Vorstudie und ein Vorprojekt einzureichen. Die Vorstudie muss einen technischen Bericht enthalten, in dem u.a. die gefährlichen Prozesse und das Schadenpotential darzustellen sind und die Risiken für Menschen und erhebliche Sachwerte quantifiziert sein müssen. Im Vorprojekt ist u.a. ein Projektplan einzureichen, zu welchem neben anderen Unterlagen auch eine Gefahrenkarte 1:10'000 (und grösser, siehe Kreisschreiben Nr. 13 des BUWAL, Eidg. Forstdirektion) verlangt wird.

Gefahrenkarten sind somit nicht nur für die Raumplanung an sich, sondern auch im Zusammenhang mit forstlichen Vorprojekten zu erstellen, die auf den Schutz vor Naturereignissen abzielen. Wegen der oft engen Verknüpfung beider Zielsetzungen sind die folgenden Ausführungen grundsätzlich auf die Ausarbeitung von Gefahrenkarten jeder Art ausgerichtet, die auf der Ebene Nutzungsplanung bzw. forstliche Vorprojekte ausgearbeitet werden.

Dabei werden:

- zuerst inhaltliche Grundstrukturen und Ansprüche dargestellt, denen Gefahrenkarten auf der Ebene Nutzungsplanung gerecht werden müssen und anschliessend
- einige Hinweise zur Beurteilungsmethodik und zur allgemeinen Vorgehensweise gegeben.

Auf einzelne Beurteilungsmethoden und -modelle für die verschiedenen Gefahrenarten wird dagegen nicht eingegangen. Hierzu muss auf die Spezialliteratur verwiesen werden. Die Wahl der einzelnen Methoden muss sich nach dem «Regeln der Kunst» (vgl. Kap. 3.4.1), nach den örtlichen Gegebenheiten und den zur Verfügung stehenden Mitteln richten.

Ausserdem werden Methoden und Modelle laufend weiter oder neu entwickelt, so dass sich der Bearbeiter immer wieder mit dem neuesten Stand der Entwicklungen vertraut machen sollte.

Die verwendeten Methoden sind somit immer als Bausteine in einer Gesamtstruktur zu verstehen. Entscheidend ist, dass sie sinnvoll und immer mit der nötigen (Selbst-) Kritik eingesetzt werden. Plausibilitätsüberprüfungen und Verifikationen sind in jedem Falle unerlässlich.

9 Gefahrenbeurteilung und -bewertung auf der Ebene Nutzungsplanung und forstlicher Vorprojekte

9.1 Struktur und Inhalt von Gefahrenkarten

Gefahrenkarten auf der Ebene Nutzungsplanung geben Auskunft über Gefahrenart, Intensität und Eintretens-Wahrscheinlichkeit des Gefahrenereignisses.

Gefahrenkarten, die als Grundlage für die Nutzungsplanung oder im Rahmen eines forstlichen Vorprojektes erstellt werden, sind ausschliesslich nach wissenschaftlichen Kriterien zu erarbeiten. Die Gefährdung ist unabhängig von der momentanen Nutzung aufzuzeigen. Bestehende Schutzmassnahmen (Konzept, Ausführung, Zustand, Wirksamkeit) sind zu berücksichtigen.

Mit der Erarbeitung und Anwendung von Gefahrenkarten sind verschiedene Instanzen und verschiedene Berufsgruppen konfrontiert. Deshalb hat eine Arbeitsgruppe im Auftrag der Eidg. Forstdirektion, der Landeshydrologie und -geologie (BUWAL) und des Bundesamtes für Wasserwirtschaft (BWW) ein Konzept zu einer stufengerechten (Bund, Kantone, Gemeinde) und kohärenten Praxis im Bereich Beurteilung und Bewertung von Naturgefahren entwickelt. In engem Kontakt mit Fachpersonen in Praxis und Forschung und unter Beachtung der bereits bestehenden «Richtlinien zur Berücksichtigung der Lawinengefahr bei raumwirksamen Tätigkeiten» (BFF et SLF 1984) hat die Arbeitsgruppe Vorschläge für eine **vergleichbare Bewertung und Behandlung der verschiedenen Naturgefahren** ausgearbeitet. Dabei ging es in diesem Schritt primär um eine Harmonisierung der Beurteilungs- und Bewertungs**grundsätze** im Hinblick auf die **Erstellung von Gefahrenkarten auf der Ebene Nutzungsplanung (Ortsplanung)**.

9.1.1 Allgemeine Bedeutung der Gefahrenstufen

Gefahrenkarten stellen das Produkt aus verschiedenen untersuchten Szenarien dar. Die einzelnen Gefahrenarten mit ihren möglichen Schadenwirkungen bedürfen dabei einer einheitlichen Darstellung und Bewertung, wenn sie in der Nutzungsplanung berücksichtigt werden sollen. In den Erläuterungen zum Bundesgesetz über die Raumplanung (EJPD et BRP 1981) wird auf die Notwendigkeit einer Bewertung hingewiesen. Dabei unterscheidet Egli (1996: 61) zwischen einer Kollektiv- und einer Individualbetrachtung:

- Massstab der Kollektivbetrachtung: Grösse der betroffenen Fläche;
- Massstab der Individualbetrachtung: Intensität zur Charakterisierung der örtlich unterschiedlichen Wirkung der verschiedenen Gefahren.

Die Individualbetrachtung führt zu einer Bewertung des einzelnen Standortes. Sie ist somit von grösstem Interesse für die Raumplanung.

Gefahren-stufe	*Kriterien bezüglich Gefährdung von Personen*	*Kriterien bezüglich Wirkung auf Gebäude*	*Allgemeine Bedeutung für Siedlungsgebiete*
rot erhebliche Gefährdung	Personen sind inner- und ausserhalb von Gebäuden gefährdet.	Mit der Zerstörung von Gebäuden ist zu rechnen.	Das rote Gebiet ist im wesentlichen ein **Verbotsbereich**.
	oder Die Ereignisse treten zwar in schwächerem Ausmass, dafür aber mit einer hohen Wahrscheinlichkeit auf. In diesem Falle sind Personen vor allem ausserhalb der Gebäude gefährdet.		
blau mittlere Gefährdung	Personen sind innerhalb von Gebäuden kaum gefährdet, jedoch ausserhalb davon.	Mit Schäden an Gebäuden ist zu rechnen, jedoch sind plötzliche Gebäudezerstörungen in diesem Gebiet nicht zu erwarten, falls gewisse Auflagen bezüglich Bauweise beachtet werden.	Das blaue Gebiet ist im wesentlichen ein **Gebotsbereich**, in dem schwere Schäden durch geeignete Vorsorgemassnahmen (Auflagen) vermieden werden können.
gelb geringe Gefährdung	Personen sind kaum gefährdet.	Mit geringen Schäden an Gebäuden bzw. mit Behinderungen ist zu rechnen. In Gebäuden können jedoch erhebliche Sachschäden auftreten (z.B. durch Überschwemmung).	Das gelbe Gebiet ist im wesentlichen ein **Hinweisbereich**.
Gelb-weiss gestreift Restgefährdung (Restrisiko)	Gefährdungen mit einer sehr geringen Eintretenswahrscheinlichkeit und einer hohen Intensität (z.B. Hochwasser, Bergsturz oder Felssturz) können durch eine gelb-weiss gestreifte Signatur bezeichnet werden.		Das gelb-weiss gestreifte Gebiet ist im wesentlichen ein **Hinweisbereich, der eine Restgefährdung (Restrisiko) aufzeigt**.
weiss nach derzeitigem Kenntnisstand keine oder vernachlässigbare Gefährdung			

Tab. 9.1 Bedeutung der Gefahrenstufen für Siedlungsräume

Wie bereits in Kap. 3.5.2 ausgeführt wurde, sind bei der Bewertung einer Gefährdung die Intensität des Prozesses bzw. der Wirkung und die Wahrscheinlichkeit ihres Eintretens zu berücksichtigen. Die Kombination von beiden kann als **Gefahrenstufe** ausgedrückt werden.

Eine Umschreibung der **allgemeinen Bedeutung** der einzelnen Gefahrenstufen als Grundlage für die Raumplanung ist in Tabelle 9.2 zusammengestellt. Sie orientiert sich weitgehend an den Vorgaben der «Richtlinien zur Berücksichtigung der Lawinengefahr bei

raumwirksamen Tätigkeiten» (BFF et SLF 1984) und wird auch für die Hochwasser- und Massenbewegungsgefahren umgesetzt (vgl. BWW, BRP et BUWAL 1997 und BUWAL BWW et BRP 1997). Im Vordergrund steht die Gefährdung von Menschen und erheblichen Sachwerten in Siedlungsgebieten. Angestrebt wird eine klare Gliederung nach Massgabe möglicher Konsequenzen für die Raumplanung in **Verbots-, Gebots- und Hinweisbereiche**.

Dabei ist deutlich auf den Stellenwert der Gefahrenkarte hinzuweisen:

*Die Gefahrenkarte selber ist nicht rechtsverbindlich; sie ist die **wissenschaftlich-technische Grundlage** für die Berücksichtigung der bekannten Gefahrengebiete bei allen raumwirksamen Aufgaben, im besonderen in der Nutzungsplanung und für die Konzeption von Massnahmen. **Die Gefährdung ist daher unabhängig von der momentanen Nutzung aufzuzeigen.** Bestehende Schutzmassnahmen (Konzept, Ausführung, Zustand, Wirksamkeit) sind zu berücksichtigen.*

*Die in der Gefahrenkarte auszuweisenden **Gefahrenstufen** werden aufgrund einer Kombination der Beurteilungsergebnisse bezüglich der **Intensität** einerseits und der **Wahrscheinlichkeit** des gefährlichen Prozesses andererseits festgelegt. Weil die Gefahrenstufen nach Massgabe möglicher Konsequenzen für die Raumplanung (Verbots-, Gebots- und Hinweisbereiche gemäss Tab. 9.1) festgelegt werden, müssen die Intensitätskriterien und die Wahrscheinlichkeitsabstufungen der einzelnen berücksichtigten Prozesse auf einander abgestimmt werden.*

In den folgenden beiden Kapiteln werden die massgebliche Parameter und Kriterien zur Beschreibung und Berücksichtigung der Intensität der Gefahren bzw. die Frage der Eintretenswahrscheinlichkeit bzw. der Häufigkeit von gefährlichen Prozessen diskutiert.

9.1.2 Intensität des gefährlichen Prozesses: Massgebliche Parameter und Kriterien

*Das Schadenausmass beim einzelnen Ereignis wird wesentlich von der **Intensität des gefährlichen Prozesses** bestimmt.*

Deshalb müssen bei der Erarbeitung einer Gefahrenkarte für jede Gefahrenstelle und für jeden Prozess die Intensitätsstufen aufgrund der massgeblichen Parameter und Kriterien ermittelt werden.

Mit «Intensität» wird ein neutraler Begriff verwendet, der je nach Prozess und je nach Art der Beschreibung des Prozesses für verschiedene physikalische Grössen stehen kann, so für:

- Intensität i.e.S.:
  - z.B. bei Erdbeben: Auswirkung eines Bebens an der Erdoberfläche (UNESCO 1986: 10-11) oder
  - bei Niederschlägen: Niederschlagsmenge pro Zeiteinheit.
- Magnitude:
  - allgemein: Grösse eines Prozesses,
  - bei Erdbeben: Mass für die im Erdbebenherd freigewordene Energie (aus Seismogramm, Richterskala, vgl. z.B. UNESCO 1986: 8-10).

- Dauer: z.B. Dauer des Niederschlages mit einer bestimmten Intensität, Dauer eines Hochwassers;
- Bewegungsenergie;
- Kraftstoss (Impuls): z.B. beim Steinschlag (Stein, der auf ein Hindernis trifft);
- Druck: z.B. bei Massenströmen (Lawinen, Murgänge, Wasser mit und ohne Feststoff usw.), die auf ein Hindernis stossen;
- Höhe: Überflutungshöhe bei Überschwemmungen;
- Volumen: z.B. vom Wildbach bei einem Unwetter auf dem Schwemmkegel abgelagerte Geschiebefracht ;
- (mögliche) Wirkung: (mögliches) Schadenausmass.

Die «mögliche Wirkung» als Umschreibung der Intensität eines gefährlichen Prozesses ist eine unscharfe Grösse und hängt sehr stark vom jeweiligen gefährdeten Objekt ab. Trotzdem ist sie in vielen Fällen brauchbar, weil eine solche Aussage direkt als Resultat aus dem geschulten Vorstellungsvermögen eines erfahrenen Gefahrenexperten abgeleitet werden kann, und weil sie auch für den Adressaten unter Umständen anschaulicher ist als andersartige Angaben.

Bei der Beschreibung der einzelnen Prozesse bzw. bei der Beurteilung ihrer Gefährlichkeit steht jeweils die eine oder die andere der aufgelisteten Grössen im Vordergrund, die hier alle unter dem Begriff Intensität zusammengefasst werden.

Gefahrenarten (Prozesse)		*Mass der möglichen Wirkung*	*starke Intensität*	*mittlere Intensität*	*schwache Intensität*
Lawinen	Fliesslawinen	Lawinendruck	P > 30 kN/m²	P > 3 kN/m²	---
	Staublawinen	Lawinendruck	P > 30 kN/m²	30 > P > 3 kN/m²	P < 3 kN/m²
Eissturz ist je nach gegebenen Verhältnissen wie Steinschlag, Felssturz oder wie Lawinen zu behandeln.					
Sturz	Block- und Steinschlag	kinetische Energie (Translat. + Rotat.)	E > 300 kJ	300 kJ > E > 10 kJ	E < 10 kJ
	Fels- und Bergsturz	kinetische Energie Masse und Volumen	E > 300 kJ	---	---
Hochwasser / Murgang	Überschwemmung (mit Übersarung und lokaler Erosion)	Überschwemmungshöhe (h) (Wasser + Feststoffe) und Fliessgeschwindigkeit (v)	h > 2 m oder v x h > 2 m²/s	2 m > h > 0.5 m oder 2 m²/s > vxh > 0.5 m²/s	h < 0.5 m oder vxh < 0.5 m²/s
	Ufererosion (Böschungs- und Flankenerosion an Gerinnen)	Mittlere Mächtigkeit (d) der beim einzelnen Ereignis an der Böschung erwarteten Abtragung (gemessen senkrecht zur Böschungsoberfläche)	d > 2 m	2 m > d > 0.5 m	d < 0.5 m
	Übermurung	Geschwindigkeit und Mächtigkeit (h) der fliessenden Massen	h > 1 m und v > 1 m/s	h < 1 m oder v < 1 m/s	---
Rutschungen		Differentielle Bewegungen in Zug- / Scher- / Druckzonen; Anhaltspunkte: Geschwindigkeiten und Verschiebungsbeträge	starke Differentialbewegungen; v > 0.1 m/Tag bei oberflächlichen R.; Verschiebung > 1 m pro Ereignis	v: dm / Jahr v: mm / Tag	v: cm / Jahr
Hangmuren		umgelagertes Volumen; Mächtigkeit (d) der mobilisierbaren Schicht	d > 2 m	2 m > d > 0.5 m	d < 0.5 m
Absenkung, Einsturz			---	Dolinen vorhanden	---

Tab. 9.2 Intensität von gefährlichen Prozessen: Übersicht über massgebliche Parameter und Kriterien

Aussagen zur möglichen «Intensität» eines Prozesses an einer bestimmten Stelle sollen nicht verwechselt oder vermischt werden mit Aussagen über die jeweils betroffene Fläche in ihrer Ausdehnung. Natürlich spielt es eine Rolle, ob beispielsweise in einem bestimmten

Talabschnitt mehrere Quadratkilometer mit einer bestimmten Intensität überflutet werden können, oder ob «nur» einige wenige Hektaren betroffen sind. Diese Betrachtung ist vor allem im Hinblick auf aktive Massnahmen (Kostenwirksamkeit) sehr wesentlich. Entscheidend als Mass für die Intensität im Zusammenhang mit der Erstellung von Gefahrenkarten sind jedoch für das gegebene Beispiel allein die mögliche Überflutungstiefe und die zu erwartende Fliessgeschwindigkeit des Wassers am einzelnen betrachteten Punkt bzw. der betrachteten Bezugsfläche innerhalb der gefährdeten Gebiete.

In der ersten Kolonne von Tabelle 9.2 sind die Prozesse bzw. Gefahrenarten aufgelistet, wie sie in der vom Ausschuss «Naturgefahren und Raumplanung» (ANR 1996) eingesetzten Arbeitsgruppe festgelegt wurden. Wie in Kapitel 3.1 erwähnt, wurde einerseits die Verwendung möglichst weniger, allgemein gebräuchlicher Begriffe angestrebt; andererseits wurde eine Unterteilung nach Massgabe der unterschiedlichen entscheidenden Parameter («Mass der möglichen Wirkung») und Kriterien vorgenommen.

Im folgenden werden die in Tabelle 9.2 aufgeführten massgeblichen Parameter und Kriterien kurz kommentiert. Für detailliertere Informationen wird auf bereits verbreitete Richtlinien (Lawinen) bzw. demnächst publizierte Empfehlungen verwiesen.

9.1.2.1 Lawinen

Bei Schnee- und Eislawinen ist die Druckwirkung massgeblich, wobei die Kriterien gemäss den «*Richtlinien zur Berücksichtigung der Lawinengefahr bei raumwirksamen Tätigkeiten*» (BFF et SLF 1984) gelten.

9.1.2.2 Steinschlag / Felssturz

Als Kriterium für die Abgrenzung wird die kinetische Energie (Translation und Rotation), d.h. die Aufprallenergie im gefährdeten Bereich, verwendet, so dass vor allem die an der zu beurteilenden Stelle zu erwartenden Geschwindigkeiten, aber auch die Grösse (Masse) der Komponenten zu berücksichtigen sind. Im weiteren zu beachten sind die Sprunghöhen der Komponenten.

Im Falle von Fels- und Bergsturz wird immer eine starke Intensität erreicht. Die Bestimmung der an sich vorhandenen Auslaufbereiche mittlerer und geringer Intensität ist mit grossen Unsicherheiten behaftet, so dass empfohlen wird, auf eine entsprechende Ausscheidung solcher Bereiche zu verzichten.

Weitere Ausführungen finden sich in den Empfehlungen «Berücksichtigung der Massenbewegungsgefahren bei raumwirksamen Tätigkeiten» (BUWAL, BWW et BRP 1997).

9.1.2.3 Hochwasser / Murgang

In Tabelle 9.2 werden die Teilprozesse Überschwemmung, Ufererosion und Übermurung (Begriffsdefinitionen in Kap. 3.1.3) bezüglich ihrer möglichen Wirkung auf genutzte Flächen unterschieden:

Detailliertere Ausführungen finden sich in den Empfehlungen «*Berücksichtigung der Hochwassergefahren bei raumwirksamen Tätigkeiten*» (BWW, BRP et BUWAL 1996).

Überschwemmung (mit Übersarung und lokaler Erosion)

Überschwemmungen werden gefährlich, wenn im Überflutungsbereich grössere Wassertiefen oder starke Strömungen, oft mit Erosion, auftreten. Dabei können mehr oder weniger grobe Feststoffe abgelagert werden (Übersarung).

Als Mass der möglichen Wirkung werden bei statischer Überschwemmung die Überschwemmungshöhe und bei dynamischer Überschwemmung Fliessgeschwindigkeit und Überschwemmungshöhe berücksichtigt. Die Übergänge zwischen statischer und dynamischer Überschwemmung sind graduell und beide Formen können beim gleichen Ereignis kleinräumig und zeitlich wechselnd auftreten.

Ufererosion

Ufererosion (Nachbrechen der Uferböschungen infolge Tiefen- und Seitenerosion) ist raumplanerisch nur relevant, wenn sie sich über den Gerinnebereich hinaus auswirkt. Massgeblich sind einerseits die Kräfte des strömenden Wassers und andererseits der durch verschiedene Faktoren beeinflusste Widerstand der Uferböschungen (Korngrösse, Schutzschicht, Uferbewuchs usw.). Grundsätzlich können zwei Fälle unterschieden werden:

- Uferrutschungen: Abgleiten der Böschungen wegen Erosion des Böschungsfusses. Diese oft durch Tiefenerosion des Flussbettes ausgelösten Rutschungen können weit ausgreifen und sind je nach topographischen und geologischen Bedingungen flach- bis tiefgründig.
- Mäandrierende und verzweigte Gewässer verlagern bei extremen Hochwasserereignissen oft ihr Bett. Die bisherigen Ufer werden auf die ungefähre Höhenlage der bisherigen Sohle abgetragen. Im Gewässerlauf gegenüber bzw. weiter unten wird wieder Material abgelagert.

Das entscheidende Sicherheitskriterium für Bauten und Anlagen ist ihre Fundierungstiefe. Ist diese unzureichend, das heisst geringer als die Erosionstiefe, so ist ein Einsturz unvermeidlich. Ist sie ausreichend, muss noch überprüft werden, ob bei einer Verlagerung des Flussbettes die Bauten der zusätzlichen dynamischen Beanspruchung durch das strömende Wasser standhalten. Als Mass der möglichen Wirkung wurde dementsprechend ein Wert für die an der betrachteten Stelle während eines einzelnen Ereignisses zu erwartende und in kurzer Zeit mögliche Abtragungsmächtigkeit festgelegt.

Übermurung

Bei der Übermurung ergibt sich die Hauptschadenwirkung einerseits aus der Stosswirkung der Murfront, welche durch mitgeführte Einzelblöcke noch verstärkt wird, und andererseits aus den mächtigen Ablagerungen von Blöcken, Geröll und Schutt. Im Vorfeld von Murablagerungen spielen sich in der Regel Überschwemmungs-, Übersarungs- und Erosionsprozesse ab, die entsprechend den weiter oben genannten Kriterien einzustufen sind. Als praktikabler Parameter zur Umschreibung der Intensität von Übermurungen wurde die zu erwartende Mächtigkeit der Murköpfe bzw. der Ablagerungen allgemein festgelegt.

9.1.2.4 Rutschungen

Die Empfehlungen «Berücksichtigung der Massenbewegungsgefahren bei raumwirksamen Tätigkeiten» (BUWAL, BWW et BRP 1997) kommentieren die gewählten Parameter und Kriterien wie folgt:

«Die meisten **Rutschungen** zeigen permanente Bewegungen, gelegentlich auch kombiniert mit schnellen Reaktivierungen. Für schwache Intensitäten kann von langfristigen, jährlichen Durchschnittsbewegungen in der Grössenordunung von bis zu einigen cm/Jahr, bei mittlerer Intensität von solchen bis zu einigen dm/Jahr ausgegangen werden.» Als «stark» wird die Intensität im wesentlichen nur in Bereichen bezeichnet, in denen ausgeprägte Scher- bzw. Differentialbewegungen stattfinden. Sie kann auch dann als «stark» bezeichnet werden,

wenn starke Reaktivierungen beobachtet wurden oder in lokalisierten Bereichen Verschiebungen von über 1 m pro Ereignis eintreten können. Als «stark» kann die Intensität ferner bei oberflächlichen Rutschungen mit hohen Geschwindigkeiten (> 0.1 m/Tag) bezeichnet werden.

Bei permanenten Rutschungen werden diese Intensitätskriterien direkt in Gefahrenstufen umgesetzt, da die Eintretenswahrscheinlichkeit hier gleich 100% ist.

9.1.2.5 Hangmuren

Die Empfehlungen «Berücksichtigung der Massenbewegungsgefahren bei raumwirksamen Tätigkeiten» (BUWAL, BWW et BRP 1997) kommentieren die gewählten Parameter und Kriterien wie folgt:

«Bei Gebieten, die hinsichtlich Hangneigung, Bodenbeschaffenheit und klimatischen Randbedingungen für die Bildung von **Hangmuren** disponiert sind, hängt die Intensität von der Mächtigkeit der durch diesen Prozess mobilisierbaren Schicht ab. Im allgemeinen besteht ein direkter Zusammenhang zwischen der Schichtmächtigkeit und dem umgelagerten Volumen (100 m^3 bis mehrere 1000 m^3). Bei Schichtmächtigkeiten unter 0.5 m wird eine Zuordnung zur «schwachen» Intensität vorgeschlagen. Die Grenze zwischen mittlerer und starker Intensität liegt bei einer Mächtigkeit von rund 2 m.»

9.1.3 Wahrscheinlichkeit und mittlere Wiederkehrdauer des gefährlichen Prozesses

Wie bereits erwähnt, gilt die Gefahr als um so grösser, je häufiger sich ein gefährlicher Prozess von bestimmter schadenbringender Intensität innerhalb einer gegebenen Periode ereignet. Jede Gefahrenbeurteilung erfordert deshalb auch die Untersuchung der Eintretenswahrscheinlichkeit bzw. der Häufigkeit des gefährlichen Prozesses.

Von Jährlichkeit oder Wiederkehrdauer kann nur bei Prozessen gesprochen werden, die sich wiederholt in vergleichbarer Intensität ereignen. Daneben gibt es jedoch auch gefährliche Prozesse, die einmalig sind (z.B. ein Bergsturz) oder die über längere Zeit andauern, kontinuierlich sind, wie zum Beispiel eine permanente Rutschung.

Im Überblick können bezüglich der zeitlichen Abfolge bzw. der Dauer

- kontinuierlich oder
- episodisch, dabei
  - einmalig oder
  - wiederholt und dabei
    - periodisch oder
    - sporadisch

auftretende gefährliche Prozesse unterschieden werden.

Kontinuierliche Prozesse

Kontinuierliche Prozesse sind allgemein langsame, eher regelmässige Prozesse, die, wenn sie nicht zusätzliche gefährliche Folgeprozesse auslösen, für den Menschen direkt kaum gefährlich sind, aber durchaus zu bedeutenden Sachschäden führen können. Kontinuierliche Prozesse unter den gefährlichen Prozessen in Gebirgsräumen sind in erster Linie ausgedehnte Kriechbewegungen in Fels- und Lockermaterial, in Permafrost und auch in Gletschereis.

Erstere stehen meist in engem Zusammenhang mit der Verwitterung des Substrates. Typische Vertreter von kontinuierlichen Prozessen sind Talzuschübe (Tiefkriechen), die in der Klassifikation von Heim (1932) zur Hauptgruppe der «Felsablösungen mit schleichender Talfahrt», nach derjenigen von Varnes (1978: 11) zu den «rock flows» («deep creep»), nach derjenigen von Hutchinson (1988) zu den «deep-seated, continuous creeps», bzw. «compound saggings» gehören. Solche tiefgründigen Kriechbewegungen laufen als ganzes mehr oder weniger kontinuierlich ab, auch wenn sie in der Geschwindigkeit beispielsweise saisonalen Schwankungen unterworfen sein können. Die durch sie hervorgerufenen Instabilitäten können dann allerdings örtlich und kleinräumig zu wiederholten sekundären Prozessen führen: So wird ein Fliessgewässer mit genügender Transportkapazität, das seitlich von einem Talzuschub bedrängt wird, durch Erosion laufend, bzw. bei jeder Hochwasserführung, wieder einen Teil der vom Talzuschub herangeführten Feststoffe abtransportieren. Oder irgendwo im Bereich des Talzuschubes kommt es infolge der Bewegungen allmählich zu übersteilten Böschungen: Hier können nun wiederholt kleinere Rutschungen abgehen, oder es kommt des öfteren zu Steinschlag.

Einmalige Prozesse

Gefährliche Prozesse werden dann als «einmalig» bezeichnet, wenn sie sich in einem bestimmten Gefahrengebiet während Jahrtausenden nur einmal ereignen (können), wie dies in der Regel bei Bergstürzen der Fall ist.

Streng genommen ist jeder kleine Felssturz, jede kleine Rutschung auch ein einmaliger Prozess, weil die abgegangenen Erd- und Felsmassen an ein- und derselben Stelle kein zweites Mal abgehen können. Dagegen zeigt die Erfahrung, dass sich aus einer bestimmten Felswand immer wieder Felsstürze ereignen, oder dass in einem gegebenen Hangabschnitt immer wieder Rutschungen abgehen können. Für die praktischen Belange der Gefahrenbeurteilung im Hinblick auf die Sicherheit von Siedlungen und Verkehrswegen sind somit solche Felsstürze und Rutschungen als sich wiederholende Ereignisse aufzufassen.

Im allgemeinen sind es Prozesse von sehr grosser Intensität, die als einmalige Prozesse anzusprechen sind. Dieser Aussage entspricht auch die für einzelne Prozesse (Hochwasser, Lawinen) statistisch weitgehend belegbare Faustregel, dass sich ein gefährlicher Prozess um so seltener ereignet, je grösser und exzessiver er ist.

Periodische und sporadische Prozesse

Solange es nicht um Vorhersagen des Ereigniszeitpunktes geht, ist die Unterscheidung von periodischen und sporadischen Prozessen nicht von grosser Bedeutung. Trotzdem soll diese Frage hier kurz diskutiert werden.

Mehr oder weniger regelmässige (aber nicht kontinuierliche) gefährliche Prozesse einer bestimmten Intensität werden als «periodisch» bezeichnet, wenn sie sich in einer statistisch charakterisierbaren Frequenz abspielen. Dabei ist die Periodendauer zwischen 2 Ereignissen gleicher Intensität nicht als Konstante, sondern als statistischer Mittelwert (Grössenordnung) aufzufassen. Streng periodische Prozesse sind selten anzutreffen. Bei etwas grosszügiger Anwendung des Kriteriums der Periodizität können beispielsweise in vielen Lawinenstrichen kleinere und mittelgrosse Lawinenabgänge als periodisch aufgefasst werden.

Es ist z.B. eine Ermessensfrage, ob die in der Zavragia bisher beobachteten Geschiebefrachten (Abb. 3.4 in Kap. 3.5.2) in ihrem zeitlichen Auftreten als periodisch oder nur als sporadisch zu bezeichnen sind. Dass sich eine mittlere Wiederkehrdauer ermitteln lässt, ist kein hinreichendes Kriterium. Immerhin lässt sich feststellen, dass die 4 bisher bekannten Ereignisse der Intensität L und grösser in relativ gleich langen Zeitabständen aufgetreten sind.

Auch im Falle des Leimbaches bei Frutigen (BE) könnte in diesem Sinne (mindestens für die Beobachtungsdauer der letzten 120 Jahre) von Periodizität gesprochen werden: Dieser Wildbach hat 1875, 1907, 1938 und 1969 zu Verheerungen in Frutigen geführt.

Eindeutig als sporadische Prozesse zu bezeichnen sind Ereignisse, die sich auch bei grosszügiger Definition der Periodizität nicht mehr als periodisch, d.h. als mehr oder weniger regelmässig wiederkehrend, bezeichnen lassen. Im weiteren gehören dazu auch seltene oder erst ein einziges Mal beobachtete Ereignisse, die real zwar vielleicht periodisch sind, deren Periodizität wir jedoch wegen unseres zu kurzen Beobachtungszeitraumes und wegen fehlender Daten nicht als solche erkennen können, und bei welchen wir aus methodischen Gründen bei der Beurteilung keine Periodizität unterstellen dürfen.

9.1.3.2 Berücksichtigung der Eintretenswahrscheinlichkeit bzw. der mittleren Wiederkehrdauer in Gefahrenkarten

Die Eintretenswahrscheinlichkeit bzw. die mittlere Wiederkehrdauer werden für alle gefährlichen Prozesse in 3 Klassen beschrieben.

Die Gefahr ist umso grösser, je häufiger sich ein gefährlicher Prozess einer bestimmtem Intensität innerhalb einer gegebenen Periode ereignet, und sie gilt als umso grösser, je wahrscheinlicher das Eintreten eines gefährlichen Ereignisses ist.

In Abbildung 9.1 ist die Wahrscheinlichkeit nicht in einer graduellen Skala sondern in drei Klassen beschrieben. Die quantitative Beschreibung der Klassen erfolgt in Analogie zu den «Richtlinien zur Berücksichtigung der Lawinengefahr bei raumwirksamen Tätigkeiten» (BFF et SLF 1984).

Die Ermittlung der Eintretenswahrscheinlichkeit ist praktisch oft kaum möglich, in der Regel äusserst schwierig und mit grossen Unsicherheiten behaftet. Bei statistisch berechneten Angaben ist die grosse Variationsbreite zu berücksichtigen: Der Bereich innerhalb der Vertrauensgrenzen, innerhalb welcher alle Werte statistisch als richtig zu betrachten sind, kann ohne weiteres über zwei Wahrscheinlichkeitsklassen reichen.

Für einen einheitlichen Betrachtungszeitraum können Eintretenswahrscheinlichkeit und Wiederkehrperiode über folgende Beziehung umgerechnet werden:

$$p = 1 - (1 - \frac{1}{T})^n$$

n Betrachtungszeitraum (Jahre)

T Wiederkehrperiode (Jahre)

p Eintretenswahrscheinlichkeit eines Ereignisses ≥ dem Ereignis der Wiederkehrperiode T innerhalb des Betrachtungszeitraums n

Wahrscheinlichkeit		**Wiederkehrperiode**	
verbal:	*Eintretenswahrscheinlichkeit in 50 Jahren:*	verbal:	*Wiederkehrperiode:*
hoch	100 bis 82 %	***häufig***	1 bis 30 Jahre
mittel	82 bis 40 %	***mittel***	30 bis 100 Jahre
gering	40 bis 16 %	***selten***	100 bis 300 Jahre

Tab. 9.3 Eintretenswahrscheinlichkeit und Wiederkehrperioden für einen Betrachtungszeitraum von 50 Jahren

Tabelle 9.3 zeigt deutlich, dass für einen bestimmten Betrachtungszeitraum (in der Tabelle für 50 Jahre) auch bei einer hohen Wiederkehrperiode von 300 Jahren immer noch eine Wahrscheinlichkeit von 16% besteht, dass das Ereignis in der betreffenden Periode von 50 Jahren eintritt. Je nach korrespondierender Intensität kann auch diese Gefahr nicht ausser Acht gelassen werden; falls ein entsprechendes Schadenpotential besteht, verbleibt ein nicht zu vernachlässigendes Risiko.

Unterschiedliche Wahrscheinlichkeiten für Teilprozesse

Beachtet werden muss bei diesen Überlegungen, dass die Wahrscheinlichkeiten zwischen einzelnen Teilprozessen und der Schadenwirkung verschieden sein können. So führt in einem Wildbach nicht jedes Hochwasser mit einem bestimmten Abfluss zur gleichen Feststofffracht oder zu einem Murgang, und die Schäden im Siedlungsbereich können sehr unterschiedlich sein.

Grösse der Bezugsfläche

Wichtig ist auch, dass Klarheit darüber herrscht, auf welche Bezugsfläche (Ausdehnung) sich die Aussagen beziehen:

So kann beispielsweise die Ausdehnung der **Bezugsfläche** bei Felsstürzen und Steinschlag für die Zuordnung der Wahrscheinlichkeitsklasse eine erhebliche Rolle spielen. Wenn im gesamten 500 m langen Streifen unter einer ebenso langen, sich homogen verhaltenden Felswand gesamthaft durchschnittlich alle 10 Jahre der Absturz eines Blockes zu erwarten ist, so ist bei Unterteilung des Streifen in fünf gleich grosse Abschnitte in jedem Abschnitt ein solcher Block nur durchschnittlich alle 50 Jahre zu erwarten.

Es scheint nicht sinnvoll, die Grösse der Bezugsflächen absolut festzulegen. Immerhin dürfte in vielen Fällen die Grössenordnung von einer bis weniger Hektaren sinnvoll sein.

9.1.4 Kombinierte Umsetzung von Intensität und Eintretenswahrscheinlichkeit zu Gefahrenstufen

- *In der Gefahrenkarte auf Ebene Nutzungsplanung werden die «Verbotsbereiche» rot, die «Gebotsbereiche» blau und die «Hinweisbereiche» gelb dargestellt.*
- *Die Bezeichnung eines Geländeteils in der Gefahrenkarte als «rotes», «blaues», «gelbes» oder «weisses» Gebiet muss gut begründet werden. Dazu gehört je eine Aussage zur* ***Intensität*** *und zur* ***Eintretenswahrscheinlichkeit*** *einer Gefahr.*

Wie aus Tabelle 9.1 hervorgeht und wie in Kap. 3.5.2 ausgeführt wurde, dienen als Mass für die Gefährdung die **Intensität** und die **Eintretenswahrscheinlichkeit** (Häufigkeit bzw. Wiederkehrdauer) der Gefahr.

In jeder Gefahrenkarte auf der Ebene Nutzungsplanung sind die entsprechenden Zuordnungen im Hinblick auf eine gute Nachvollziehbarkeit zu begründen. Diese Begründung muss mindestens eine Aussage über die Wahrscheinlichkeitsklasse (bzw. Klasse der Wiederkehrdauer) und der Intensitätsklasse enthalten:

In der Intensitäts-Wahrscheinlichkeits-Matrix für Naturgefahren gemäss Abbildung 9.1 sind «Wahrscheinlichkeit» und «Intensität» nicht als metrische Grössen sondern als Klassen dargestellt. Dahinter steckt die Absicht, die jeweils eindeutige Einordnung einer Gefahr in eine Wahrscheinlichkeits- bzw. Intensitätsklasse zu erleichtern. In der Intensitäts-Wahrscheinlichkeits-Matrix ergibt sich dann die Zuordnung zu einem der numerierten Felder, d.h. zum «roten», «blauen», «gelben» oder «weissen» Bereich. Auch diese Zuordnung ist meist eindeutig. In einzelnen Feldern hat man sich jedoch zu entscheiden, ob die Gefahrenbeurteilung eher zur «oberen» oder zur «unteren» Intensitätsklasse bzw. zur Wahrscheinlichkeitsklasse «links» oder «rechts» in der Matrix zuzuordnen ist.

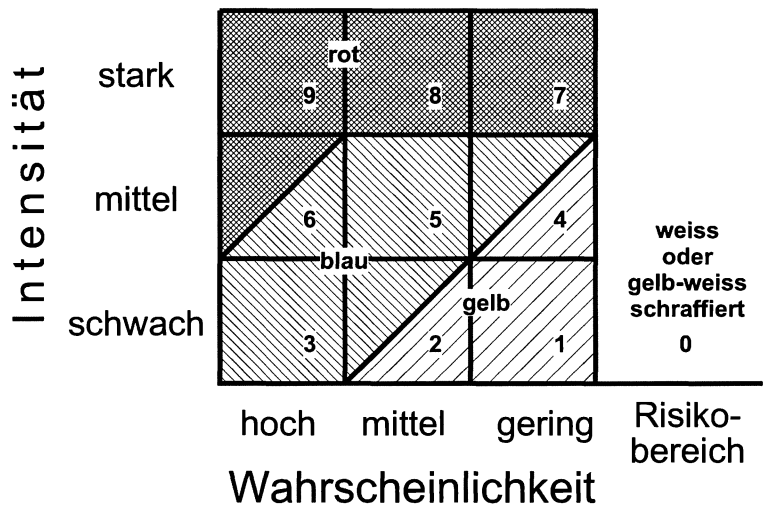


Abb. 9.1 Intensitäts-Wahrscheinlichkeits-Matrix für Naturgefahren

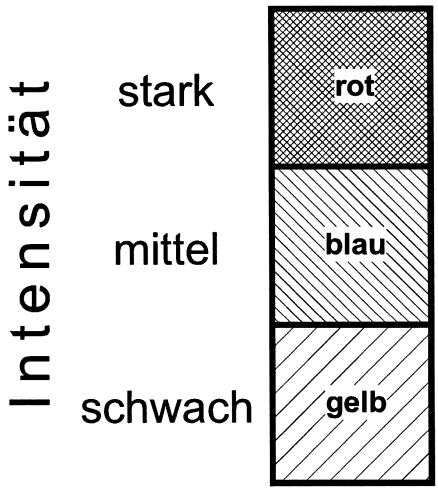


Abb. 9.2 Intensitätsklassen für permanente Rutschungen

Selbstverständlich stecken hinter jeder Klassengrenze bestimmte qualitative oder quantitative Aussagen. Die Klassengrenzen wurden in Kapitel 9.1.2 und 9.1.3 erläutert.

Ursprünglich wurde des Ziel verfolgt, sämtliche zu berücksichtigenden Naturgefahren in einer einzigen, allgemein gültigen Intensitäts-Wahrscheinlichkeits-Matrix darzustellen. In den Diskussionen zeigte sich jedoch eine ausgeprägte Tendenz, für verschiedene Prozesse je eine eigene Intensitäts-Wahrscheinlichkeits-Matrix zu verwenden (vgl. BUWAL, BWW et BRP 1997). Dies ist jedoch für die Erstellung von kombinierten, verschiedene Prozesse ausweisenden Gefahrenkarten und vor allem für die Begründung der Einstufungen in diesen Karten unpraktisch.

Bei entsprechend angepasster Auslegung lassen sich mit der in Abbildung 9.1 dargestellten Matrix auch die speziellen Bedürfnisse im Zusammenhang mit der Lawinen- und der Felssturzgefahr abdecken. Einzig für die permanenten Rutschungen, deren Wahrscheinlichkeit definitionsgemäss 100% ist, müssen auch Bereiche mit geringen Intensitäten, die in der Realität vielerorts auftreten, sinngemäss als «gelbe» Gebiete ausgewiesen werden können.

Für die Prozesse Block- und Steinschlag, Überschwemmung, Ufererosion, Übermurung und Hangmuren ist die Intensitäts-Wahrscheinlichkeits-Matrix für Naturgefahren gemäss Abbildung 9.1 allgemein akzeptiert.

Bei den Fliesslawinen ergibt sich gegenüber den «Richtlinien zur Berücksichtigung der Lawinengefahr» (BFF et SLF 1984) keine Differenz, wenn die Intensitäten $P < 30$ kN/m^2 generell als «mittlere Intensität» bezeichnet und die Felder 1 bis 3 in der Einheitsmatrix (Abb. 9.1) nicht verwendet werden und wenn im Feld 6 immer «rot» zugeordnet wird.

Bei den Staublawinen, für welche schwache Intensitäten ($P < 3$ kN/m^2) gesondert berücksichtigt werden, entsprechen die Felder 1 bis 3 den Vorgaben in den «Richtlinien». Einzig für das Feld 1 müsste auch «rot» möglich sein.

Für Fels- und Bergsturz, wo immer ein starke Intensität erreicht wird, kommen in der Einheitsmatrix (Abb. 9.1) sinngemäss nur die Felder 7 bis 9 zur Anwendung.

Die Ausscheidung von «gelb-weiss» gestreiften Gebieten zur Kennzeichnung von Restgefahren (Restrisiken) ist generell fakultativ (vgl. Tab. 9.1).

9.1.4.1 Überlagerung von Gefährdungen

(nach Egli 1996, z.T. wörtlich)

An ein und demselben Ort können sich unterschiedliche Gefährdungen überlagern. In der Regel kann angenommen werden, dass es sich um unabhängige Einzelereignisse handelt. Die Verknüpfung wird gemäss Tabelle 9.4 vorgenommen.

Fall	*Massgebende Gefährdung / Massgebende Gefahrenart*
1. An demselben Ort tritt die gleiche Gefahrenart mit unterschiedlicher Wahrscheinlichkeit und Intensität auf.	Massgebende Gefährdung: Szenario, das der höchsten Gefahrenstufe gemäss der Intensitäts-Wahrscheinlichkeits-Matrix (Abb. 9.1) zugeordnet wird
2. An demselben Ort treten unterschiedliche Gefahrenarten mit unterschiedlicher massgebender Gefährdung auf.	Massgebende Gefahrenart: Gefahr, die der höchsten Gefahrenstufe gemäss der Intensitäts-Wahrscheinlichkeits-Matrix (Abb. 9.1) zugeordnet wird. Gefahrenarten mit gleicher oder geringerer Gefährdung werden in der Gefahrenkarte ebenfalls ausgewiesen (z.B. mit zusätzlichen Buchstabenindices)

Tab. 9.4 Verknüpfung verschiedener Gefährdungen an ein und demselben Ort

9.1.5 Genauigkeit der räumlichen Abgrenzung und Bearbeitungstiefe

Für Gefahrenkarten auf der Ebene Nutzungsplanung

- *muss die Zuordnung zu den vorgegebenen Gefahrenstufen gut begründet werden und*
- *hat die Abgrenzung der Gefahrenbereiche unabhängig von Parzellengrenzen mit einer Aussagegenauigkeit in der **Grössenordnung** von ca. 10 m zu erfolgen.*

Die Raumplanung auf lokaler Ebene befasst sich mit der detaillierten Flächennutzung. Für jede einzelne Parzelle wird die mögliche Nutzungsart (z.B. Landwirtschaft, Wohnen, Gewerbe, Industrie, Dienstleistungen, öffentliche Gebäude usw.) und die Nutzungsintensität (z.B. Anzahl Stockwerke der Gebäude, effektiv überbaubarer Anteil der Parzellenfläche usw.) definiert. Die Aussagen erfolgen somit in der Regel parzellenbezogen. Daraus folgt, dass die begründenden Faktoren für Nutzungsmöglichkeiten bzw. -einschränkungen (u.a. Naturgefahren) in einer den üblichen Parzellengrössen entsprechenden **räumlichen Auflösung** zu erheben und darzustellen sind. Das heisst, dass bei der Erstellung von Gefahrenkarten je nach Prozessen und örtlichen Geländeverhältnissen eine Aussagegenauigkeit in der **Grössenordnung** von ca. 10 m anzustreben ist.

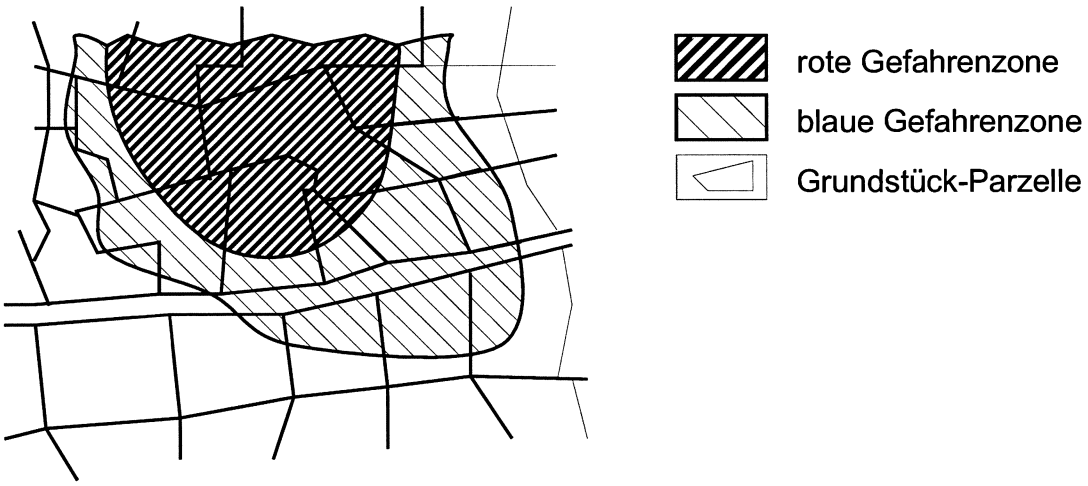


Abb. 9.3 In der Gefahrenkarte erfolgt die Abgrenzung von wissenschaftlich ermittelten Gefahrenbereichen unabhängig von bestehenden Parzellengrenzen

Parzellen mit ihren grundbuchamtlich registrierten Grenzen sind künstliche, vom Menschen nach nutzungsbedingten und rechtlichen Gesichtspunkten festgelegte Gebilde. Sie sind nur zum Teil durch natürliche Gegebenheiten definiert und berücksichtigen eher selten die Gefährdungen durch Naturereignisse.

Weil die Erstellung der Gefahrenkarte und somit die Festlegung der Grenzen zwischen Bereichen unterschiedlicher Gefährdung ausschliesslich nach wissenschaftlichen Kriterien zu erfolgen hat, ist bei diesem Arbeitsschritt jedoch keine Rücksicht auf Parzellengrenzen zu nehmen. (Die Gefahrenkarte ist allein kein rechtsverbindliches Dokument sondern eine Grundlagendokument, das zusammen mit anderen Planungsgrundlagen der Erstellung des Nutzungsplanes dient).

Die **Bearbeitungstiefe** von Gefahrenkarten hängt stark vom vorhandenen und erwartbaren Schadenpotential einerseits und vom Gefahrenpotential andererseits ab. In jedem Falle müssen jedoch gut abgestützte Aussagen über die Intensität und die Wahrscheinlichkeit der Gefahr in einem gegebenen Geländebereich erarbeitet werden, so dass die in Abbildung 9.1 definierten Gefahrenstufen festgelegt werden können.

Die Gefahrenbeurteilung soll nicht nur auf «sachlich richtige» Aussagen hinsteuern, sondern auch möglichst gute Nachvollziehbarkeit anstreben. Gute Nachvollziehbarkeit des Verfahrens erfordert oft etwas mehr Aufwand (Dokumentation), hilft jedoch dem Bearbeiter bei der Selbstkontrolle, erleichtert die fachliche Diskussion und verbessert die Argumentationsbasis bei der Umsetzung.

Dabei ist der Gutachter in der Wahl seiner Methoden grundsätzlich frei, sofern sie diesen Zielen gerecht werden und den anerkannten «Regeln der Kunst» entsprechen (vgl. Kap. 3.4.1).

Auch wenn auf der Ebene Nutzungsplanung ein wesentlich grösserer Aufwand betrieben werden kann als auf der Ebene Richtplanung, müssen auch hier Fragen offen bleiben. In vielen Fällen wäre ein besserer Einblick in die Untergrundverhältnisse (Materialzusammensetzung, Schichtung, Verlauf der Felsoberfläche, Hydrologie) erforderlich, als dies die natürlichen Aufschlüsse und Merkmale an der Terrainoberfläche erlauben. Punktuell können zwar beispielsweise geophysikalische Prospektionsmethoden eingesetzt oder mit Bohrungen und Sondierschlitzen Einblick in den Untergrund verschafft

werden. Aber auch auf der Ebene Nutzungsplanung müssen Aufwand und Ertrag in einer vernünftigen Relation zueinander stehen. Deshalb kann es auch hier notwendig sein, einzelne Fragen offen zu lassen, was durchaus zulässig ist, solange dies deutlich dargestellt und kommentiert wird. Dabei ist vor allem auf die Notwendigkeit von örtlichen Zusatzuntersuchungen hinzuweisen, falls im fraglichen Bereich irgendwelche Vorhaben konkretisiert werden sollten. Die Verantwortung liegt hier im wesentlichen beim Bearbeiter.

9.2 Verfahren und Methoden der Gefahrenbeurteilung: allgemeine Hinweise

Für die Gefahrenanalyse auf der Ebene Nutzungsplanung oder forstliche Vorprojekte bzw. Projekte ist die ganze Palette an verfügbaren Ansätzen und Methoden in sinnvoller Kombination einzusetzen.

Detaillierte Geländearbeit ist in jedem Falle unabdingbar.

Gefahrenanalyse umfasst nach Schneider (1980) Ereignis- und Wirkungsanalyse. Mit der Ereignisanalyse (Schneider 1980; Egli 1996) werden mögliche Gefahren identifiziert und lokalisiert, und mit der Wirkungsanalyse wird der Grad der Gefährdung an den interessierenden Orten untersucht. Eine beispielsweise gemäss Kapitel 8 erstellte Gefahrenhinweiskarte erfüllt die Aufgabe der Ereignisanalyse in erster Näherung. Auf der Stufe Nutzungsplanung hat die Ereignisanalyse jedoch in vertiefter Form und verbunden mit Wirkungsanalysen zu erfolgen. Dies bedeutet umfassende Untersuchungen unter Einsatz aller in Kapitel 3.6 skizzierten Grundansätze.

Im Gegensatz zur Gefahrenanalyse auf Richtplanebene, wo heute mit EDV-Unterstützung und dem Einsatz von Geographischen Informationssystemen eine grobe Gefahrenanalyse mit befriedigenden Resultaten möglich ist, erfordert die Gefahrenanalyse auf der Ebene Nutzungsplanung oder forstliche (Vor)projekte auch künftig **immer detaillierte Geländearbeit**. Diese wird ergänzt durch Dokumenten- und Luftbildanalyse sowie den Einsatz von Modellversuchen bzw. -rechnungen.

Wie bereits in Kapitel 3.4.1 ausgeführt, bedeutet sachlich richtige Gefahrenbeurteilung ein Vorgehen nach den «**anerkannten Regeln der Kunst**».

Ein wichtiger Grundsatz dazu ist, dass die in Tabelle 3 (Kap. 3.4.1) aufgelisteten Punkte bearbeitet und die entsprechenden Analysen durchgeführt werden. In Richtlinien (z.B. BFF et SLF 1984, Salm et. al. 1990) oder «Empfehlungen» (BWW, BRP et BUWAL 1997; BUWAL, BWW et BRP 1997) finden sich die zu beachtenden Parameter und Kriterien. Weitere Grundlagen wie strukturierte Verfahrensabläufe, Checklisten, Entscheidungsbäume usw. (z.B. Spreafico et al. 1996) dienen der Systematisierung des Vorgehens. Sie entbinden jedoch den Bearbeiter nicht davon, für jeden einzelnen Fall den «richtigen» Weg zu finden.

Die umfassende Palette an Ansätzen und Methoden beinhaltet die Auswertung von früheren Ereignissen (rückwärtsgerichtete Indikation) durch Auswertung von Aufzeichnungen, Dokumenten, Zeugenaussagen usw. und die Auswertung von Spuren im Gelände («stumme Zeugen») sowie das Nachrechnen von früher abgelaufenen Prozessen im Hinblick auf Quervergleiche und der Parameterverifikation von Modellrechnungen. Die Grundfrage, die dabei zu beantworten ist, lautet:

- Welche Prozesse sind am betrachteten Ort früher abgelaufen? Wie sind diese Prozesse hier bzw. an vergleichbaren Orten abgelaufen?

Im Sinne der vorwärtsgerichteten Indikation (Kap. 3.6.1) sind für jeden Prozess und den jeweiligen Perimeter vor allem folgende Fragen zu beantworten:

- Welches Materialien (Gesteine, Wasser, Schnee, Eis, Bäume) in welcher Kombination sind im Spiel?
- Welche Strukturen, Schwächen weist das Material auf? Wie leicht, unter welchen Umständen und in welcher Form kann es bewegt werden?
- Wie ist die hydrologische Situation?
- Wie sind die Energieverhältnisse? Mit welchen Massen und welchen Geschwindigkeiten ist zu rechnen ?
- Welche Bewegungsbahnen bieten sich an? Können sie im Laufe des Prozesse modifiziert werden?
- Wie kann der einzelne Prozess ablaufen («Chronologie» des Ablaufs)?
- Wo sind Schwachstellen? Was kann dort passieren?
- Kann der ablaufende Prozess zu neuen gefährlichen Situationen führen?
- Wie funktioniert das Gesamtsystem der Gefahrenprozesse und seiner Einflussgrössen? Sind auch andere, «unerwartete» Entwicklungen möglich? Wie sind sie allenfalls zu behandeln?

Wichtig dabei ist die Suche nach Schlüsselstellen im Gelände, an welchen die fraglichen Prozesse ausgelöst werden können oder wo sie in ihrem Ablauf massgeblich beeinflusst werden.

Eine sorgfältige Problemanalyse («Was zeigt die Erfahrung?» «Was ist aufgrund der physikalischen Gesetze möglich?») muss schliesslich zu einem möglichst klaren Bild darüber führen, wie der Prozess ablaufen kann und wie er unter verschiedenen Voraussetzungen wahrscheinlich ablaufen wird. Daraus lassen sich schliesslich Gefährdungsbilder ableiten und die möglichen Auswirkungen analysieren.

9.2.1 Strukturiertes Vorgehen

Bestimmte Untersuchungen und Analysen sind bei jeder Gefahrenbeurteilung durchzuführen. Zur Vergleichbarkeit und als Beitrag zur Qualitätssicherung empfiehlt sich daher jeweils ein strukturiertes Vorgehen nach analogen Grundsätzen.

Trotz der vielfältigen Abstützung der Analysen und der jeweiligen Eigenheiten und lokalen Besonderheiten der Aufgabenstellung gibt es verschiedene Untersuchungen und Aufgaben, die in irgendeiner Form in ähnlicher Weise immer wieder anfallen. Deshalb ist es sinnvoll, in strukturierten Verfahrensabläufen vorzugehen. Das heisst, die in Tabelle 9.5 aufgelisteten Hauptschritte müssen im Prinzip bei jeder Gefahrenbeurteilung ausgeführt werden. Ihr konkreter Inhalt und die Reihenfolge und Art ihres Vollzuges kann jedoch von Fall zu Fall verschieden sein. In den meisten Fällen ist Gefahrenbeurteilung ein iterativer Prozess, so dass sich die einzelnen Arbeitschritte zeitlich überlagern und z.T. wiederholt erfolgen müssen.

Vor allem in den Hauptschritten II bis IV gemäss Tabelle 9.5 können die verschiedenen Gefahrenarten entweder synoptisch (gleichzeitig) oder parallel bzw. sektoriell (je einzeln) bearbeitet werden (vgl. Abb. 9.4). Die beiden Varianten haben Vor- und Nachteile gemäss Tabelle 9.6.

Das zeitsparende synoptische Vorgehen ist nur für erfahrene Bearbeiter und in übersichtlichem Gelände zu empfehlen.

Das aufwendigere sektorielle Vorgehen empfiehlt sich in schwierigem, kompliziertem und unübersichtlichem Gelände (stark coupiertes Relief, Wald). Ideal ist es in diesem Falle, wenn die Geländeerhebungen von mehreren Bearbeitern gleichzeitig und im gleichen Bereich, aufgeteilt auf die einzelnen Gefahrenarten durchgeführt werden. Abgesehen davon, dass der Einzelne den gleichen Geländeabschnitt nicht für jede Gefahrenart wieder begehen muss, können die Beobachtungen auf diese Weise laufend diskutiert werden; die Synopsis ergibt sich dadurch fast zwanglos.

	HAUPTSCHRITT	*TÄTIGKEITEN*
I	Gewinnen des **Überblicks** **Identifikation** und **Lokalisierung** der **Gefahren**	– Überblicksbegehung – überblicksmässige Auswertung ortsbezogener Grundlagen (Klima, Geologie usw.) – überblicksmässige Auswertung historischer Quellen – Gefahrenidentifikation und Gefahrenlokalisierung im Luftbild und vom Gegenhang aus (falls noch keine Gefahrenhinweiskarte besteht) – Identifikation von **Schlüsselstellen** (v.a. Start- und Transitbereich der Prozesse) – Ermitteln von möglichen **Konfliktstellen** (v.a. Ziel- und Wirkungsbereich der Prozesse)
II	Problem- und gebietsangepasste **Arbeitsplanung**	– Festlegen der Verfahren zur Beurteilung der einzelnen Gefahrenarten, der zu verwendenden Methoden, der zu beschaffenden und erhebenden Daten sowie der zu erstellenden Dokumente
III	Detaillierte und flächendeckende Aufnahme der benötigten **Grundlagendaten** und Erstellung der **Basisdokumente**	– Auswertung bestehender Datensammlungen und Dokumentationen, im besonderen der **Katasteraufzeichnungen** – Felderhebungen in situ (relevante Gebietsparameter stumme Zeugen, Schlüsselstellen und -situationen) – Befragung Ortskundiger und Sachverständiger – Erstellen der Basisdokumente: Tabellen, Grafiken, Grundlagenkarten (Karte der Phänomene), Protokolle
IV	**Beurteilung** der gefährlichen Prozesse: – im **Startbereich** (vgl. Tab. 3.5, Kap. 3.5.1): Analyse der Grunddisposition, der variablen Disposition und der möglichen auslösenden Ereignisse – im **Transitbereich**: Analyse der möglichen Prozessabläufe an Schlüsselstellen – im **Ziel- und Wirkungsbereich**: Ermitteln von Intensität und Wahrscheinlichkeit an repräsentativen Stellen	– Einsatz verschiedener Methoden im Rahmen der 3 Grundansätze gemäss Kap. 3.6.2 – Querkontrollen – Untersuchung der Interaktionen zwischen den einzelnen Prozessen – ergänzende Erhebungen und Feldkontrollen – Ergänzung der Grundlagendokumente – kritische Interpretation der Ergebnisse – sorgfältige Dokumentation des Vorgehens und der Auswertungen – Überblick über offene Fragen und problematische Stellen
V	Beizug von **Spezialisten**	– Spezialuntersuchungen – Lösung offener Fragen
VI	**Extrapolation** der Befunde in die betroffenen Flächen **Zuordnung** der **Gefahrenstufen**	– Detaillierte Erhebungen der Geländeverhältnisse und von 'stummen Zeugen' im möglichen Wirkungsbereich des gefährlichen Prozesses – Auswertung von Darstellungen über frühere Ereignisse – Beachtung der Interaktionen zwischen den einzelnen Prozessen – Zuordnung der Gefahrenstufen
VII	**Überprüfung** im Gelände: **Plausibilitätskontrollen** und **definitive Abgrenzung** der **Gefahrengebiete**	– evtl. Beizug eines unbefangenen Sachverständigen – nochmalige ganzheitliche Beurteilung der grossen Gefahrenstriche – Überprüfung der Interaktionen (Synopsis)
VIII	**Redaktion**	– **Redaktion** der Karten, der Protokolle bzw. des Berichtes – Zusammenstellen des Argumentationskonzeptes und der Argumentationsgrundlagen für Verhandlungen

Tab. 9.5 Hauptarbeitsschritte für die Beurteilung und Einstufung der gefährlichen Prozesse (Ebene Nutzungsplanung)

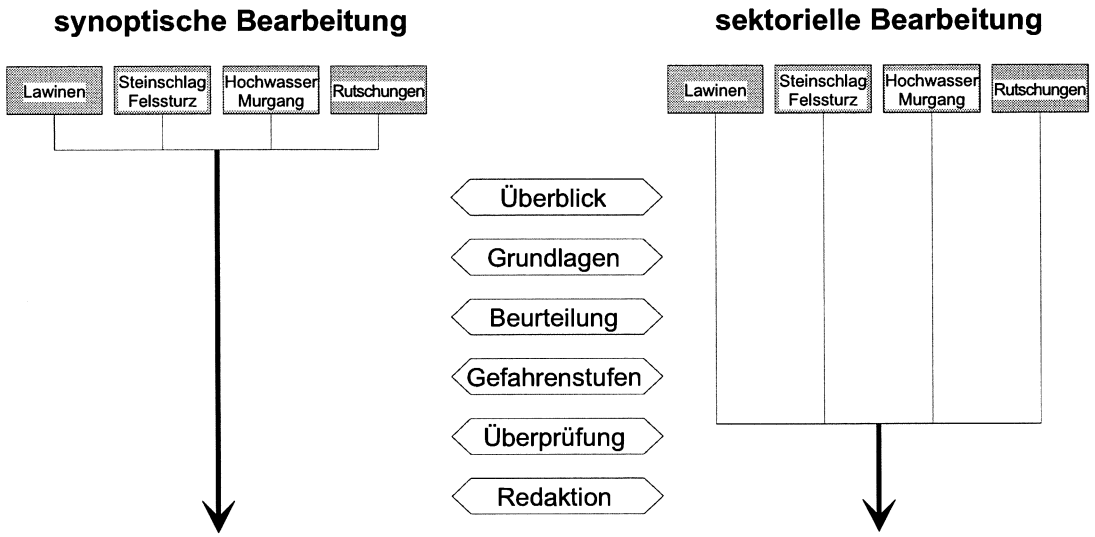


Abb. 9.4 Synoptische oder parallele Bearbeitung der Gefahren

Synoptische Bearbeitung	***Sektorielle Bearbeitung***
Vorteile:	
Erfassen aller Gefahrenarten in einem Vorgang, z.T. mit nur einer Feldbegehung	Ganzheitliche Betrachtung des einzelnen Gefahrenstrichs (z.B. eines Lawinenzuges) ergibt sich zwanglos und ohne «Ablenkung» durch die Befassung mit anderen Prozessen
«Zwang» zur Synoptik der verschiedenen Gefahrenarten bei jedem Arbeitsschritt	
Nachteile:	
Überforderung bei den Erhebungen in schwierigem und unübersichtlichem Gelände (zu viele Merkmale müssen gleichzeitig erhoben werden)	Notwendigkeit zu je einer Feldbegehung für jede einzelne Gefahrenart
Die ganzheitliche Beurteilung der einzelnen Gefahrenstriche ist erschwert	Erkennen der Zusammenhänge mit andern Gefahrenarten ergibt sich nicht zwanglos

Tab. 9.6 Vor und Nachteile der synoptischen bzw. sektoriellen Bearbeitung

Das Ergebnis dieser Arbeitsplanung ist als Leitlinie für das weitere Vorgehen aufzufassen. Weil erfahrungsgemäss immer wieder unvorhergesehene Fragen und Probleme auftauchen, gilt es jedoch, flexibel zu bleiben und das Vorgehen laufenden Bedürfnissen und dem gesteckten Ziel einer korrekten und nachvollziehbaren Gefahrenbeurteilung anzupassen.

Die Bearbeitung der einzelnen Gefahrenarten erfolgt aufgrund unterschiedlicher Voraussetzungen. Dies betrifft einerseits die Komplexität der Ereignisabläufe bzw. die Länge der Kausalketten und andererseits ganz allgemein die heutige Verfügbarkeit von anerkannten Methoden.

9.2.2 Hilfsmittel zur Beurteilung komplexer Ereignisabläufe

Komplexe Ereignisabläufe können mit Hilfe von Fehlerbäumen oder Ereignisbäumen transparent gemacht und nachvollziehbar beurteilt werden. Voraussetzung ist eine vorgängige sorgfältige Analyse der massgeblichen Teilprozesse.

Trotz dem an sich komplizierten Ablauf eines Steinschlags von der Ablösung über die Sprung- und Rollbewegungen, Aufsplitterungen usw. bis zum letzten Aufprall handelt es sich hier um einen relativ einfachen Prozess, weil die Kausalkette recht gut überschaubar ist. Anders sieht es beispielsweise im Zusammenhang mit Hochwasser- und Übermurungsgefahren aus. Hier spielen verschiedene Teilprozesse räumlich getrennt und z.T. mit erheblicher zeitlicher Verschiebung eine Rolle. Sie lassen sich nur zum Teil deterministisch verknüpfen. Für die Beurteilung der Gefahr auf einem Wildbach-Schwemmkegel sind dabei u.a. folgende Untersuchungen nötig:

- Wasser- und Geschiebefrachten sowie sekundliche Durchflussmengen, die anlässlich des Referenzereignisses am Schwemmkegelhals zu erwarten sind. Dies erfordert je nach den örtlichen Verhältnissen u.a. Abklärungen bzw. Abschätzungen bezüglich:
  - Murfähigkeit des Wildbaches (vgl. dazu Rickenmann 1995, Spreafico et al. 1996);
  - Geschiebepotential;
  - Hochwasser-Abflussmenge;
  - Transportkapazität des Gerinnes
  - usw.
- Austrittsmöglichkeiten der Wasser- und Geschiebemassen im Bereich des Schwemmkegels:
  - Schwachstellen;
  - mögliche Trajektorien der Wasser- und Geschiebemassen ausserhalb des Gerinnes, Ablagerungsgebiete;
  - Überflutungs- und Übermurungshöhen;
  - mögliche Stoss- und Druckwirkungen;
  - mögliche Erosion und Rinnenbildung;
  - möglicher Rückstau des Vorfluters;
  - usw.

Im gesamten Ablauf sind zahlreiche Bifurkationen möglich. Auch wenn die Teilprozesse je einzeln korrekt beurteilt werden können, so ergeben sich für die Wirkungsanalyse doch erhebliche Probleme. Unter Anwendung aller Grundansätze gemäss Kapitel 3.6.2 müssen zuerst die Teilprozesse einzeln und dann die möglichen Ereignisketten untersucht und beurteilt werden.

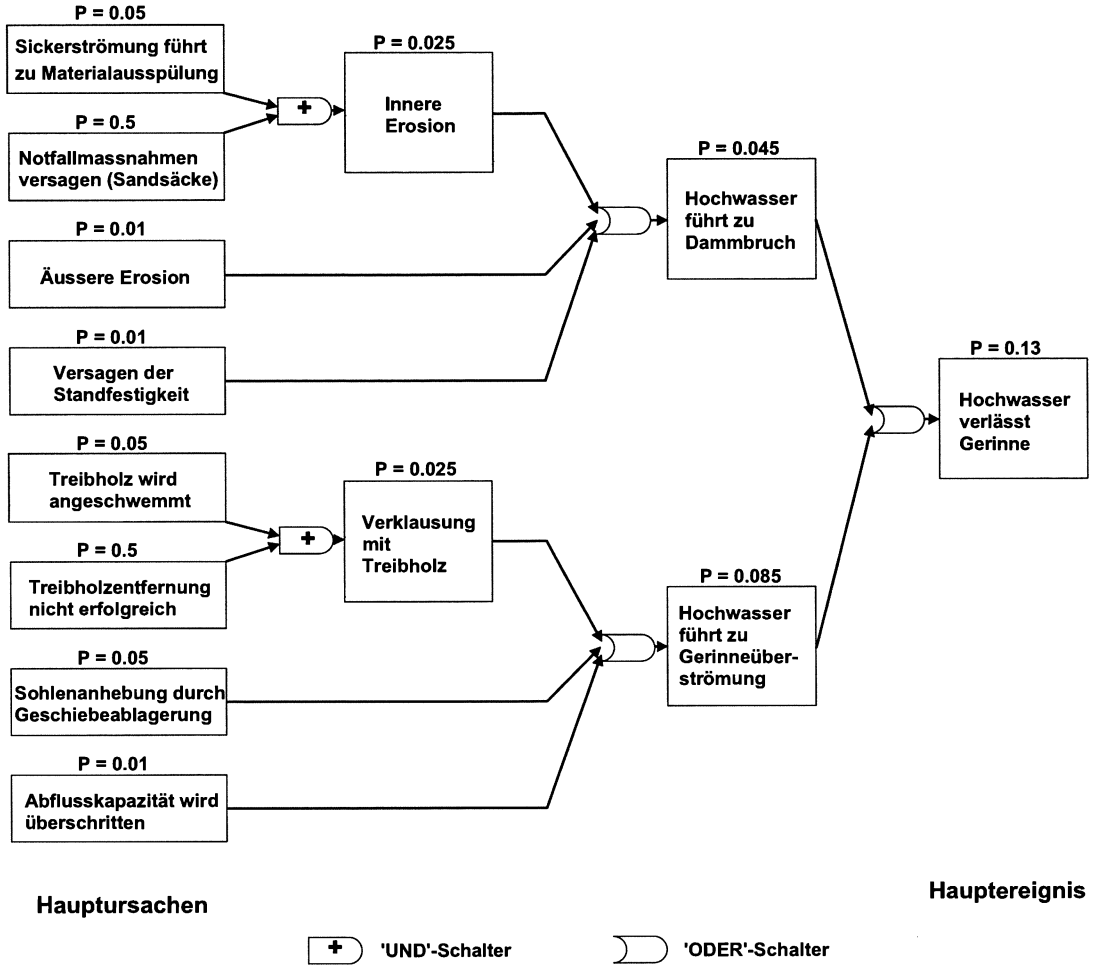


Abb. 9.5 Beispiel eines quantitativen Fehlerbaumdiagramms (aus Egli 1996)

Zur Verknüpfung der zu berücksichtigenden Teilprozesse unter Berücksichtigung ihrer Eintrittswahrscheinlichkeiten können Fehlerbäume oder Ereignisbäume eingesetzt werden.

Mit Hilfe eines qualitativen oder quantitativen Fehlerbaumes können die logischen Verknüpfungen von möglichen Teilprozessen dargestellt werden, die zu einem gefährlichen Hauptereignis («top-event») führen. Eine quantitative Analyse erlaubt eine Abschätzung der Eintrittswahrscheinlichkeit des Hauptereignisses (Egli 1996).

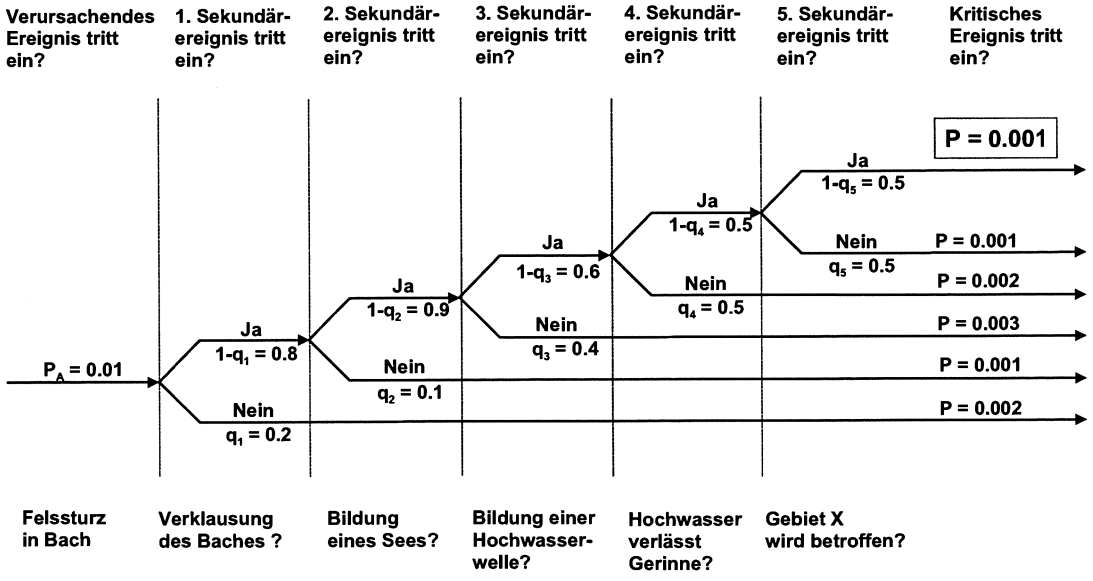


Abb. 9.6 Beispiel eines quantitativen Ereignisbaums (aus Egli 1996)

Mit einem Ereignisbaum lassen sich mögliche Ereignisabläufe in einem grösseren System erfassen, welche nach einem auslösenden Ereignis durch nachfolgende Reaktionen eintreten können. Dabei werden die logischen und näherungsweise auch die zeitlichen Abläufe in binärer Logik dargestellt: Erfolgt eine Reaktion? Die Antworten (ja oder nein) können je mit bedingten Eintrittswahrscheinlichkeiten quantifiziert werden (Egli 1996).

9.2.3 Methoden: Entwicklungen verfolgen und aufnehmen

Methoden und Hilfsmittel zur Gefahrenbeurteilung sind einer ständigen Entwicklung unterworfen. Gefahrenbeurteilung nach den «Regeln der Kunst» verlangt deshalb eine kontinuierliche, kritische Auseinandersetzung mit neuen Entwicklungen.

Für einzelne Gefahrenarten, z.B. für Fliesslawinen bestehen seit recht langer Zeit bewährte Methoden (Salm et al. 1990), während für andere Gefahrenarten (z.B. Murgänge) die Entwicklungen stark im Fluss sind. Da die interessierenden Prozesse praktisch weltweit eine Rolle spielen, befassen sich heute zahlreiche Institutionen mit deren Beurteilung und mit Gegenmassnahmen. Laufend wird versucht, die einzelnen Prozesse kausal oder statistisch besser zu erfassen. Zur Wahrung der Kontinuität und Konsistenz der Gefahrenbeurteilungen ist es auf der einen Seite sinnvoll, bewährte Methoden über längere Zeit einheitlich anzuwenden. Auf der anderen Seite sind wichtige Fortschritte in der Methodik aufzunehmen, wenn dadurch die Qualität und Nachvollziehbarkeit der Gefahrenbeurteilung verbessert werden kann. Nur so kann ein Vorgehen nach den «Regeln der Kunst» (vgl. Kap. 3.4.1) gewährleistet werden. Ständiges Verfolgen der Entwicklungen und die Auseinandersetzung mit neuen Methoden ist somit für alle ein Muss, die sich mit der Beurteilung von Naturgefahren befassen. In der Schweiz kann dies unter anderem durch die Weiterbildungskurse der Forstlichen Arbeitsgruppe Naturgefahren (FAN) unterstützt werden.

9.3 Literatur

ANR (1996): Bericht der temporären Arbeitsgruppe Naturgefahren zur Harmonisierung der Gefahrenstufen (ANR). Diskussionsstand Mai 1996. Bericht zuhanden des Ausschusses Naturgefahren und Raumplanung, c/o Bundesamt für Wasserwirtschaft, Biel.

BFF; SLF (1984): Richtlinien zur Berücksichtigung der Lawinengefahr bei raumwirksamen Tätigkeiten. Eidg. Inst. f. Schnee- und Lawinenforschung, Bundesamt für Forstwesen, EDMZ, Bern.

BUWAL; BWW; BRP (1997): Berücksichtigung der Massenbewegungsgefahren bei raumwirksamen Tätigkeiten. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL), Bundesamt für Wasserwirtschaft (BWW), Bundesamt für Raumplanung (BRP), Bern und Biel (in Vorbereitung).

BWW; BRP; BUWAL (1997): Berücksichtigung der Hochwassergefahren bei raumwirksamen Tätigkeiten. Bundesamt für Wasserwirtschaft (BWW), Bundesamt für Raumplanung (BRP), Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL), Biel und Bern (in Vorbereitung).

Egli, T. (1996): Hochwasserschutz und Raumplanung. Schutz vor Naturgefahren mit Instrumenten der Raumplanung - dargestellt am Beispiel von Hochwasser und Murgängen, ORL-Bericht 100, vdf, ETH Zürich.

EJPD; BRP (1981): Erläuterungen zum Bundesgesetz über die Raumplanung. EDMZ, Bern.

Heim, A. (1932): Bergsturz und Menschenleben. Vierteljahreszeitschr. d. Nat. forsch. Ges. in Zürich, Verlag Fretz u. Wasmuth, Zürich, 219 S.

Hutchinson, J.N. (1988): Morphological and geotechnical parameters of landslides in relation to geology and hydrogeology. General Report in: Bonnard, C. (ed.), Landslides, proc. of the fifth internat. symp. on landslides: 3-35, Balkeema, Rotterdam.

Kienholz, H. (1977): Kombinierte geomorphologische Gefahrenkarte 1:10'000 von Grindelwald. Gekürzte Fassung. Catena, Vol.3, No.3/4: 265-294, Giessen.

Rickenmann, D. (1995): Beurteilung von Murgängen. Schweizer Ing. und Architekt, 113.Jg., Nr.48: 1104-1108, Zürich.

Salm, B.; Burkard, A.; Gubler, H.U. (1990): Berechnung von Fliesslawinen. Eine Anleitung für den Praktiker mit Beispielen. Mitt. d. Eidg. Inst. f. Schnee- und Lawinenforschung, Nr.47, Davos.

Spreafico, M.; Lehmann, C.; Naef, O. (1996): Empfehlung zur Abschätzung von Feststofffrachten in Wildbächen. Teil I, Handbuch. Arbeitsgruppe für operationelle Hydrologie, Mitt. Nr. 4, Landeshydrologie und -geologie, Bern.

Schneider, J. (1980): Gefahren, Gefährdungsbild und ein Sicherheitskonzept. Schweizer Ing. und Architekt, Nr. 7:115-121, Zürich.

UNESCO (1986): Erdbeben, Entstehung, Risko und Hilfe. Nationale Schweizerische UNESCO-Kommission.

Varnes, D. (1978): Slope Movement, Types and Processes. In: National Academy of Sciences, Special Report 176: 11-33, Washington.