

UMWELT-MATERIALIEN
NR. 107/I

Naturgefahren

Risikoanalyse bei gravitativen Naturgefahren

Methode

Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL)

UMWELT-MATERIALIEN NR. 107/I

Naturgefahren

Risikoanalyse bei gravitativen Naturgefahren

Methode

With abstract in English
Avec résumé en français
Con riassunto in italiano

Herausgegeben vom Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft BUWAL
Bern, 1999

IMPRESSUM

Herausgeber
Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL)

Auftraggeber
BUWAL / Eidgenössische Forstdirektion

Projektleitung
Prof. Dr. Hans Rudolf Heinimann
Professur für forstliches Ingenieurwesen, ETH Zürich

Autor und Grafik/Layout
Patricio Borter
Professur für forstliches Ingenieurwesen, ETH Zürich

Wissenschaftliche Bearbeitung
Rolf Bart
Ingenieur- und Photogrammetriebüro R. Bart, St. Gallen

Patricio Borter
Professur für forstliches Ingenieurwesen, ETH Zürich

Dr. Thomas Egli
Ingenieur- und Photogrammetriebüro R. Bart, St. Gallen

Markus Gächter
Ingenieur- und Photogrammetriebüro R. Bart, St. Gallen

Begleitung BUWAL
Dr. Peter Greminger
Leiter Fachbereich Schutzwald und Naturgefahren,
Eidg. Forstdirektion, BUWAL

Redaktionelle Beratung
Matthias Diener
Büro für Information und Kommunikation, Luzern

Bezugsquelle
Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft
Dokumentation
3003 Bern

Fax: +41 (0)31 324 02 16
E-Mail: docu@buwal.admin.ch
Internet: http://www.buwalshop.ch

Bestellnummer
UM-107/I-D

Preis
Fr. 30.- (inkl. MWSt), mit Teil II

Hinweis
Zu dieser Publikation ist ein Teil II mit Fallbeispielen, einer Kurzfassung der Methode, Daten zur Risikoanalyse und einem Glossar erhältlich (Umwelt-Materialien Nr. 1/II).

© BUWAL 1999

INHALT

VORWORT 5

ZUSAMMENFASSUNG 7

ABSTRACT 8

RÉSUMÉ 9

RIASSUNTO 10

1. EINLEITUNG 11

2. DIE RISIKOANALYSE ALS ELEMENT DES RISIKOKONZEPTES 13

3. VORBEREITUNGSARBEITEN 17

3.1 System abgrenzen 17

3.2 System beschreiben 20

3.3 Ziele der Risikoanalyse festlegen 22

4. GEFAHRENANALYSE UND SZENARIENBILDUNG 23

5. DIE DREI STUFEN DER RISIKOANALYSE 27

5.1 Risikoanalyse Stufe 1 29

5.2 Risikoanalyse Stufe 2 35

5.3 Risikoanalyse Stufe 3 55

6. UNSCHÄRFEN DER QUANTITATIVEN RISIKOANALYSE 99

7. DIE RISIKOBEWERTUNG 101

7.1 Vergleich von Individualrisiken 102

7.2 Vergleich von Kollektivrisiken 104

7.3 Vergleich der Effizienz von Sicherheitsmassnahmen 107

8. AUSBLICK 111

LITERATURVERZEICHNIS 112

VERZEICHNIS DER VERWENDETEN RECHTSGRUNDLAGEN 113

VERZEICHNIS DER ABBILDUNGEN UND TABELLEN 114

VORWORT

Das Waldgesetz (WaG 1991) verpflichtet die Kantone dazu, Menschen und erhebliche Sachwerte vor Naturereignissen zu schützen. Dabei sind gemäss Subventionsgesetz (SuG, 1990) zweckmässige, kostengünstige Massnahmen zu ergreifen. Um Schutzmassnahmen prioritätengerecht und effizient einzusetzen, müssen wir die Risiken kennen. Die Resultate der Risikoanalyse bieten die Grundlage dazu.

Das Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (Eidg. Forstdirektion) hat 1996 die Professur für forstliches Ingenieurwesen der ETH Zürich und das Ingenieur- und Photogrammetriebüro R. Bart, St. Gallen, mit der Ausarbeitung eines Methodenvorschlages zur Risikoanalyse bei Überschwemmungen, Murgängen, Lawinen, Sturzprozessen und Rutschungen beauftragt. Gemeinsam hat das Projektteam das Vorgehen zur Risikoanalyse unter Berücksichtigung bisheriger Erfahrungen entwickelt, an Fallbeispielen überprüft und in der vorliegenden Publikation festgehalten.

Mit den Lawinenereignissen im Februar 1999, den Schlimmsten seit dem Lawinenwinter 1950/51, erhält die Publikation eine besondere Bedeutung. 16 Todesopfer, hohe Sachschäden und Ertragsverluste von mehreren 100 Millionen Franken deuten darauf hin, dass die Nutzung des Alpenraumes mit Risiken verbunden ist. Dies obwohl der in den vergangenen 50 Jahren aufgebaute integrale Lawinenschutz seine Bewährungsprobe erfolgreich bestanden hat.

Der Bundesrat hat bei der Beantwortung von parlamentarischen Vorstössen zu den Lawinenereignissen 1999 darauf aufmerksam gemacht, dass dem Schutz vor Naturereignissen technische, ökonomische und ökologische Grenzen gesetzt sind und er deshalb den Dialog über anzustrebende Schutzziele und vertretbare Restrisiken im Alpenraum als wichtig erachtet. Es ist Aufgabe von Bund, Kantonen und Gemeinden, diesen Risikodialog gerade im Hinblick auf zukünftige Präventionsbemühungen zum Schutze vor Naturgefahren im Alpenraum zu vertiefen. Der vorliegende Methodenvorschlag zur Risikoanalyse bietet dazu eine Grundlage.

Die Publikation richtet sich an jene Fachleute, die für die Bearbeitung von Sicherheitsproblemen bei Naturgefahren zuständig sind. Den Ingenieurbüros und den zuständigen Behörden soll der Bericht den Einstieg in die Risikoproblematik bei gravitativen Naturgefahren erleichtern. Versicherungen, Eigentümern von Betrieben und Grundeigentümern gibt sie Informationen über den Nutzen einer Risikoanalyse. Im Weiteren dient die Publikation dazu, Naturgefahren – vor allem in Form von Risikokarten – in der Raumplanung und in der Notfallplanung zu berücksichtigen.

Heinz Wandeler
Eidgenössischer Forstdirektor

ZUSAMMENFASSUNG

Die Ausgangslage

Überschwemmungen, Murgänge, Lawinen, Sturzprozesse und Rutschungen gefährden vielerorts Personen und Sachwerte. Forst- und Bauprojekte sowie Massnahmen der Raum- und der Notfallplanung können uns vor diesen gravitativen Naturgefahren schützen. Dabei gilt das Ziel: wir wollen mit minimalem Aufwand grösstmögliche Sicherheit gewinnen. Die Risikoanalyse ist ein erster Schritt, um dieses Ziel zu erreichen.

Die Risikoanalyse

Die Risikoanalyse gibt Antwort auf die Frage "Was kann passieren?". In einem abgegrenzten Gebiet untersucht man das Risiko als Funktion der Wahrscheinlichkeit eines Schadenereignisses und der möglichen Schadenfolge. Das Risiko ist das Mass für die Grösse einer Gefährdung, damit ist es Grundlage, um den Handlungsbedarf festzulegen und Massnahmen zur Risikominderung zu planen.

Die Methode

Die Methode dieser Praxishilfe basiert auf einem "**Drei-Stufen-Modell**". Jede Stufe ist eine eigene Methode zur Risikoanalyse bei gravitativen Naturgefahren. Die Stufen 1 bis 3 gehen zunehmend in die Tiefe. Ein Risiko lässt sich nur auf einer Stufe oder – abhängig von der gewünschten Bearbeitungstiefe - auf mehreren Stufen analysieren.

Risikoanalyse Stufe 1

Auf **Stufe 1** der Risikoanalyse überlagert man mit Hilfe eines geographischen Informationssystems *(GIS)* die Karte der Gefährdung mit der Karte der Bodennutzung und ordnet den Bodennutzungsarten Schutzziele als maximal zulässige Intensität des Gefahrenprozesses und dessen Wiederkehrperiode zu. Wenn die tatsächliche Intensität des Gefahrenprozesses grösser ist als die maximal zulässige Intensität in Bezug auf die Bodennutzung, dann besteht ein Schutzdefizit. Diesem gibt man aufgrund einer festzulegenden Skala einen Zahlenwert und bewertet es.

Risikoanalyse Stufe 2

Auf **Stufe 2** quantifiziert man das Risiko für Raumelemente (Flächen-, Linien- oder Punktelemente) der Stufe 1. Ein Risiko lässt sich aber auch direkt auf Stufe 2 analysieren. Stufe 2 basiert auf Pauschalannahmen und ist ohne Datenerhebung im Feld durchführbar, sofern eine Gefahrenanalyse vorhanden ist. Die Risiken werden mit Franken für Sachschäden und Zahl der Todesopfer für Personen bemessen.

Risikoanalyse Stufe 3

Auf **Stufe 3** analysiert man das Risiko durch spezifische Abklärungen am Einzelobjekt (z.B. ein Gebäude oder ein gefährdeter Streckenabschnitt einer Verkehrsachse). Man kann mit Stufe 3 das Risiko in Raumelementen aus Stufe 2 konkretisieren. Die Resultate sind quantitative Risiken: Franken für Sachschäden und Zahl der Todesopfer für Personen.

ABSTRACT

Initial situation

At many places, flooding, debris flows, avalanches, rock falls and landslides represent a danger to persons and material assets. Forestry and building projects, as well as measures for spatial planning and emergencies, can offer protection against these gravitational natural hazards. The objective: to achieve maximum safety with a minimum of effort. Risk analysis is a primary step in achieving this objective.

Risk analysis

Risk analysis can provide an answer to the question: "what can happen?". This involves investigating the risk as a function of the probability of a disaster and possible consequences of events in a restricted area. The risk is a measure of the extent of a hazard. It is the basis for determining the need for action and planning measures for risk reduction.

Method

The methodology of this practical tool is based on a "**three-stage procedure**". Each stage represents a self-contained procedure for risk analysis for gravitational natural hazards. Stages 1, 2 and 3 are arranged in increasing order of analytical depth (detail). A risk can be analysed in one or more of these stages depending on the desired depth.

Risk analysis stage 1

In **stage 1**, the hazard map is superimposed on the land use map with the aid of a geographical information system *(GIS)*, and protection objectives in the form of maximum permissible intensity of the hazardous process and its recurrence interval assigned to the types of land use. Should the intensity of the hazardous process be greater than the maximum intensity permitted for the particular land use, there exists a protection deficit. The deficit is quantified by a numerical value taken from a scale prepared for this purpose and evaluated.

Risk analysis stage 2

In **stage 2**, the risks for spatial elements (area, linear and point elements) in stage 1 are quantified. Risks can, however, be analysed directly in stage 2. Stage 2 is based on global assumptions and may be carried out without the need for field surveys, provided a hazard analysis is available. Risks are given in Swiss Francs for material damage, and number of fatalities for persons.

Risk analysis stage 3

In **stage 3**, risks are analysed by specific investigations of individual objects (e.g. a building or section of a transport route at risk). Stage 3 may be used to quantify the risk within spatial elements in stage 2. The results represent quantitative risks, i.e. quoted in Swiss Francs for material damage and number of fatalities for persons.

RÉSUMÉ

La situation actuelle

Des inondations, laves torrentielles, avalanches, phénomènes de chutes et glissements de terrain menacent en maints endroits des personnes et des biens. Les projets forestiers et de construction, les mesures d'aménagement du territoire et la planification des mesures d'urgence sont susceptibles de nous protéger contre ces dangers naturels gravitaires. Le but est le suivant: nous assurer une sécurité maximale en consentant un investissement minimal. L'analyse des risques est un premier pas en direction de ce but.

L'analyse des risques

L'analyse des risques répond à la question "Que peut-il se passer?". Dans un secteur délimité, on analyse le risque en tenant compte de la probabilité d'occurrence d'un événement destructeur et des dégâts qu'il occasionnerait. Comme le risque permet de mesurer l'importance d'un danger, il sert de base en vue de définir les actions à engager et de planifier les mesures visant à réduire le risque.

La méthode

La méthode d'application de cet outil pratique se fonde sur un "**Modèle à trois degrés**". Chaque degré est une méthode particulière d'analyse des risques générés par les dangers naturels gravitaires. Les degrés de 1 à 3 vont toujours plus en profondeur. En fonction du niveau de précision souhaité dans le traitement, un risque peut être analysé selon un ou plusieurs degrés.

Analyse des risques, degré 1

Au **degré 1** de l'analyse des risques, on superpose au moyen d'un système d'information géoréférée (SIG) la carte de danger et la carte d'affectation du sol, puis on attribue des objectifs de protection aux différents types d'affectation du sol en fixant une limite admissible à l'intensité du phénomène dangereux et à sa période de retour. Lorsque l'intensité effective du phénomène dangereux dépasse l'intensité maximale admise selon l'affectation locale du sol, il y a déficit de protection. On attribue une valeur numérique à ce déficit de protection – au moyen d'une échelle qui reste à établir - et on l'évalue.

Analyse des risques, degré 2

Au **degré 2**, on quantifie le risque affectant les éléments spatiaux du degré 1 (surfaces, lignes ou points). Un risque peut également être analysé directement selon le degré 2. Celui-ci se base sur des données globales et peut être exécuté sans levé sur le terrain, pour autant que l'on dispose d'une analyse des dangers. Les risques sont mesurés en francs pour les dégâts matériels et en nombre de victimes pour les personnes.

Analyse des risques, degré 3

Au **degré 3**, on analyse le risque au moyen d'investigations spécifiques à l'objet concerné (p. ex. un bâtiment ou un tronçon menacé d'une voie de communication). On peut matérialiser au degré 3 le risque encouru par les éléments spatiaux traités au degré 2. Il en résulte des risques quantifiés: en francs pour les dégâts matériels et en nombre de victimes pour les personnes.

RIASSUNTO

Le premesse

Inondazioni, colate di detriti, valanghe, fenomeni di cadute e frane costituiscono in molti luoghi un pericolo per le persone e i beni materiali. Da questi pericoli naturali legati alla forza di gravità possono proteggerci progetti forestali ed edilizi nonché misure inerenti alla pianificazione del territorio e dell'intervento in caso di emergenza. L'obiettivo perseguito in tale contesto è di ottenere una protezione massima con un dispendio minimo. L'analisi dei rischi rappresenta un primo passo nel raggiungimento di tale traguardo.

L'analisi dei rischi

L'analisi dei rischi dà risposta alla domanda: "Che cosa può succedere?". In un'area delimitata viene analizzato il rischio quale funzione della probabilità di un evento dannoso e delle possibili conseguenze del danno. Il rischio costituisce la misura della portata di un pericolo e funge quindi da base per determinare la necessità di agire e pianificare le misure atte a ridurre il rischio.

Il metodo

Il metodo di questo aiuto pratico è basato su un "**modello a tre livelli**". Ogni livello racchiude in sé un metodo compiuto per analizzare i rischi in caso di pericoli naturali gravitazionali. I livelli 1 a 3 vanno gradualmente più a fondo. Un rischio può essere analizzato su un solo livello oppure – a dipendenza della profondità analitica auspicata – su più livelli.

Livello 1 dell'analisi dei rischi

Al **livello 1** dell'analisi dei rischi vengono sovrapposte, con l'ausilio di un sistema di informazione geografica (*SIG*), la carta dei pericoli e la carta dello sfruttamento del suolo. In seguito, alle categorie di sfruttamento del suolo vengono attribuiti obiettivi di protezione quale intensità ammissibile massima del processo di pericolo e del suo periodo di ricorrenza. Nei casi in cui l'intensità effettiva del processo di pericolo è superiore all'intensità massima ammessa in relazione allo sfruttamento del suolo, si è in presenza di un deficit di protezione. Sulla base di una scala da definire, al deficit di protezione viene attribuito un valore numerico, che sarà in seguito valutato.

Livello 2 dell'analisi dei rischi

Al **livello 2** viene quantificato il rischio per gli elementi spaziali (elementi superficiali, lineari o puntuali) del livello 1. Un rischio può tuttavia essere analizzato anche direttamente al livello 2. Il livello 2 è basato su ipotesi globali e può essere eseguito senza rilevare dati sul terreno, a condizione che sia disponibile un'analisi dei rischi. I rischi sono misurati in franchi per i danni materiali e in numero di morti per le persone.

Livello 3 dell'analisi dei rischi

Al **livello 3** il rischio viene analizzato mediante accertamenti specifici sul singolo oggetto (per esempio un edificio o un tratto in pericolo di un'asse di traffico). Con il livello 3 è possibile concretizzare il rischio in funzione degli elementi spaziali derivati dal livello 2. I risultati sono rischi quantitativi: franchi per i danni materiali e numero di morti per le persone.

1. EINLEITUNG

Das Problem

Überschwemmungen, Murgänge, Lawinen, Sturzprozesse (Stein- und Blockschlag, Felssturz) und Rutschungen können Naturereignisse extremen Ausmasses sein. Sie gefährden Personen in Gebäuden, im Gelände oder auf Verkehrswegen und können vielerorts, vor allem in Siedlungs- und Industriegebieten, grosse Sachschäden anrichten. Die verminderte Schutzwirkung des Waldes, die Folgen der Klimaänderung, vor allem aber die Zunahme der Wert- und Nutzungsdichte in gefährdeten Gebieten verschärfen diese Risiken. Von Seiten der Gesellschaft steigen gleichzeitig die Forderungen nach Sicherheit.

Das Ziel

Wir müssen uns auch in Zukunft wirksam vor Naturgefahren schützen. Doch die Mittel der öffentlichen Hand sind knapp. Daher sind sie dort einzusetzen, wo wir grösstmögliche Sicherheit gewinnen bei minimalem Aufwand.

Die Lösung

Der erste Schritt zu derart effizientem Vorgehen ist die Risikoanalyse. Die Risikoanalyse gibt Antwort auf die Frage "Was kann passieren?". Sind die Risiken einmal analysiert, dann beurteilt man sie einheitlich (Risikobewertung), legt den Handlungsbedarf fest und ergreift effiziente Massnahmen zu ihrer Minderung (Risikomanagement).

Die Methode

Beim Erarbeiten dieser Methode der Risikoanalyse haben wir die Erfahrungen von HOLLENSTEIN (1997), WILHELM (1997), EGLI (1996), ALTWEGG (1989), TROXLER et al. (1989) und GÜNTER/PFISTER (1989) berücksichtigt. Zur Durch-führung der Risikoanalyse stehen drei Stufen zur Wahl, jede gibt Aussagen zum Risiko. Man kann das Risiko nur auf einer Stufe oder verschieden kombiniert auf mehreren Stufen analysieren. **Stufe 1** ist ein Modell zur Beurteilung von Naturrisiken anhand von Schutzdefiziten (=Schutzziel-verletzungen). Man wendet Stufe 1 an, um Konfliktbereiche zu erkennnen und räumlich darzustellen. **Stufe 2** ist ein Modell zur quantitativen Analyse von Naturrisiken in flächigen-, linienförmigen oder punktartigen Raumelementen und basiert auf Pauschalannahmen (für Objektwert, Personenbelegung, u.a.). **Stufe 3** ist ein Modell zur quantitativen Analyse von Naturrisiken beim Einzelobjekt und basiert auf objektspezifischen Abklärungen. Wir wenden Stufen 2 und 3 an, um die Risiken zu kennen und hinsichtlich weiterer Massnahmen zu beurteilen.

Gliederung der Praxishilfe

Diese Praxishilfe besteht aus zwei Teilen: *Teil I* gibt Anleitung, wie man eine Risikoanalyse erarbeitet. In *Teil II* finden sich Fallbeispiele dazu, eine Kurzfassung der Methode, Daten für die Risikoanalyse und ein Glossar.

Anmerkung: ***Kursiv/fett***-gedruckte Wörter im Haupttext verweisen auf die Randspalte; dort finden sich Definitionen dieser Wörter und Anmerkungen, die zum Verständnis der Praxishilfe wichtig sind.

2. DIE RISIKOANALYSE ALS ELEMENT DES RISIKOKONZEPTES

Die ***Sicherheitsplanung*** basiert auf einem systematischen Modell, dem **Risikokonzept**. Das Risikokonzept wurde zum Grossteil in der Nuklearindustrie entwickelt; heute wird es unter anderem auch bei chemischen, technischen und Verkehrs-Risiken angewandt. Das Risikokonzept eignet sich auch für die Sicherheitsplanung bei gravitativen Naturgefahren.

Sicherheitsplanung
Zusammenstellung der massgebenden Gefährdungsbilder und der zu ihrer Abwehr vorgesehenen Sicherheitsmassnahmen.

Das ***Risikokonzept*** besteht aus drei Elementen (siehe Abbildung 1):

1. **Risikoanalyse:** Systematisches Verfahren, um ein Risiko hinsichtlich der Wahrscheinlichkeit des Eintreffens und des Ausmasses der Folgen zu charakterisieren und wenn möglich zu quantifizieren. (Die Risikoanalyse ist Gegenstand dieser Praxishilfe.)
2. **Risikobewertung:** Mit den Ergebnissen der Risikoanalyse entscheidet man – Vor- und Nachteile abwägend - welche Risiken akzeptierbar sind bzw. akzeptiert werden müssen. Der Begriff "Risikobewertung" wird oft synonym mit "Risikobeurteilung" verwendet. (Vorschläge zur Risikobewertung siehe Kapitel 7.)
3. **Risikomanagement:** Einsatz von Massnahmen und Methoden mit dem Ziel, die angestrebte Sicherheit zu erreichen und die Sicherheitsplanung den sich verändernden Umständen anzupassen. (***Anmerkung*** in der Randspalte. Das Risikomanagement wird in dieser Praxishilfe nicht behandelt.)

Risikokonzept
Systematisches Verfahren, um in einem System den Risiken bestmöglich zu begegnen; dies unter Berücksichtigung sicherheitstechnischer, wissenschaftlicher und gesellschaftspolitischer Ansprüche.

Anmerkung
Das Risikomanagement umfasst auch die Risikokontrolle und die Risikokommunikation.

- *Risikokontrolle: Wirkungen der realisierten Massnahmen beurteilen, Restrisiko (Definition siehe Glossar in Teil II) beschreiben.*
- *Risikokommunikation: Die Betroffenen über die Risiken orientieren und ihnen die Kriterien zur Risikobewertung erläutern.*

Ausführliche Angaben zum Risikokonzept finden sich in der Fachliteratur: EGLI 1996, HOLLENSTEIN 1997, WILHELM 1997, SCHNEIDER TH. 1985 und 1981.

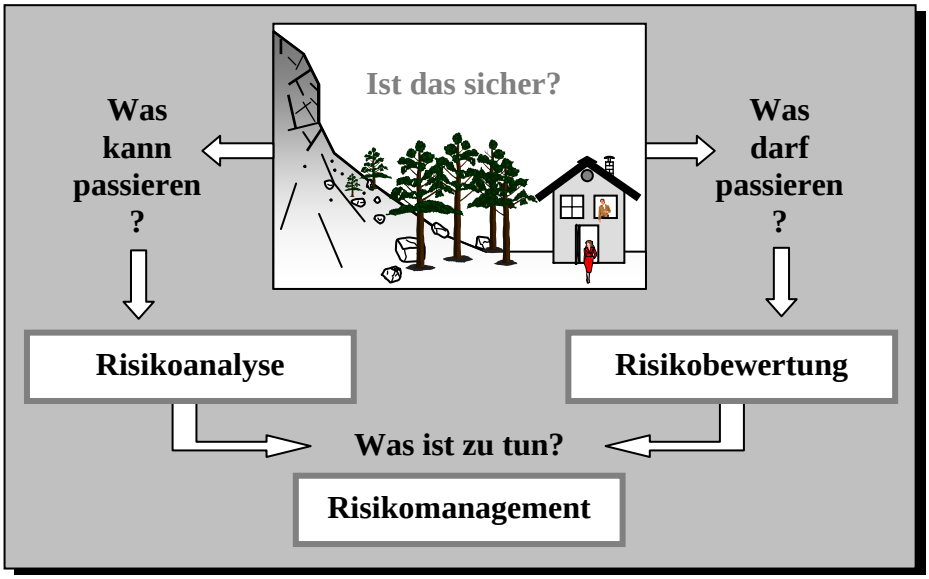


Abbildung 1*: Das Risikokonzept: Schritte des Umgangs mit Risiken (in Anlehnung an SCHWEIZERISCHE ARMEE 1990).*

Die **Risikoanalyse** gibt Antwort auf die Frage "Was kann passieren?". Die Risikoanalyse muss sachlich richtig, nachvollziehbar und verhältnismässig im Aufwand sein. Das generelle Vorgehen kann grundsätzlich in die Teilschritte gemäss Abbildung 2 gegliedert werden (siehe dazu BEROGGI/KRÖGER 1993). Das Resultat jedes Teilschrittes ist jeweils mit Unschärfen behaftet. Diese wirken sich auch auf das Resultat des nächsten Teilschrittes und schliesslich auf das Risiko aus. Ein Risiko ist also immer eine unscharfe Grösse (siehe dazu Kapitel 6.).

Risiko
Mass für die Grösse einer Gefährdung, Funktion der Wahrscheinlichkeit eines Schadenereignisses und der möglichen Schadenfolge.

Ein ***Risiko*** lässt sich mit verschiedenen **Methoden** herleiten:

- Die **qualitative** Methode der Risikoanalyse zeigt risikorelevante Ereignisketten innerhalb eines Systems auf. Sie beschreibt das Risiko in Worten, z.B. gross, mittel, gering (in der Praxishilfe nicht weiter behandelt).
- Die **halb-** oder **semiquantitative** Methode der Risikoanalyse beschreibt das Risiko anhand einer festgelegten Skala. Die Skala kann aus Worten, Zahlen oder aus Worten und Zahlen bestehen (so bei der Risikoanalyse Stufe 1: z.B. Schutzdefizit SD = 30 = *'hohes Schutzdefizit'*).
- Die **quantitative** Methode der Risikoanalyse (in dieser Praxishilfe die Risikoanalysen Stufen 2 und 3) beschreibt das Risiko als Funktion von Schadenwahrscheinlichkeit p_S und Erwartungswert des Schadens $E(S)$ (=Schadenausmass S):

  $$r = f\left(p_S, E(S)\right)$$

  Die einfachste Form der Quantifizierung von Risiken r erfolgt durch die Produkteformel:

  $$r = p_S \times E(S)$$

  Wahrscheinlichkeiten sind ohne Dimension, sie bewegen sich zwischen 0 und 1. Die Risiken bemessen sich daher in der Dimension des Schadens, z.B. in Franken oder Zahl der Todesopfer (***Anmerkung*** in der Randspalte).

Anmerkung
Bezieht man Risiken auf bestimmte Zeitintervalle, z.B. auf ein Jahr, dann spricht man nicht von Wahrscheinlichkeiten p, sondern von Häufigkeiten h: z.B. h_s = 0,03/Jahr (so bei den Risikoanalysen Stufen 2 und 3).

Risiken lassen sich aus verschiedener Sicht betrachten (siehe Abbildung 2, Kasten *'Risikobestimmung'*):

- **Objektrisiko r:** Grösse eines Risikos für ein Objekt. Ein Objekt ist hier die kleinste untersuchte Einheit der Risikoanalyse, so zum Beispiel ein Gebäude, ein Betrieb, eine Menschenansammlung im Freien, eine abgegrenzte Fläche (z.B. Siedlungsraum, Industriefläche), ein gefährdeter Streckenabschnitt einer Verkehrsachse.
- **Kollektivrisiko R:** Grösse eines Risikos für die Gesellschaft, bzw. näher bestimmter Teile dieser Gesellschaft. Hier sind die Gesamtschäden wichtig (R = Summe aller Objektrisiken r innerhalb der Kollektiveinheit).
- **Individualrisiko r_{ind}:** Grösse eines Risikos für den Einzelnen (abgeleitet vom Objektrisiko r und der Zahl der Personen, die sich in diesem Objekt aufhalten).

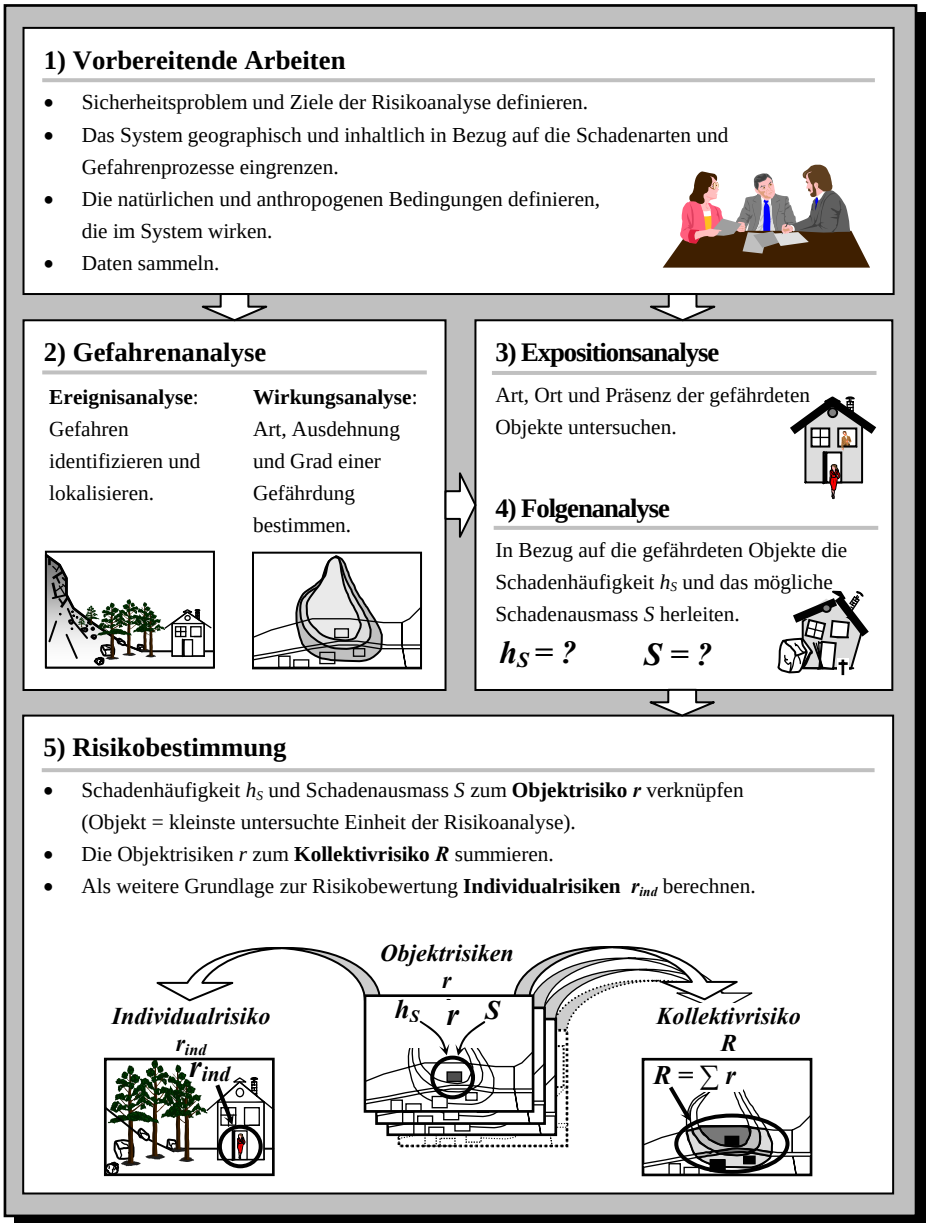


Abbildung 2: *Generelles Vorgehen bei einer Risikoanalyse (in Anlehnung an* BEROGGI/KRÖGER 1993; ***Anmerkung*** *in der Randspalte).*

Anmerkung

Das generelle Vorgehen bei einer Risikoanalyse, wie es in Abbildung 2 dargestellt ist, kommt in dieser Praxishilfe bei den Stufen 2 und 3 mit folgenden strukturellen Änderungen zur Anwendung:

- *Wir fassen die Arbeitsschritte der 3) Expositionsanalyse 4) Folgenanalyse 5) Risikobestimmung in nur einem Kapitel "Risikobestimmung" zusammen (Stufe 2: Seiten 39ff; Stufe 3: Seiten 61ff).*
- *Die Berechnung des Kollektivrisikos erscheint in einem neuen Kapitel "Risikomatrix" (Stufe 2: Seiten 52f; Stufe 3: Seiten 97f).*

3. VORBEREITUNGSARBEITEN

Vor Beginn der eigentlichen Risikoanalyse grenzt der Risikoanalytiker mit dem Auftraggeber das zu untersuchende System ab, beschreibt es und legt die Ziele der Risikoanalyse fest.

3.1 System abgrenzen

Um das System abzugrenzen, muss der Risikoanalytiker das Untersuchungsgebiet kennenlernen, z.B. mit Übersichtsbegehungen, Gegenhangbetrachtungen, Studium von Karten, Luftbildern, Ereigniskatastern, technischen Berichten, Zeitungsberichten. Er soll zudem mit ortskundigen Personen, mit dem Kreisförster, Strassenmeister, Schwellenmeister, Verantwortlichen der Notfallplanung Kontakt aufnehmen.

Man grenzt das zu untersuchende System **geographisch** und **inhaltlich** ab.

GEOGRAPHISCHE SYSTEMGRENZEN

Die geographischen Systemgrenzen bestimmen den Perimeter des Untersuchungsgebietes. Geeignete geographische Systemgrenzen für die Risikoanalyse bei gravitativen Naturgefahren sind die politischen Grenzen eines Gebietes (z.B. Gemeindegrenzen) oder die Grenzen des in einer Sicherheitsplanung bearbeiteten Gebietes. Wenn zwischen einer Gefahrenquelle A und einer Gefahrenquelle B (gleicher oder verschiedener Gefahrenprozesse) Wechselwirkungen bestehen, sind beide Prozessräume in den Untersuchungsperimeter einzuschliessen (Beispiel: Ein Murgang staut das Wasser im Vorfluter und verursacht eine Überschwemmung).

INHALTLICHE SYSTEMGRENZEN

Gefahrenquellen
Geographisch definiertes Entstehungsgebiet eines Gefahrenprozesses.

Schadenarten
Art der möglichen Schädigung (=Schadenindikator) von Personen und Rechtsgütern.

Die inhaltlichen Systemgrenzen bestimmen die zu untersuchenden ***Gefahrenquellen***, ***Schadenarten*** und Objekte der Risikoanalyse. (Die Wahl der zu untersuchenden Objekte erläutern wir für Stufe 2 in Abbildung 9 (Seite 36) und für Stufe 3 auf Seiten 56*f.*)

1) Die Gefahrenquellen

Bei Risikoanalysen in grossen Untersuchungsperimetern (z.B. Gemeindegebiet) kann es angebracht sein, die zu berücksichtigenden Gefahrenquellen zu begrenzen. Unser Vorschlag:

1. Alle im Untersuchungsperimeter vorhandenen Gefahrenquellen identifizieren.
2. Gefahrengruppen bilden aus Gefahrenprozessen, die sich beeinflussen (Beispiel: Ein Murgang staut das Wasser im Vorfluter und verursacht eine Überschwemmung).
3. Alle Gefahrenquellen oder -gruppen ausscheiden, die keine relevanten Schadenarten (gemäss Seite 19) verursachen.
4. Die verbleibenden Gefahrenquellen untersuchen.

2) Die Schadenarten

Schadenbegriff
Gesamtheit aller Schadenarten (siehe dazu BERG et al. 1994).

Grundsätzlich ist von einem möglichst umfassenden ***Schadenbegriff*** auszugehen. Damit die Risikoanalyse verhältnismässig bleibt, schränkt man jedoch fallspezifisch die zu untersuchenden Schadenarten ein, möglichst ohne die Resultate zu sehr zu verzerren. Dabei helfen folgende Überlegungen:

Überlegungen zum Schadenbegriff	**Beispiel:**
1. Welche Beeinträchtigungen von Personen und Rechtsgütern können im betrachteten System auftreten?	*Schadenindikatoren*: Todesopfer, Verlust von Sachwerten, Betriebsunterbruch, Tote Nutztiere, Beeinträchtigung von Schutzwald, u.a.
2. Welche dieser Beeinträchtigungen sollen als Schaden bzw. Nicht-Schaden gelten? (***Anmerkung*** in der Randspalte)	*Schaden*: Todesopfer, Verlust von Sachwerten, Betriebsunterbruch, Tote Nutztiere, .. *Nicht-Schaden*: Beeinträchtigung von Schutzwald, ..
3. Welche Schadenarten kann man vernachlässigen, um den Schadenbegriff auf einen praktikablen Umfang zu beschränken? (***Anmerkung*** in der Randspalte)	*Vernachlässigen*: Tote Nutztiere, ..
4. Welche Schäden sind von primärer Bedeutung?	I) Todesopfer II) Verlust von Sachwerten III) Betriebsunterbruch

Anmerkung zu Punkt 2
Die Beantwortung dieser Frage ist eine Bewertung. Diese ist abhängig vom gewünschten Detaillierungsgrad der Risikoanalyse.

Anmerkung zu Punkt 3
Es kann nötig sein, den Schadenbegriff einzuschränken, wenn zum Erfassen der Schäden
- *Zeit und Geld fehlen.*
- *das wissenschaftliche Instrumentarium fehlt.*

Der Risikoanalytiker definiert mit der Beantwortung dieser vier Fragen den Schadenbegriff und schränkt diesen ein.

In dieser Praxishilfe berücksichtigen wir folgende **Schadenarten**:

Personenschäden	
Personen in Gebäuden, auf Verkehrsachsen und im Freien	→ Anzahl Todesopfer

Sachschäden	
• Gebäudestruktur und -inhalt	→ Verlust von Sachwerten [Fr.]
• Industrie, Gewerbe	→ Wertschöpfungsausfall infolge eines Betriebsunterbruchs [Fr.]
• Infrastrukturanlagen (Verkehrsanlagen, Leitungen, Kunstbauten)	→ Wiederherstellungskosten, Räumungskosten, Wertschöpfungsausfall [Fr.]
• Nutztiere	→ Tote Nutztiere [Fr.]
• Landwirtschaftlich genutzte Flächen	→ Ernteausfallkosten, Wiederherstellungskosten, Räumungskosten [Fr.]
• Schutzwald (Waldbau B und C)	→ Ernteausfallkosten, Wiederherstellungskosten, Räumungskosten [Fr.]
• Grün- und Parkanlagen sowie Gebäudeumschwung	→ Wiederherstellungskosten, Räumungskosten [Fr.]
• ***Kulturgüter***	→ Verlust in [Fr.] oder mittlerer Schadengrad in Prozent des immateriellen Wertes "W"

Folgeschäden	
(***Anmerkung*** in der Randspalte)	
• Folgeschäden an Personen • Folgeschäden an ökonomischen Werten • Folgeschäden an ökologischen Werten (Boden, Gewässer)	Schadenarten gemäss BUWAL 1991

Kulturgüter
Kulturgüter haben auch immateriellen Wert. Deshalb können wir das Risiko bei Kulturgütern nicht allein in Franken messen.

Anmerkung
Folgeschäden können entstehen, wenn der Gefahrenprozess ein gefährliches Folgeereignis auslöst (siehe dazu Seite 96).

Die Begrenzung auf die oben aufgelisteten Schadenindikatoren schränkt den Schadenbegriff bereits ein. Wir vernachlässigen hier folgende Schadenindikatoren: Kosten infolge unterbrochener Verkehrsachsen und Leitungen, verringerte Konkurrenzfähigkeit von Betrieben, Anzahl verletzte Personen und Tiere, Anzahl evakuierte Personen, Beeinträchtigung des psychischen Wohlergehens, Beeinträchtigung sozialer Strukturen, Verlust an Lebensqualität, Beeinträchtigung des Landschaftsbildes, u.a.m. Wenn in Bezug auf einen Schadenindikator, der hier unberücksichtigt bleibt, relevante Schäden zu erwarten sind (z.B. Kosten infolge unterbrochener Verkehrsachsen), dann kann man das entsprechende Schadenausmass ermitteln oder abschätzen und in die Risikobestimmung gemäss Stufe 3 dieser Praxishilfe integrieren.

Anmerkungen

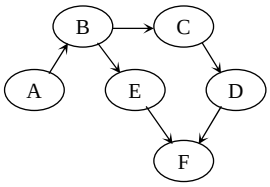
- Diese Praxishilfe berücksichtigt keine positiven Auswirkungen von Naturereignissen. Beispiel: Die nach einem Naturereignis nötigen Bauarbeiten fördern die regionale Wirtschaft.
- Wenn aufgrund der Risikoanalyse Bundesmittel geltend gemacht werden, müssen touristische Anlagen speziell gekennzeichnet werden: Gemäss Waldverordnung (WaV 1992) Art. 42 Abs. 4 Bst. b leistet der Bund keine Abgeltungen an Massnahmen zum Schutz touristischer Anlagen.

3.2 System beschreiben

Die Beschreibung des zu untersuchenden Systems gibt eine vereinfachte und doch vollständige Abbildung der Realität. Sie enthält alle Komponenten des Systems (aufgeteilt in Sub- und Teilsysteme), die für die Zielsetzung der Risikoanalyse wichtig sind. Abbildung 3 ist ein Beispiel einer vereinfachten Systembeschreibung. Man kann die Abläufe oder Zusammenhänge im System besser verstehen, indem man die Wechselbeziehungen zwischen einzelnen Komponenten beschreibt und darstellt (***Anmerkung*** in der Randspalte).

Anmerkung
Wechselbeziehungen zwischen einzelnen Komponenten lassen sich unter anderem mit "Influenz-diagrammen" aufzeigen.

Beispiel eines Influenz-diagrammes:



A Ereignis: Murgang
B Ereignisgrösse: Intensität
C Räumliches Auftreten: Gefahren-prozess trifft Camping (Wahrscheinlichkeit)
D Exposition: Personen auf Campingplatz (Wahrscheinlichkeit)
E Letalität (=Sterbewahrschein-lichkeit): Personen auf Camping
F Schaden: Todesopfer auf Campingplatz

Neben den geographischen und inhaltlichen Systemgrenzen (Kapitel 3.1) beschreibt der Risikoanalytiker auch die natürlichen und anthropogenen Bedingungen (**konditionelle Systemgrenzen**), die der Risikoanalyse zugrundeliegen. Zu den natürlichen Bedingungen zählen die klimatischen Verhältnisse (Niederschlagssumme, -intensität und -verteilung, Temperatur) sowie der Zustand der Vegetation (Fläche, Deckungsgrad, Bestockungsgrad). Anthropogene Bedingungen sind Daten zu Bevölkerung, Siedlungsfläche, Verkehrsaufkommen und andere mehr.

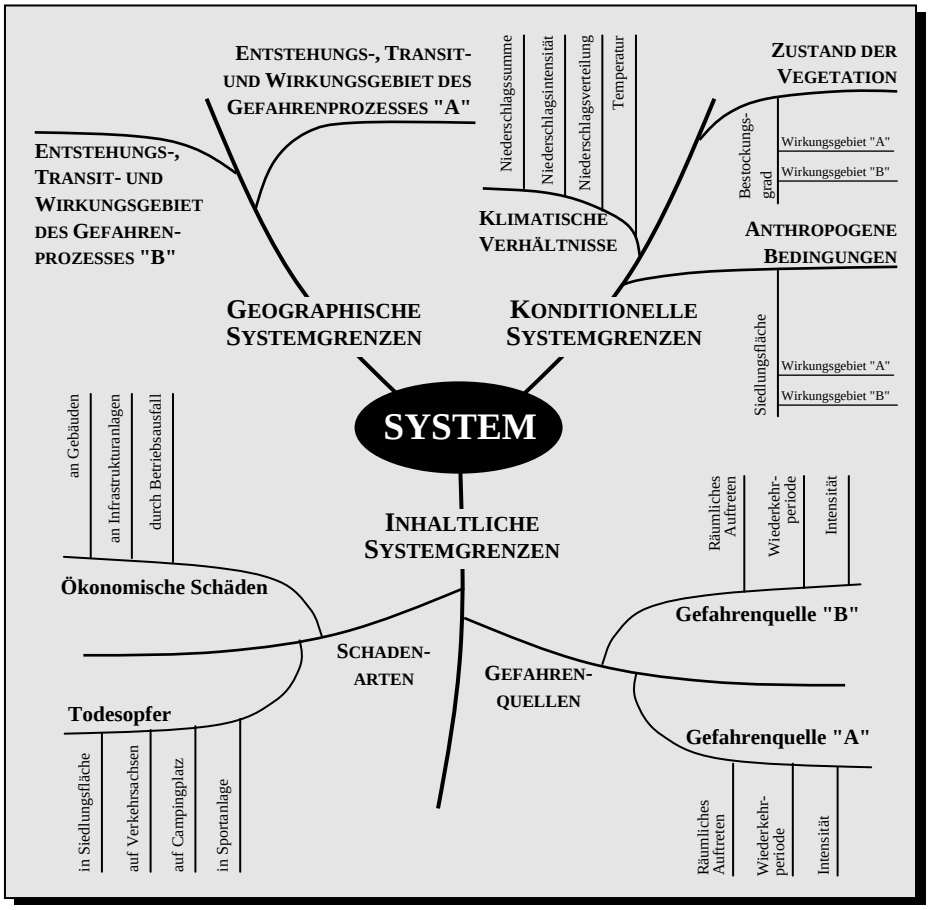


Abbildung 3: *Beispiel einer vereinfachten Systembeschreibung, dargestellt als 'Mind-Map' (**Anmerkung** in der Randspalte).*

Anmerkung
Die Methode des 'Mind-Mapping' (KIRCKHOFF 1997) eignet sich gut, um Systeme ganzheitlich und detailliert zu erfassen und darzustellen.

Vorgehen:
1. *Den Systemnamen in die Mitte eines Blattes schreiben und umranden.*
2. *Einen ersten (dann zweiten, dritten) Ast zeichnen und anschreiben (z.B. "Inhaltliche Systemgrenzen")*
3. *Zweige (z.B. "Schadenarten") und Nebenzweige 1. Grades (z.B. "Todesopfer"), 2. Grades (z.B. "auf Campingplatz") usw. ansetzen, bis alle wichtigen Komponenten des Systems aufgeführt sind.*

Achtung:
- *Äste und Zweige möglichst mit einzelnen Hauptwörtern anschreiben.*
- *Äste und Zweige niemals kreuzen.*

Die Risikoanalyse ist eine **Momentaufnahme**: Sie analysiert das von einer Gefahrenquelle unter den aktuellen Bedingungen ausgehende Risiko.

Bei wichtigen Veränderungen des Systems (z.B. Zustandsverschlechterung des Schutzwaldes, Änderung der klimatischen Verhältnisse, Änderung der Werteverteilung im Wirkungsgebiet) ist die Risikoanalyse den neuen Bedingungen anzupassen.

Risikoanalysen können auch für **zukünftige** oder **vergangene Systemzustände** angebracht sein. Beispiele:
- Verminderte Schutzfunktion des Waldes → erlaubt Aussagen über den Nutzen des bestehenden Schutzwaldes, rechtfertigt Schutzwaldpflege.
- Verlust der Funktionstüchtigkeit bestehender Schutzbauten → rechtfertigt Unterhaltsarbeiten.
- Geplante Bauvorhaben → ermöglicht es, die Folgekosten zum Schutz der geplanten Bauten zu schätzen.
- Rekonstruktion eingetretener Schadenereignisse → ermöglicht es, die Daten zu den Risikofaktoren unseres Modells mit denjenigen eines realen Schadenereignisses zu vergleichen.

3.3 Die Ziele der Risikoanalyse festlegen

Die Ziele der Risikoanalyse bestimmen die Wahl der Methode. Deshalb erläutern wir das Festlegen der Ziele in Kapitel 5. *'Die Methoden der Risikoanalyse',* Abbildung 6 (Seite 28).

4. GEFAHRENANALYSE UND SZENARIEN-BILDUNG

Die Waldverordnung (WaV 1992; Art. 15 Abs. 1 und 2) verpflichtet die Kantone dazu, Gefahrenkarten zu erarbeiten. Gefahrenkarten sind das Ergebnis von Gefahrenanalysen. In einer *Gefahrenanalyse* identifiziert und lokalisiert man die möglichen Gefahren (Ereignisanalyse) und bestimmt die Art, Ausdehnung und den Grad einer Gefährdung (Wirkungsanalyse). Beim Erarbeiten einer Gefahrenanalyse sind die in Tabelle 1 aufgeführten Grundlagen der Fachstellen des Bundes zu berücksichtigen:

Tabelle 1: *Grundlagen, um gravitative Naturgefahren zu beurteilen und in Gefahrenkarten festzuhalten.*

Gefahrenanalyse	Gefahrenprozess	Grundlagen
EREIGNISANALYSE: Mögliche Gefahren identifizieren und lokalisieren.	Alle gravitativen Naturgefahren	BWW/BUWAL (1995) (prozessspezifische Angaben siehe Grundlagen zur Wirkungsanalyse)
WIRKUNGSANALYSE: Art, Ausdehnung und Grad einer Gefährdung bestimmen und in Gefahrenkarten festhalten.	• Lawinen • Überschwemmungen, Ufererosion, Murgänge • Sturzprozesse, Rutschungen	→ BFF/EISLF (1984) → BWW/BRP/BUWAL (1997) → BUWAL/BWW/BRP (1997)

Das aktuelle Wissen zur Beurteilung von gravitativen Naturgefahren ist in HEINIMANN et al. (1998) dargestellt.

Wenn ein Gefahrenprozess Personen oder ***Rechtsgüter*** gefährdet, besteht ein Risiko. Um dieses Risiko qualitativ oder quantitativ zu beschreiben, müssen wir die Einwirkungen des Gefahrenprozesses abschätzen. Dazu beurteilen wir die Häufigkeit des Eintretens und die Intensität des Gefahrenprozesses und grenzen dessen Wirkungsgebiet ein; wir bilden ***Szenarien***. Szenarien können wir von früheren Ereignissen ableiten: **rückwärts-gerichtete Indikation** mittels Auswertung von Dokumenten und Aussagen, Geländeanalyse ("stumme Zeugen"). Meist fehlen jedoch die Daten oder sie sind ungenügend vorhanden. Dann sind wir gezwungen, die künftige Gefahreneinwirkung ohne Bezug zur Vergangenheit abzuschätzen: **vorwärts-gerichtete Indikation** mittels geomorphologischer und allgemeiner Gelände-analyse (kritische Konstellationen, Schlüsselstellen) und mittels Modellversuchen und -rechnungen (siehe dazu HEINIMANN et al. 1998, BFF/EISLF 1984, BWW/BRP/BUWAL 1997, BUWAL/BWW/BRP 1997).

Rechtsgüter
= Rechtsobjekte: Sachen, Immaterialgüter, öffentliche und natürliche Güter

Szenarien
Hypothetische Ereignisabläufe eines Gefahrenprozesses.

Das Szenario ist in der Risikoanalyse die Untersuchungseinheit der Gefahrenseite.

Unsere Methode der Risikoanalyse basiert auf den Grundlagen der Fachstellen des Bundes. Auch wir gehen von drei **Grundszenarien** aus mit jeweils 30-, 100- und 300-jährlicher Wiederkehrperiode T (***Anmerkung*** in der Randspalte). Ein Grundszenario ist definiert durch die Gefahrenquelle, die Wiederkehrperiode T des Gefahrenprozesses, die räumlich differenzierten Intensitäten und das abgegrenzte Wirkungsgebiet (→Resultate aus der Gefahrenanalyse).

Oft betrifft ein einzelnes Ereignis nicht die gesamte Fläche eines Grundszenarios. Dann differenziert man das Grundszenario in **Unterszenarien**, indem man Flächen gleicher ***räumlicher Auftretenswahrscheinlichkeit*** zusammenfasst und diese in ***Ereigniskarten*** festhält (siehe Abbildung 4). Wenn man alle Ereigniskarten (mit einer bestimmten Wiederkehrperiode T) überlagert, dann erhält man die ***Intensitätskarte*** des Grundszenarios (mit der Wiederkehrperiode T). Statt Ereigniskarten zu erstellen, kann man auch die räumliche Auftretenswahrscheinlichkeit abschätzen (Stufe 2, Seite 38) oder mittels einer Ereignisbaumanalyse herleiten (Stufe 3, Seiten 58*f*) und sie direkt den Intensitätskarten als Attribute zuordnen.

Anmerkung
Die Wiederkehrperioden der Grundszenarien sind grundsätzlich frei wählbar. Man kann – bei gerechtfertigten Annahmen - auch Szenarien mit einer Wiederkehrperiode T>300 Jahre oder T<30 Jahre bilden. Bei gut dokumentierten historischen Ereignissen ist es angebracht, die Szenarien nach den vorhandenen Daten zu wählen (siehe dazu HEINIMANN et al. 1998, Seiten 51ff).

Räumliche Auftretenswahrscheinlichkeit
Wahrscheinlichkeit, dass bei Eintritt eines Ereignisses dieses einen bestimmten Punkt des Untersuchungsgebietes tatsächlich erreicht.

Ereigniskarte
Die Ereigniskarte zeigt die räumliche Ausdehnung eines möglichen Ereignisablaufes mit einer bestimmten Wiederkehrperiode T und enthält die Intensitätsstufen gemäss BFF/EISLF (1984), BWW/BRP/BUWAL (1997) und BUWAL/BWW/BRP (1997).

Intensitätskarte
Die Intensitätskarte zeigt die Umhüllende aller möglichen Ereignisabläufe mit einer bestimmten Wiederkehrperiode T und enthält die Intensitätsstufen gemäss BFF/EISLF (1984), BWW/BRP/BUWAL (1997) und BUWAL/BWW/BRP (1997).

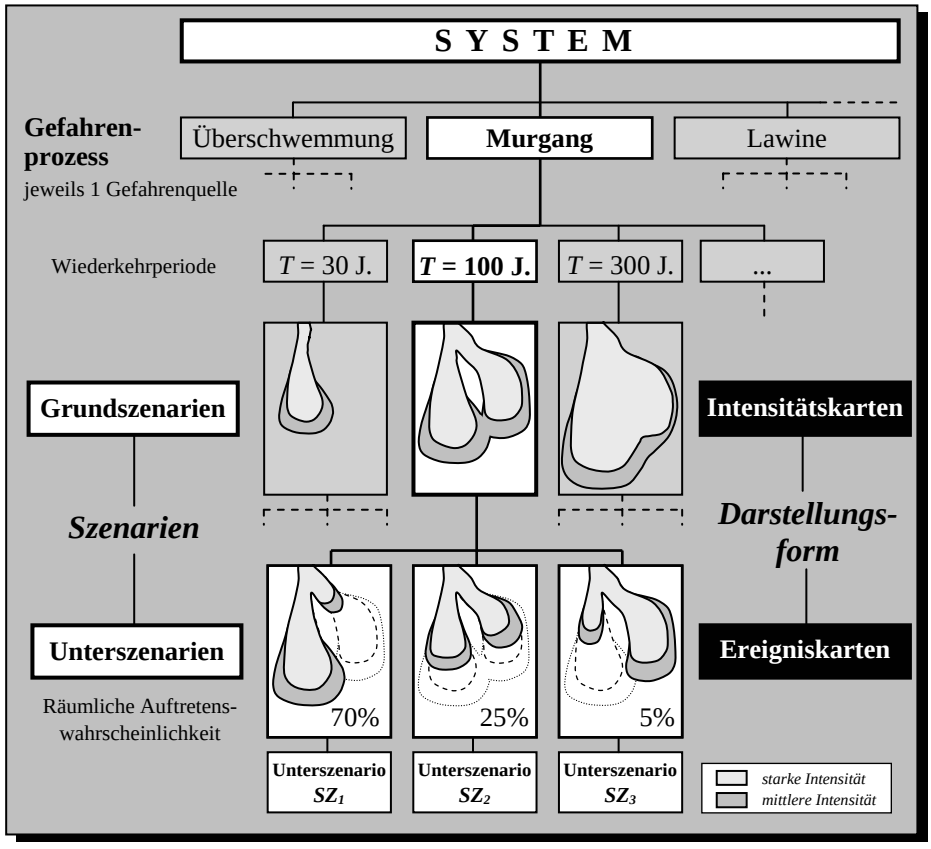


Abbildung 4: *Szenarienbildung bei gravitativen Naturgefahren und Darstellung der Szenarien in Intensitäts- oder Ereigniskarten.*

Die ***relative Häufigkeit*** des Auftretens eines Unterszenarios an einem beliebigen Punkt der betroffenen Flächen gemäss Ereigniskarten errechnet sich aus dem Produkt der Eintretenshäufigkeit (siehe unten) und der räumlichen Auftretenswahrscheinlichkeit. Für die Beispiele in Abbildung 4 gilt also:

Relative Häufigkeit
(bezogen auf einen bestimmten Zeitraum) Anzahl eingetroffener Ereignisse, dividiert durch die Länge des Zeitraumes.

- Relative Häufigkeit des Unterszenarios SZ_1 = 1/100 J. *x* 0,70 = 0,0070/J.
- Relative Häufigkeit des Unterszenarios SZ_2 = 1/100 J. *x* 0,25 = 0,0025/J.
- Relative Häufigkeit des Unterszenarios SZ_3 = 1/100 J. *x* 0,05 = 0,0005/J.

Die **Eintretenshäufigkeit** h_E ist der reziproke Wert der Wiederkehrperiode *T* (***Anmerkung*** in der Randspalte):

$$h_E = \frac{1}{T} \qquad \left[\frac{1}{Jahr}\right]$$

Die Eintretenshäufigkeit beschreibt die relative Häufigkeit pro Jahr, mit der ein Ereignis mit der Wiederkehrperiode T eintritt. Da sich der Wert auf ein Zeitintervall bezieht, spricht man von “Häufigkeit”, nicht von “Wahrscheinlichkeit” (SCHNEIDER 1996).

Anmerkung
Die Grundlagen der Fachstellen des Bundes (siehe Tabelle 1, Seite 23) verwenden die Begriffe "Eintretenswahrscheinlichkeit", "Wiederkehrperiode" und "Häufigkeit" synonym.

5. DIE DREI STUFEN DER RISIKOANALYSE

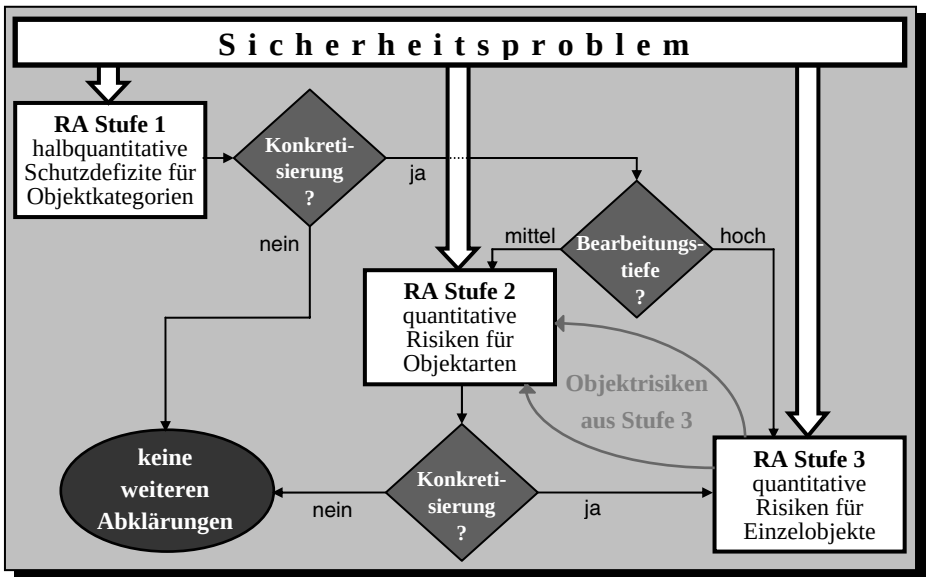
Unsere Methode der Risikoanalyse basiert auf einem "**Drei-Stufen-Modell**". Jede Stufe ist eine eigenständige Methode zur Analyse von Risiken bei gravitativen Naturgefahren. Die Untersuchungen der Stufen 1 bis 3 gehen zunehmend in die Tiefe:

Stufe 1: Die **Schutzdefizite** (=Schutzzielverletzungen) in **Objektkategorien** beurteilen, um Konfliktbereiche zu erkennen und räumlich darzustellen. Die Objektkategorien fassen Objekte mit ähnlichem Schutzbedarf zusammen; Personen sind darin berücksichtigt.

Stufe 2: Die **quantitativen Risiken** für **Objektarten** mit Pauschalannahmen (für Objektwert, Personenbelegung, u.a.) analysieren. Die Objektarten fassen Objekte mit ähnlichem Wert bzw. ähnlicher Personenbelegung zusammen. Man weist Personen- und Sachrisiken getrennt aus. Stufe 2 eignet sich zur Ermittlung von Kollektivrisiken.

Stufe 3: Die **quantitativen Risiken** für **Einzelobjekte** (insbesondere Sonder-objekte, siehe Tabelle 4, Seite 56) mit objektspezifischen Daten analysieren. Aus dem Todesfallrisiko, bezogen auf die Personen im Objekt, das Individualrisiko (Grösse des Risikos für den Einzelnen) herleiten. Das Objektrisiko, bezogen auf Sachwerte, getrennt aus-weisen.

Die Stufen 1, 2 und 3 lassen sich einzeln anwenden, je nach gewünschter Bearbeitungstiefe. Zusammen bilden die drei Stufen aber eine Einheit, eine eigene Methode. Sie lassen sich so kombinieren, dass man Sicherheitsprobleme zielgerichtet und effizient angehen kann. Abbildung 5 zeigt das **Prinzip des Drei-Stufen-Modells** der Risikoanalyse.



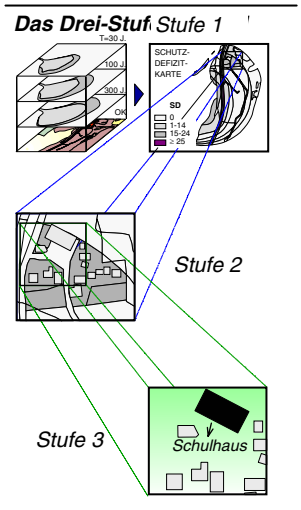


Abbildung 5: *Das Drei-Stufen-Modell der Risikoanalyse (RA = Risiko-analyse).*

Für die **Wahl der anzuwendenden Stufe** sind die Ziele der Risikoanalyse ausschlaggebend (Abbildung 6).

Schutzdefizit
=Schutzzielverletzung

Objektrisiko
Grösse eines Risikos für ein Objekt. Ein Objekt ist die kleinste untersuchte Einheit der Risikoanalyse (Stufe 2: siehe Seite 39; Stufe 3: siehe Seite 61).

Kollektivrisiko
Grösse eines Risikos für die Gesellschaft insgesamt, bzw. näher bestimmter Teile der Gesellschaft. Einheiten für die Ermittlung von Kollektivrisiken sind zum Beispiel

- *eine Gefahrenquelle*
- *mehrere Gefahrenquellen*
- *ein Gefahrenprozess*
- *mehrere Gefahrenprozesse*
- *abgegrenzter Raum (z.B. Gemeindegebiet)*

Individualrisiko
Grösse eines Risikos für den Einzelnen. In dieser Praxishilfe: Todesfallrisiko für eine Person, die sich im Untersuchungsobjekt aufhält.



Abbildung 6: *Festlegen der Ziele und Wahl der Methode der Risikoanalyse.*

Anmerkung zu den Stufen 2 und 3: Für viele der Daten, die wir für die Risikoanalyse Stufe 2 und 3 benötigen, gibt es noch keine oder nur ungenügende Erfahrungswerte. Deshalb sind wir häufig gezwungen, mit Schätzungen zu arbeiten. Diese Schätzungen beruhen zum Grossteil auf Beurteilungen des Projektteams; bestehende Erfahrungswerte haben wir bei den Schätzungen berücksichtigt (siehe dazu auch Kapitel 6., Seiten 99*f* und Kapitel 8., Seite 111).

5.1 Risikoanalyse Stufe 1

Inhalt

1. Einleitung 29
2. Vorgehen 29
2.1 Intensitätskarten 31
2.2 Objektkategorien und Schutzziele 31
2.3 Objektkategorien-Karte 31
2.4 Verschneidung der Intensitätskarten mit der Objektkategorien-Karte 32
2.5 Schutzdefizit-Bewertung 32
2.6 Schutzdefizit-Karte 33

5.1 1. Einleitung

Die Risikoanalyse Stufe 1 ist ein Modell zur Beurteilung von Naturrisiken in Form von Schutzdefiziten (=Schutzzielverletzungen). Man wendet Stufe 1 an, um die Problemstellen des Systems für die Raum- und Notfallplanung zu finden und Prioritäten für weitere Untersuchungen (z.B. Risikoanalyse Stufen 2, 3 oder vertiefte Gefahrenabklärungen) zu setzen.

Mit Hilfe eines geographischen Informationssystems (***Anmerkung*** in der Randspalte) überlagern wir die Karten der Gefährdungen mit der Karte der Bodennutzung. Die Resultate aus Stufe 1 sind Schutzdefizite (=Schutzziel-Verletzungen) von flächigen, linienförmigen oder punktartigen Raum-elementen. Wir stellen die Schutzdefizite in Karten, Tabellen oder Grafiken dar (siehe Fallbeispiele in *Teil II*, *Kapitel 1.2* und *2.4*).

Anmerkung
Für die Stufe 1 brauchen wir geographische Informationssysteme. Bei einfachen Bedingungen – z.B. wenn nur eine Gefahrenquelle und ein bis zwei Szenarien vorhanden sind - lässt sich auf Stufe 1 manuell arbeiten. Bei komplexeren Bedingungen wird der Aufwand aber bald unverhältnismässig hoch.

5.1 2. Vorgehen

Das Vorgehen bei der Risikoanalyse Stufe 1 ist in Abbildung 7 (Seite 30) dargestellt. In den Kapiteln 5.1 2.1 bis 5.1 2.6 erläutern wir die einzelnen Arbeitsschritte aus Abbildung 7.

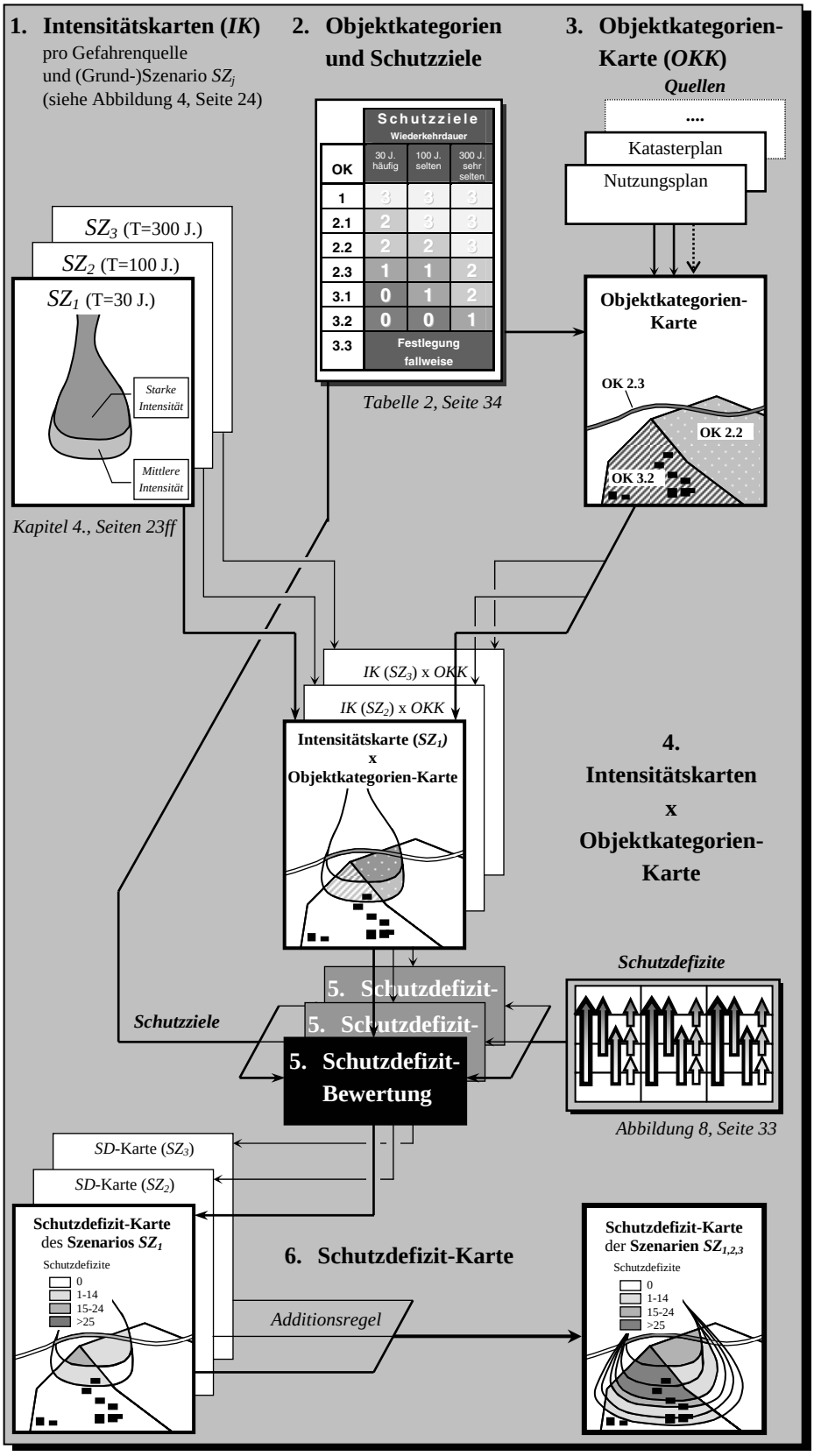


Abbildung 7: *Vorgehen bei der Risikoanalyse Stufe 1 (**Anmerkung** in der Randspalte).*

Anmerkung

Als Alternative zum vorgestellten Vorgehen kann man zuerst alle szenarienspezifischen Intensitätskarten zu einer Gefahrenkarte verschneiden. Die Gefahrenkarte enthält dann sämtliche Informationen der einzelnen Szenarien. Aus dem Verschnitt der Gefahrenkarte mit der Objektkategorien-Karte resultiert die Schutzdefizit-Karte für alle Szenarien.

5.1 2.1 Intensitätskarten

Die Intensitätskarte zeigt die Umhüllende aller möglichen Ereignisabläufe mit einer bestimmten Wiederkehrperiode T und enthält die Intensitätsstufen gemäss BFF/EISLF (1984), BWW/BRP/BUWAL (1997) und BUWAL/BWW/BRP (1997). Man erstellt für jedes untersuchte (Grund-)Szenario SZ_j einer Gefahrenquelle eine Intensitätskarte (***Anmerkung*** in der Randspalte). Zur Szenarienbildung siehe Kapitel 4., Seiten 23*ff*.

Anmerkung
Ein (Grund-)Szenario SZ_j ist auf Stufe 1 definiert durch
- *die Gefahrenquelle*
- *die Wiederkehrperiode T*
- *räumlich differenzierte Intensitäten*
- *das abgegrenzte Wirkungsgebiet*

Die räumliche Auftretenswahrscheinlichkeit (siehe Seite 24) kann man auf Stufe 1 vernachlässigen.

5.1 2.2 Objektkategorien und Schutzziele

Die Untersuchungsobjekte werden nach ihrem Schutzbedarf in **Objektkategorien** zusammengefasst. Die **Kantone** definieren – zusammen mit verschiedenen Interessengruppen – diese Objektkategorien und ihre Schutzziele.

In unserem Beispiel (Tabelle 2, Seite 34) gliedern wir die Objektkategorien in drei Hauptkategorien mit Unterkategorien. Weiter unterscheiden wir Sachwerte, Infrastrukturanlagen und Naturwerte. In den Objektkategorien sind auch Personen und Tiere enthalten.

Jeder Objektkategorie ist ein **Schutzziel** zugeordnet. Das Schutzziel beschreibt die maximal zulässige Intensität I_{SOLL} in Abhängigkeit der Wiederkehrperiode T eines (Grund-)Szenarios SZ_j (siehe Tabelle 2, Seite 34). Den Sonderobjekten (***Anmerkung*** in der Randspalte) ordnet man die Schutzziele einzeln zu.

Anmerkung
Zur Unterkategorie der Sonderobjekte (siehe auch Tabelle 4, Seite 56) gehören Objekte mit besonderer Schadenanfälligkeit, von hohem materiellem oder immateriellem Wert, mit ausserordentlichen Menschenansammlungen oder mit der Gefahr von Sekundärschädigungen.

5.1 2.3 Objektkategorien-Karte

Die Objektkategorien-Karte enthält alle definierten Objektkategorien des Systems. Man erfasst sie als
- **flächige** Raumelemente (Siedlungs-, Gewerbe-, Industrie-, Landwirtschafts-, Waldflächen)
- **linienförmige** Raumelemente (Verkehrsachsen, Leitungen)
- **punktartige** Raumelemente (Einzelgebäude, Leitungsmasten)

Die wichtigste Grundlage für die Objektkategorien-Karte ist der **Nutzungsplan**. Man digitalisiert den Nutzungsplan mit Hilfe eines geographischen Informationssystems (***Anmerkung*** in der Randspalte) und übernimmt dessen Attribute. Dann ordnet man die Kategorien des Nutzungsplans den Objektkategorien zu und erstellt so die Objektkategorien-Karte (Beispiel siehe *Teil II*, *Seite 30*).

Anmerkung
In Zukunft werden die Nutzungspläne vermehrt in digitaler Form erstellt sein. Der Aufwand für die Stufe 1 vermindert sich dadurch stark.

Weitere mögliche Quellen für eine Objektkategorien-Karte:

Objektkategorie	Herkunft der Daten
• Alle Objektkategorien	Kantonales Vermessungsamt (Übersichtspläne), Landestopographie (Kartengrundlagen, Luftbilder), Feldbegehungen
• Siedlungsflächen	Gemeinde (Katasterpläne)
• Waldflächen	Kreisforstamt / Förster (Wirtschaftspläne, Bestandeskarten)
• Landwirtschaftsflächen	Landwirtschaftsamt
• Verkehrsachsen	Bundesamt für Statisik (Geostat; digital)
• Leitungen	Gemeinde (Katasterpläne)

Der **Massstab** der Objektkategorien-Karte wird jenem der Intensitätskarten angeglichen (oder umgekehrt); er soll sich – entsprechend dem Nutzungsplan - im Bereich von 1:2'000 bis minimal 1:10'000 bewegen.

5.1 2.4 Verschneidung der Intensitätskarten mit der Objektkategorien-Karte

Man verschneidet jede Intensitätskarte (eine Karte für jedes Szenario) mit der Objektkategorien-Karte und verknüpft die Informationen (Attribute) beider Karten (Beispiel siehe *Teil II*, *Seite 31*). Die meisten geographischen Informationssysteme enthalten eine Funktion für diesen Vorgang. In der neu entstandenen Karte erkennt man für jeden Punkt, welcher Objektkategorie er angehört und welches Szenario mit welcher Intensität (I_{IST}) dort auftreten kann. Mit diesen Informationen kann man nun bestimmen, wo Schutzdefizite bestehen, wie hoch sie sind und wodurch sie verursacht werden.

Anmerkung
Die Schutzdefizit-Bewertung muss durch die Kantone festgelegt werden. Bei einem Schutzdefizit sind die Sicherheitsbehörden für eine Risikominderung zuständig; sie können raumplanerische, waldbauliche oder bautechnische Massnahmen realisieren, Warnsysteme einrichten oder eine Notfallplanung ausarbeiten. Wenn kein Schutzdefizit, aber doch die Möglichkeit einer Schädigung besteht, ist es Sache des Betroffenen, sein Objekt zu schützen oder es zu versichern.

5.1 2.5 Schutzdefizit-Bewertung

Ein **Schutzdefizit** (SD) besteht dann, wenn das Schutzziel eines flächigen, linienförmigen oder punktartigen Raumelementes nicht erfüllt ist, das heisst, wenn die tatsächliche Intensität I_{IST} eines Szenarios SZ_j die maximal zulässige Intensität I_{SOLL} übertrifft. Zur Bewertung des Schutzdefizites schlagen wir das Vorgehen gemäss Abbildung 8 vor (***Anmerkung*** in der Randspalte). Wir bestimmen die Höhe des Schutzdefizites nach folgenden Kriterien:

1. Die effektiv auftretende Intensität I_{IST}.
2. Die Anzahl Intensitätsklassen, um die die Gefährdung (gemäss Intensitätskarte) das Schutzziel übertrifft (I_{IST} minus I_{SOLL}).
3. Die Eintretenshäufigkeit h_E (bzw. Wiederkehrperiode T) des Szenarios, in dem das Schutzdefizit besteht.

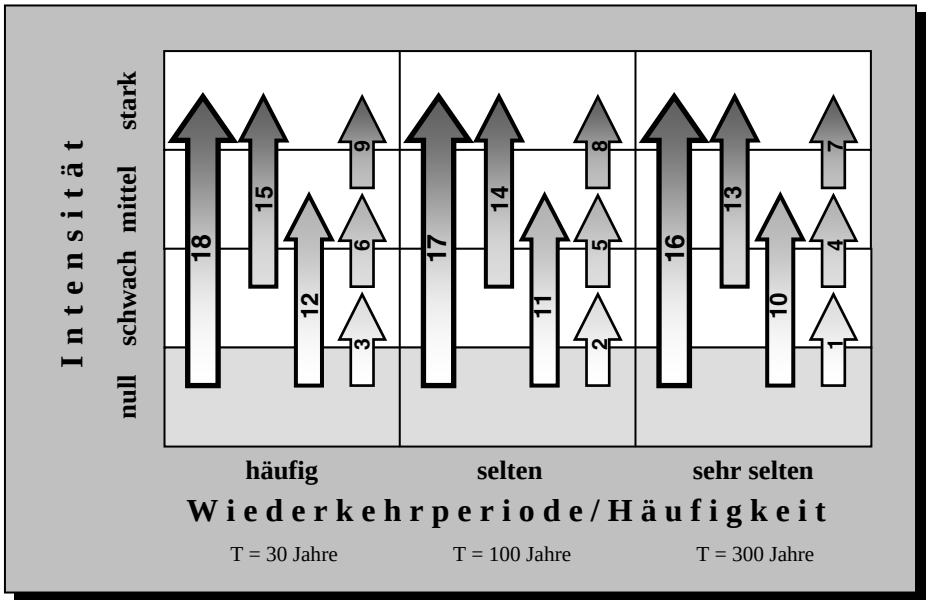
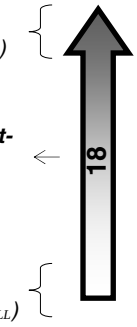


Abbildung 8: *Bewertung des Schutzdefizites, wie sie bei den Fallbeispielen in Teil II zur Anwendung kam (**Anmerkung** in der Randspalte).*

Legende



Anmerkung
Die Gefährdung eines Raumelementes des Untersuchungsgebietes kann von zwei oder mehreren Szenarien derselben oder auch verschiedener Gefahrenquellen ausgehen. Das totale Schutzdefizit in diesem Raumelement ist dann die Summe der Schutzdefizite aufgrund aller Szenarien (Additionsregel).

Beispiel: Ein Szenario mit Wiederkehrperiode T=30 Jahre (=*häufig*) und Intensität I_{IST}=2 (=*mittel*) gefährdet eine Siedlungsfläche. Die maximal zulässige Intensität I_{SOLL} eines *häufigen* Ereignisses, bezogen auf die Siedlungsfläche, beträgt gemäss Tabelle 2 (Seite 34) I_{SOLL}=0 (=*null*). Das Schutzdefizit SD dieser Siedlungsfläche ist demnach gemäss Abbildung 8: SD=12.

Der Risikoanalytiker teilt die errechneten Schutzdefizite in Schutzdefizit-Klassen ein. Diese beschreibt er mit qualitativen Grössen: kleines, mittleres, hohes Schutzdefizit. Bei den Fallbeispielen in Teil II kam folgende Klassierung der Schutzdefizite zur Anwendung:

Schutzdefizit-Klassen		Qualitatives Schutzdefizit
0	→	Null
1-14	→	Klein
15-24	→	Mittel
•25	→	Hoch

5.1 2.6 Schutzdefizit-Karte

Das Resultat der Risikoanalyse nach Stufe 1 ist die **Schutzdefizit-Karte**. Diese zeigt die Grössenordnung (Klassen) der Schutzdefizite der untersuchten Raumelemente. Man vereint (mit Hilfe des geographischen Informationssystems) alle szenarienspezifischen Schutzdefizit-Karten in einer einzigen Schutzdefizit-Karte und summiert ihre raumbezogenen Schutzdefizite zum Schutzdefizit aufgrund aller Szenarien (Additionsregel). Wer die Schutzdefizit-Karte mit Tabellen oder Grafiken ergänzt, gewinnt Übersicht über die Verteilung der Risiken in grossen Untersuchungsgebieten (siehe *Fallbeispiel Gemeinde St. Niklaus* in *Teil II*, *Seiten 39ff*).

Objektkategorien				Schutzziele		
				Wiederkehrdauer		
OK	Sachwerte	Infrastruktur-anlagen	Naturwerte	30 J. häufig	100 J. selten	300 J. sehr selten
1	• Standorts-gebundene Bauten, exkl. Sonderrisiken	• Bergwege • Kletterrouten • Skitourenrouten u. Ä.	• Ödland • Naturland-schaften	3	3	3
2.1		• Wanderwege • Flurwege • Leitungen von kommunaler Bedeutung	• Landwirtschaft-lich extensiv genutztes Land (Alpweiden u. Ä.)	2	3	3
2.2	• Unbewohnte Ge-bäude (Remisen, Weidescheunen u. Ä.)	• Verkehrswege von kommunaler Bedeutung • Leitungen von kantonaler Bedeutung	• Landwirtschaft-lich intensiv genutztes Land • Wald mit Schutz-funktion (Wald-bau B und C)	2	2	3
2.3	• Zeitweise oder dauernd be-wohnte Einzel-gebäude • Weiler, Ställe	• Verkehrswege von kantonaler oder grosser kommunaler Bedeutung • Leitungen von nationaler Bedeutung • Bergbahnen • Zonen für Skiabfahrts- und Übungsgelände		1	1	2
3.1		• Verkehrswege von nationaler oder grosser kantonaler Bedeutung • Ski- und Sessel-lifte		0	1	2
3.2	• Geschlossene Siedlungen • Gewerbe und Industrie • Bauzonen • Freizeit- und Sportanlagen	• Stationen diverser Beförderungs-mittel		0	0	1
3.3	• Sonderobjekte: Objekte mit besonderer Schadenanfälligkeit, von hohem materiellem oder immateriellem Wert, mit ausserordentlichen Menschen-ansammlungen oder mit der Gefahr von Sekundärschädigungen			Festlegung fallweise		

Legende

Schutzziele

0 Maximal zulässige Intensität = Null
1 Maximal zulässige Intensität = schwach
2 Maximal zulässige Intensität = mittel
3 *Maximal zulässige Intensität = stark*

Objektkategorien

1 kein Schutzbedarf
2.X geringer bis mittlerer Schutzbedarf
3.X hoher Schutzbedarf

Tabelle 2: *Objektkategorien mit Schutzzielen, wie sie bei den Fallbeispielen in Teil II zur Anwendung kamen.*

5.2 Risikoanalyse Stufe 2

Inhalt

1. Einleitung 35
2. Vorbereitungsarbeiten 37
3. Gefahrenanalyse 37
4. Risikobestimmung 39
4.1 Personenrisiken 40
4.1.1 Todesfallrisiko in Siedlungs-, Gewerbe- oder Industrieflächen 41
4.1.2 Todesfallrisiko auf Strassen 45
4.2 Sachrisiken 48
5. Risikomatrix 52

5.2 1. Einleitung

Die Risikoanalyse Stufe 2 ist ein Modell zur quantitativen Analyse der Risiken bei gravitativen Naturgefahren. Die Untersuchungseinheit der Stufe 2 (='Objekt') ist ein flächiges, linienförmiges oder punktartiges Raumelement einer **Objektart** (siehe Abbildung 9). Die Objektarten fassen Rechtsgüter mit ähnlichem Wert bzw. ähnlicher Personenbelegung zusammen. Die Analyse des ***Objektrisikos*** basiert auf **Pauschalannahmen** (für Wert, Personenbelegung, u.a.) und ist – wenn eine Gefahrenanalyse vorhanden ist - ohne Datenerhebung im Feld durchführbar. Die Einheiten des Objektrisikos sind Franken für Sachschäden und Todesopfer für Personenschäden, jeweils pro Ereignis oder pro Jahr.

Objektrisiko
= Quantitatives Risiko bezogen auf das untersuchte Objekt (Schadeneinheiten: Franken und Todesopfer). Ein 'Objekt' bezeichnet auf Stufe 2 ein flächiges, linienförmiges oder punktartiges Raumelement einer Objektart.

Man wendet Stufe 2 an, um die Grössenordnung von quantitativen Risiken zu kennen und hinsichtlich weiterer Massnahmen zu beurteilen. Stufe 2 eignet sich zur Herleitung von Kollektivrisiken (siehe Seiten 52*f*). Die Resultate aus Stufe 2 stellt man in Karten, Tabellen oder Grafiken dar (siehe Fallbeispiele in *Teil II*, *Kapitel 1.3* und *2.5*).

Auf Stufe 2 kann man das Risiko für die in Abbildung 9 dargestellten Objektarten analysieren. Die Risiken messen wir an den Schadenindikatoren (graue und schwarze Kästchen) in Abbildung 9.

Legende zu den Schadenindikatoren

- *S Verlust an Sachwerten [Franken]*
- *E Ertragsausfall [Franken]*
- *W Wiederherstellungskosten [Franken]*
- *R Räumungskosten [Franken]*
- *T Todesopfer [Anzahl]*

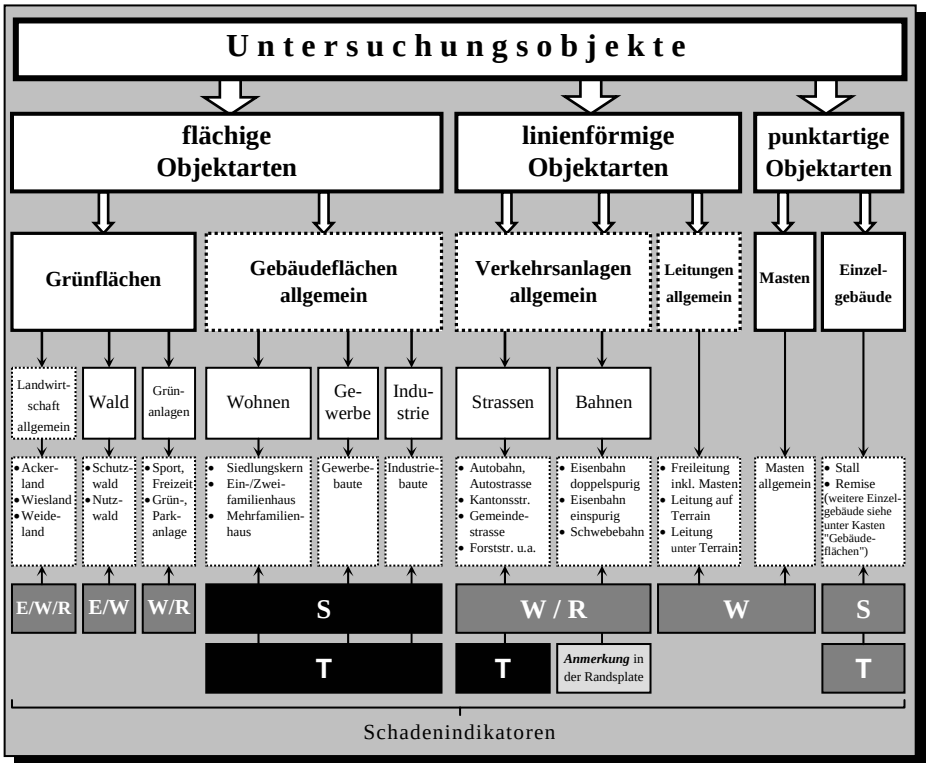


Abbildung 9: *Risikoanalyse Stufe 2: Objektarten und Schadenindikatoren (**Anmerkung** in der Randspalte).*

Anmerkung
Die Risiken für Personen auf einem gefährdeten Streckenabschnitt einer Bahnlinie analysieren wir auf Stufe 3 (Seiten 74ff), mit objektspezifischen Abklärungen. Begründung siehe Randspalte Seite 40.

Die Wahl der Objektarten bestimmt die Bearbeitungstiefe der Risikoanalyse Stufe 2. Dem Risikoanalytiker ist es freigestellt, wie differenziert er die Objektarten unterteilen will. So kann er zum Beispiel nur 'Gebäudeflächen allgemein' untersuchen oder diese in 'Ein-/Zweifamilienhaus', 'Mehrfamilienhaus', 'Gewerbebaute' usw. unterteilen und so die Aussagekraft der Resultate der Risikoanalyse verbessern.

Anmerkung
Die Schadenindikatoren in den schwarzen Kästchen sind von primärer Bedeutung.

Für die Objektarten in den punktierten Kästchen kann man aus den Tabellen 3.1 bis 3.9 (Teil II, Seiten 115ff) pauschale Daten entnehmen, die man für die Risikoanalyse Stufe 2 benötigt.

Die Resultate der Risikoanalyse Stufe 2 dienen vor allem als Grundlage,

- um den Handlungsbedarf in Bezug auf Schutzmassnahmen (Forst- und Bauprojekte, Massnahmen der Raum- und der Notfallplanung) festzulegen.
- um die Kosten-Wirksamkeit von Schutzmassnahmen zu beurteilen (siehe Kapitel 7.3).

Für die Stufe 2 brauchen wir geographische Informationssysteme (*GIS*). Bei einfachen Bedingungen – z.B. wenn man nur eine Gefahrenquelle und ein bis zwei Szenarien untersucht - lässt sich auf Stufe 2 manuell arbeiten. Bei komplexeren Bedingungen wird der Aufwand aber bald unverhältnismässig.

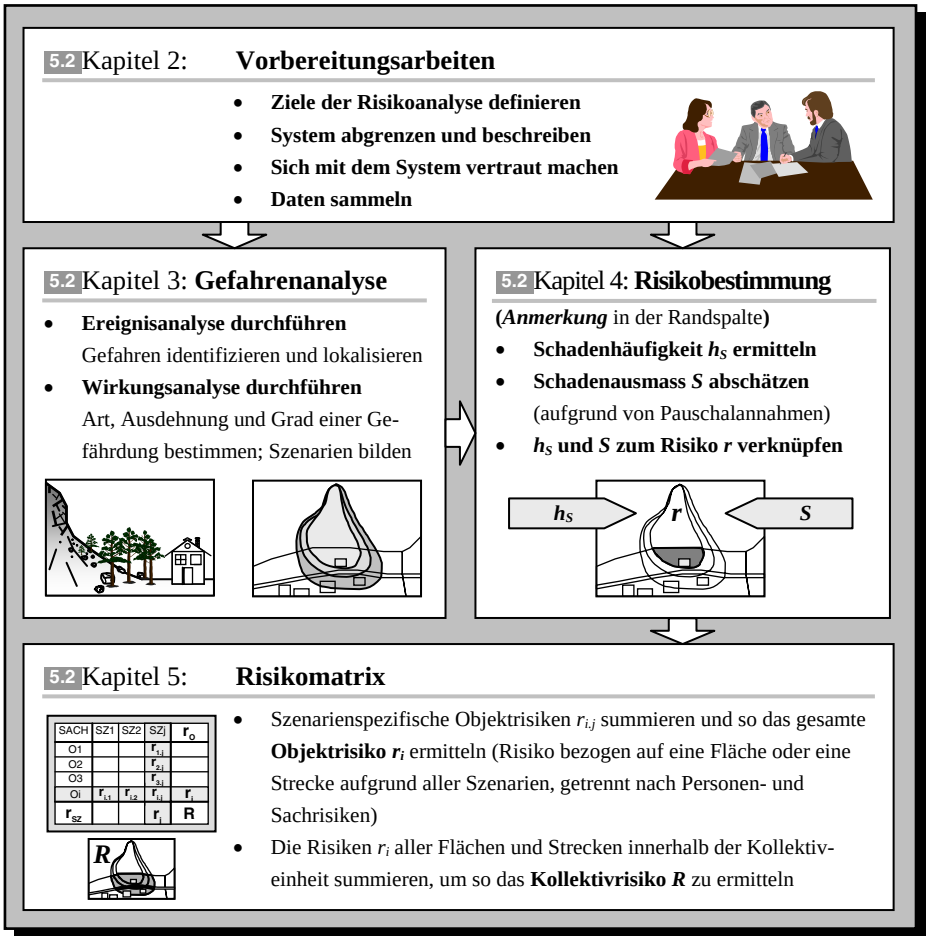


Abbildung 10: *Schema zum generellen Vorgehen bei der Risikoanalyse Stufe 2.*

Anmerkung
Die Arbeitsschritte der Expositions- und der Folgenanalyse (siehe Seite 15) sind in der Ermittlung der Schadenhäufigkeit und des Schadenausmasses integriert.

5.2 2. Vorbereitungsarbeiten

Man definiert die Ziele und die geographischen und inhaltlichen Systemgrenzen der Risikoanalyse gemäss dem Vorgehen in Kapitel 3 (Seite 17*ff*).

5.2 3. Gefahrenanalyse

In der Gefahrenanalyse (siehe Kapitel 4, Seite 23*ff*) identifiziert und lokalisiert man die möglichen Gefahren (Ereignisanalyse) und bestimmt die Art, die Ausdehnung und den Grad der Gefährdung (Wirkungsanalyse).

Für die Risikoanalyse Stufe 2 benötigt man folgende Daten aus der Gefahrenanalyse:

G **Prozessart**: Überschwemmung, Murgang, Lawine, Stein- und Blockschlag, Felssturz, Rutschung.

I **Intensität**: Intensitätsstufen 'schwach', 'mittel', 'stark' gemäss BFF/ EISFL (1984), BWW/BRP/BUWAL (1997) und BUWAL/BWW/BRP (1997); siehe Seiten 23*ff*.

h_E **Eintretenshäufigkeit**: Siehe Seite 25.

p_{rA} **Räumliche Auftretenswahrscheinlichkeit:** Wahrscheinlichkeit, dass bei Eintritt eines Gefahrenprozesses dieser einen bestimmten Punkt des Untersuchungsgebietes erreicht. Man schätzt die räumliche Auftretenswahrscheinlichkeit des Prozesses, bezogen auf das untersuchte Objekt (=flächiges, linienförmiges oder punktartiges Raumelement der untersuchten Objektart), aufgrund von Ereigniskatastern, topographischen Karten und Luftbildern. Dies ist notwendig, da ein einzelnes Ereignis oft nicht die gesamte Fläche eines Grundszenarios betrifft. Statt die räumliche Auftretenswahrscheinlichkeit objektspezifisch zu schätzen, kann man auch die Intensitätskarte in Teilflächen gleicher räumlicher Auftretenswahrscheinlichkeit unterteilen und allenfalls in Ereigniskarten darstellen (siehe dazu Abbildung 4, Seite 24).

Der räumlichen Auftretenswahrscheinlichkeit werden die in Tabelle 3 aufgeführten Klassenwerte zugeteilt.

Tabelle 3: *Zuteilung der räumlichen Auftretenswahrscheinlichkeit p_{rA} zu Flächen der Intensitätskarten.*

Klasse	p_{rA}	qualitativ	Typische Beispiele
1	***0.01***	minimal	Stein- und Blockschlag
2	***0.1***	sehr klein	Felssturz, Wassergefahren, Rutschungen, Lawinen
3	***0.3***	klein	
4	***0.5***	mittel	
5	***0.7***	gross	
6	***0.9***	sehr gross	
7	***1.0***	sicher	Talflüsse, Rutschungen

5.2 4. Risikobestimmung

Wir analysieren das Risiko auf Stufe 2 getrennt nach Personen- und Sachrisiken. Ein Risiko besteht beim Zusammentreffen von Mensch bzw. Rechtsgut und Gefahr. Demnach bezieht sich das Risiko auf zwei Untersuchungseinheiten:

- Untersuchungseinheit der Gefahrenseite: **1 *Szenario*** SZ_j
- Untersuchungseinheit der Schadenseite: **1 *Objekt*** O_i

Man verknüpft die ***Risikofaktoren*** des Szenarios SZ_j mit den Risikofaktoren des Objektes O_i zur Schadenhäufigkeit h_S und zum Schadenausmass S. Mit h_S und S bestimmt man das **Objektrisiko** $r_{i.j}$ = Risiko bezogen auf ein Objekt O_i aufgrund eines Szenarios SZ_j. Dazu hat man zwei Möglichkeiten:

1) Objektrisiko $r_{i.j}$ pro Schadenereignis = *Mittleres Schadenausmass S (in Franken und Zahl der Todesopfer) bei Eintritt eines Schadenereignisses (aufgrund des Szenarios SZ_j); das Schadenereignis tritt mit einer relativen Häufigkeit von h_S (pro Jahr) ein*:

$$r_{i.j} = [h_S ; S]$$

$$\left[\frac{1}{Jahr}; \frac{Anzahl\ Todesfälle}{Schadenereignis}\right] \text{ resp. } \left[\frac{1}{Jahr}; \frac{Franken}{Schadenereignis}\right]$$

2) Objektrisiko $r_{i.j}$ pro Jahr (oder **jährlicher statistischer Schadenerwartungswert**; ***Anmerkung*** in der Randspalte) **=** *Mittlere Zahl der Schadeneinheiten (Franken, Todesopfer), die pro Jahr (aufgrund des Szenarios SZ_j) zu erwarten sind*:

$$r_{i.j} = h_S \times S$$

$$\left[\frac{Anzahl\ Todesfälle}{Jahr}\right] \text{ resp. } \left[\frac{Franken}{Jahr}\right]$$

Geht die Gefährdung des Objektes O_i von m Szenarien $SZ_{1,..,m}$ aus, dann führt man die Berechnungen für jedes Szenario SZ_j einzeln durch. Man fügt die szenarienspezifischen Objektrisiken $r_{i.j}$ in die **Risikomatrix** (Seiten 52*f*) ein und summiert sie zum gesamten Objektrisiko r_i (Risiko aufgrund aller Szenarien $SZ_{1,..,m}$).

Um das **Kollektivrisiko** R zu ermitteln, sind grundsätzlich alle gefährdeten Objekte in dem als Kollektiv geltenden System zu analysieren und ihre **Risiken $r_{i.j}$ pro Schadenereignis** in die Risikomatrix (Seiten 52*f*) einzutragen. Die Summe aller Risiken $r_{i.j}$ ergibt das Kollektivrisiko R des untersuchten Systems.

Szenario SZ_j
Gefahrenprozess G mit
- *Eintretenshäufigkeit h_E*
- *Räumlicher Auftretenswahrscheinlichkeit p_{rA}*
- *Räumlich differenzierten Intensitäten*

Objekt
Flächiges, linienförmiges oder punktartiges Raumelement einer Objektart (siehe Abbildung 9, Seite 36).

Risikofaktoren
Wichtige Elemente einer Risikosituation.

Anmerkung
Der Schadenerwartungswert ist nur dann 'statistisch', wenn dessen Herleitung auf Daten vergangener Ereignisse beruht. Bei gravitativen Naturgefahren fehlen meist statistisch auswertbare Daten eingetroffener Ereignisse. Folgerichtig müsste man deshalb von einem 'prognostischen' Schadenerwartungswert sprechen.

Anmerkung: Die einzelnen Arbeitsschritte folgen einem rezeptartigen Schema. Die Linien am linken Aussenrand dienen als Orientierungshilfe beim Lesen; sie weisen stets auf die Risikofaktoren hin, denen die laufenden Abklärungen gelten.

In einem ersten Schritt differenziert man die untersuchten Objektkategorien (Stufe 1) nach **Objektarten** und stellt sie in einer ***Objektarten-Karte*** dar (***Anmerkung*** in der Randspalte). Man verwendet dazu vor allem Angaben aus dem Nutzungsplan.

Objektarten-Karte
Die Objektarten-Karte unterteilt die Objektkategorien in Objektarten und gibt diese räumlich wieder.

Die Objektarten-Karte verschneidet man mit den Ereignis- oder Intensitätskarten (Seite 24), analog zum Vorgehen auf Stufe 1 (Abbildung 7, Seite 30, siehe auch *Teil II*, *Seiten 58*, *63* und *68*). Die meisten geographischen Informationssysteme enthalten eine Funktion für diesen Vorgang. Mit der Verschneidung verknüpft man die Informationen zu den untersuchten Szenarien mit jenen zu den Objektarten und ordnet sie einander räumlich (Geometrie) und sachlich (Attribute) eindeutig zu.

Anmerkung
Abbildung 9 (Seite 36) enthält die möglichen Objektarten. Die Wahl der Objektarten bestimmt die Bearbeitungstiefe der Risikoanalyse Stufe 3.

Enthält eine Untersuchungsfläche Sonderobjekte (siehe Tabelle 4, Seite 56), dann empfehlen wir, deren Objektrisiken auf Stufe 3 zu ermitteln und diese im Kollektivrisiko auf Stufe 2 zu integrieren (siehe *Fallbeispiel Siedlung 'Zum Stäg'* in *Teil II, Seiten 68ff*).

5.2 4.1 Personenrisiken

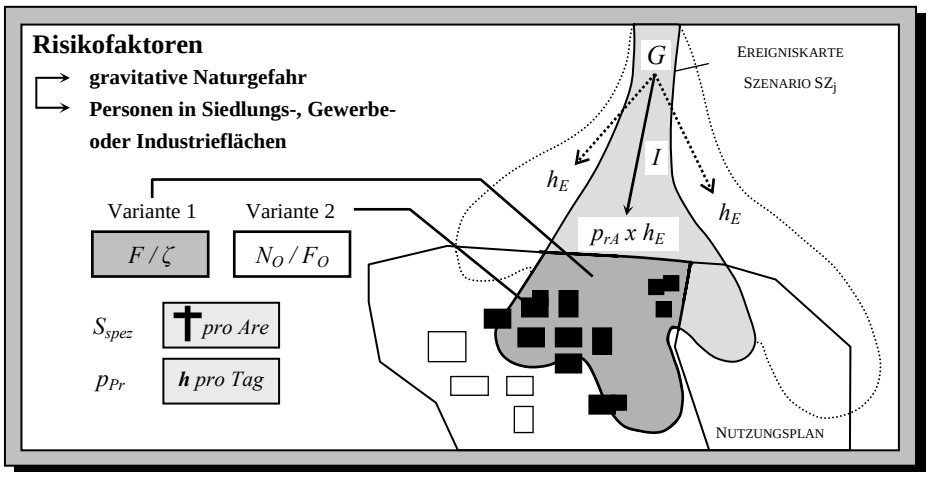
Als Personenrisiken untersuchen wir die Risiken bezogen auf Personen in einem Objekt O_i. Ein Objekt ist hier eine abgegrenzte Siedlungs-, Gewerbe-, oder Industriefläche oder ein gefährdeter Streckenabschnitt einer Strasse (***Anmerkung*** in der Randspalte). Einziger Schadenindikator ist die Zahl der Todesfälle. Wir berücksichtigen keine Verletzungen oder andere Schädigungen von Personen.

Anmerkung
Die Risiken für Personen auf einem gefährdeten Streckenabschnitt einer Bahnlinie analysieren wir auf Stufe 3 (Seiten 74ff), mit objektspezifischen Abklärungen. Der Grund: Bei Bahnlinien ist das Katastrophenpotential (Möglichkeit von Unfällen mit vielen Todesopfern) im Allgemeinen grösser als auf Strassen (siehe dazu auch TROXLER et al. 1989). Risikoabschätzungen mit Pauschalannahmen (Stufe 2) würden der Realität unter Umständen zu wenig entsprechen und mögliche Katastrophenpotentiale verdecken.

Die Ermittlung von individuellen Todesfallrisiken bezogen auf eine Einzelperson in einer Fläche oder auf einem Streckenabschnitt einer Strasse ist auf Stufe 2 wegen der Pauschalannahmen zu wenig aussagekräftig und deshalb unangebracht. Steht das Ziel der Ermittlung individueller Todesfallrisiken im Vordergrund (z.B. als Grundlage zur Risikobewertung gemäss Kapitel 7.1 oder 7.3), dann empfehlen wir, dazu die Risikoanalyse Stufe 3 anzuwenden.

5.2 4.1.1 Todesfallrisiko in Siedlungs-, Gewerbe- oder Industrieflächen

Wir ermitteln das Todesfallrisiko für Personen in Siedlungs-, Gewerbe- oder Industrieflächen mit den in Abbildung 11 aufgeführten Risikofaktoren. Abbildung 12 zeigt schematisch, wie man die Risikofaktoren zum Todesfallrisiko $r_{i,j}$ verknüpft.



Legende

G	*Prozessart*
h_E	*Eintretenshäufigkeit*
I	*Intensität*
p_{rA}	*Räumliche Auftretenswahrscheinlichkeit*
F	*Inhalt der Untersuchungsfläche [Aren]*
ζ	*Überbauungsziffer*
N_O	*Gebäudezahl in der Untersuchungsfläche*
F_O	*Raumbezug der Objektart*
$S_{sp.P}$	*Spezifisches Schadenausmass Personen*
p_{Pr}	*Präsenzwahrscheinlichkeit*

Abbildung 11: *Risikofaktoren zur Ermittlung des Todesfallrisikos für Personen in Siedlungs-, Gewerbe- oder Industrieflächen.*

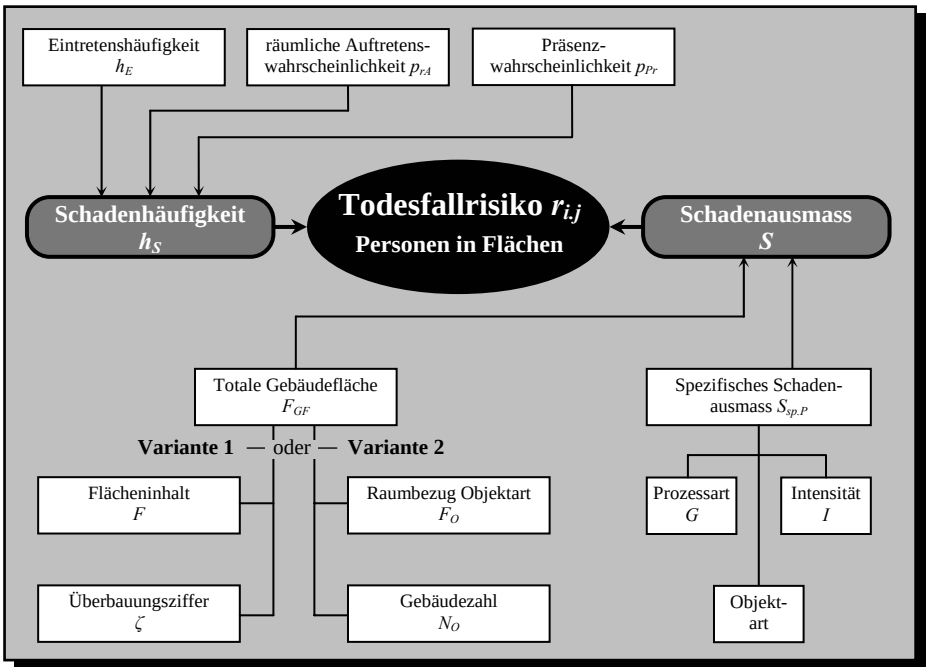


Abbildung 12: *Verknüpfung der Risikofaktoren zum Todesfallrisiko $r_{i,j}$ für Personen in Siedlungs-, Gewerbe- oder Industrieflächen.*

Im Folgenden erläutern wir die einzelnen Risikofaktoren.

h_S Schadenhäufigkeit: Statistisch erwartete Zahl der Schadenereignisse pro Jahr. Die Schadenhäufigkeit errechnet sich wie folgt:

$$\left[\frac{Anzahl\ Schadenereignisse}{Jahr}\right]$$

$$h_S = h_E \times p_{rA} \times p_{\mathrm{Pr}}$$

DABEI BEDEUTEN:

h_E Eintretenshäufigkeit: Siehe Seite 25.

p_{rA} Räumliche Auftretenswahrscheinlichkeit: Siehe Seite 38.

p_{Pr} Präsenzwahrscheinlichkeit: Wahrscheinlichkeit, dass sich die Personen in der untersuchten Fläche befinden. Man schätzt die Präsenzwahrscheinlichkeit wie folgt:

$$p_{\mathrm{Pr}} = \frac{T_P}{24}$$

Dabei ist T_P die geschätzte mittlere Aufenthaltszeit der Personen im Objekt in Stunden pro Tag. T_P beträgt in Wohngebäuden durchschnittlich 18 Stunden, in Industrie- und Gewerbegebäuden mit Tagbetrieb rund 10 Stunden.

S Schadenausmass: Erwartetes Ausmass eines Schadenereignisses (in Anzahl Todesfällen), bezogen auf die Personen in der untersuchten Fläche. Das Schadenausmass errechnet sich wie folgt:

$$\left[\frac{Anzahl\ Todesfälle}{Schadenereignis}\right]$$

$$S = S_{sp.P} \times F_{GF}$$

DABEI BEDEUTEN:

$S_{sp.P}$ Spezifisches Schadenausmass Personen: Pauschalwert für das Schadenausmass (in Anzahl Todesfällen) pro Are Gebäudefläche (objektart-spezifisch; z.B. bezogen auf 1 Are Einfamilienhaus) bei Ereigniseintritt eines Gefahrenprozesses G mit Intensität I. Man entnimmt die Pauschalwerte für das objektart-spezifische Schadenausmass den *Tabellen 3.1* bis *3.4* in *Teil II* (*Seiten 116f*). (***Anmerkung*** in der Randspalte.)

Anmerkung
Die Werte für das spezifische Schadenausmass basieren auf Erfahrungszahlen bisheriger Ereignisse und auf Schätzungen. Bis heute gibt es nur wenige gut dokumentierte Ereignisse. Daher muss sich der Risikoanalytiker bewusst sein, dass die Werte die reale Situation erheblich unter- oder überbewerten können (siehe dazu auch Kapitel 6.).

F_{GF} **Totale Gebäudefläche:** Summe der Grundflächen aller Gebäude in der Untersuchungsfläche F. Zur Ermittlung der totalen Gebäudefläche stehen zwei Varianten zur Wahl:

***Variante 1*:** $F_{GF} = F \times \zeta$

***Variante 2*:** $F_{GF} = F_O \times N_O$

Variante 1 ist vor allem in dichten Siedlungen (Siedlungskern) angebracht.

Variante 2 eignet sich zur Ermittlung der totalen Gebäudefläche in weniger dicht überbauten Siedlungen und in Streusiedlungen.

DABEI SIND:

F **Flächeninhalt:** Inhalt der untersuchten Fläche (=Objekt O_i) in Aren. Bei Anwendung eines geographischen Informationssystems werden die Flächeninhalte automatisch wiedergegeben.

ζ **Überbauungsziffer:** Verhältnis der Fläche der senkrechten Projektion der grössten oberirdischen Gebäudeumfassung auf den Erdboden zur gesamten Untersuchungsfläche. Die Überbauungsziffer ist ein in der Raumplanung verwendeter Begriff. Fehlen die Daten zur Überbauungsziffer, dann kann man diese mit Hilfe der Darstellungen in Abbildung 13 schätzen.

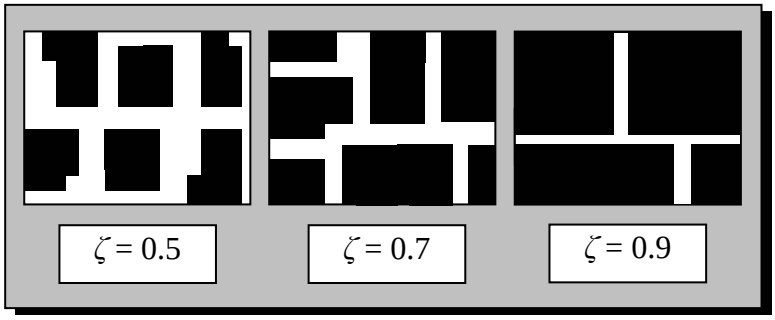


Abbildung 13: *Schätzung der Überbauungsziffer.*

F_O **Raumbezug Objektart:** Flächeneinheit einer Objektart (Standardwerte). Beispiele:

- Einfamilienhaus = 1 Are
- Mehrfamilienhaus = 2 Aren
- Industriegebäude = 3 Aren

Weitere Werte finden sich in *Tabelle 3.5* in *Teil II* (*Seite 119*).

N_O **Gebäudezahl:** Anzahl Gebäude in der untersuchten Fläche. Man ermittelt die Gebäudezahl aus der Intensitäts- oder Ereigniskarte (Seite 24).

$r_{i.j}$ Objektrisiko: Todesfallrisiko, bezogen auf die Personen in der Untersuchungsfläche (=Objekt O_i) aufgrund des Szenarios SZ_j. Man verknüpft die Schadenhäufigkeit h_S und das Schadenausmass S (Seite 42) zum

- **Objektrisiko $r_{i.j}$ pro Schadenereignis:**

$$r_{i.j} = [h_S ; S] \qquad \left[\frac{1}{Jahr} ; \frac{Anzahl\ Todesfälle}{Schadenereignis}\right]$$

→ *Ein Schadenereignis des Szenarios SZ_j verursacht in der Untersuchungsfläche (=Objekt O_i) im Mittel S Todesopfer; das Schadenereignis tritt mit einer relativen Häufigkeit von h_S (pro Jahr) ein.*

- **Objektrisiko $r_{i.j}$ pro Jahr:**

$$r_{i.j} = h_S \times S \qquad \left[\frac{Anzahl\ Todesfälle}{Jahr}\right]$$

→ *Aufgrund des Szenarios SZ_j ist, bezogen auf die Untersuchungsfläche (=Objekt O_i), im Mittel mit $r_{i.j}$ Todesopfern pro Jahr zu rechnen.*

Das Objektrisiko $r_{i.j}$ pro Jahr errechnet sich wie folgt:

$$r_{i.j} = h_S \times S = h_E \times p_{rA} \times p_{\Pr} \times S_{sp.P} \times F_{GF} \qquad \left[\frac{Anzahl\ Todesfälle}{Jahr}\right]$$

(Erläuterung der Risikofaktoren: siehe oben)

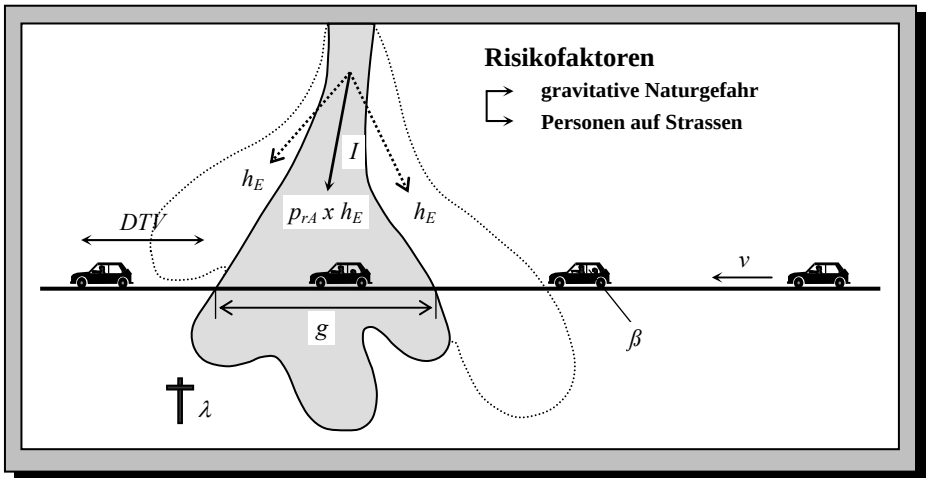
5.2 4.1.2 Todesfallrisiko auf Strassen

Abklärungen zum Todesfallrisiko auf Strassen sind bei folgenden Gefahrenprozessen angebracht (***Anmerkung*** in der Randspalte):

- Lawinen
- Stein- und Blockschlag, Felssturz
- Murgänge

Wir arbeiten bei der Analyse von Todesfallrisiken auf Strassen mit standardisierten Annahmen (für detailliertere Abklärungen empfehlen wir die Risikoanalyse Stufe 3, Seiten 68*ff*). Wir berücksichtigen die in Abbildung 14 aufgeführten Risikofaktoren. Abbildung 15 zeigt schematisch, wie man die Risikofaktoren zum Todesfallrisiko $r_{i,j}$ verknüpft.

Anmerkung
Hochwasser können die Strasse unterspülen, so dass ein Einsturz möglich wird. Hochwasser können auch, bei hoher Fliessgeschwindigkeit, Fahrzeuge mitreissen. Diese Schäden treten jedoch nicht abrupt ein und sind nur in seltenen Fällen direkt lebensgefährlich. Deshalb behandeln wir dieses Risiko hier nicht.



Legende

β	*Mittlerer Besetzungsgrad (pro Fahrzeug)*
DTV	*Durchschnittlicher täglicher Verkehr*
g	*Gefährdeter Streckenabschnitt*
h_E	*Eintretenshäufigkeit*
I	*Intensität*
p_{rA}	*Räumliche Auftretenswahrscheinlichkeit*
λ	*Letalität (Sterbewahrscheinlichkeit)*
v	*Mittlere Fahrgeschwindigkeit*

Abbildung 14: *Risikofaktoren zur Ermittlung des Todefallrisikos für Personen auf Strassen (in Anlehnung an WILHELM 1997).*

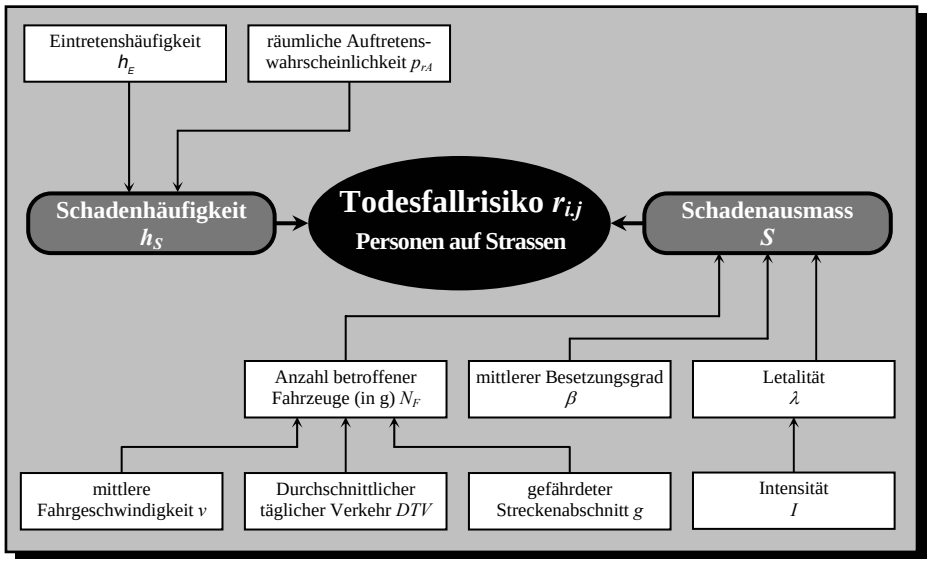


Abbildung 15: *Verknüpfung der Risikofaktoren zum Todesfallrisiko $r_{i,j}$ für Personen auf Strassen.*

Im Folgenden erläutern wir die einzelnen Risikofaktoren.

h_S Schadenhäufigkeit: Statistisch erwartete Zahl der Schadenereignisse pro Jahr. Die Schadenhäufigkeit errechnet sich wie folgt:

$\left[\frac{Anzahl\ Schadenereignisse}{Jahr}\right]$

$$h_S = h_E \times p_{rA}$$

DABEI BEDEUTEN:

h_E Eintretenshäufigkeit: Siehe Seite 24.

p_{rA} Räumliche Auftretenswahrscheinlichkeit: Siehe Seite 38.

S Schadenausmass: Erwartetes Ausmass eines Schadenereignisses (in Anzahl Todesfällen), bezogen auf die Personen in Fahrzeugen. Das Schadenausmass errechnet sich wie folgt:

$\left[\frac{Anzahl\ Todesfälle}{Schadenereignis}\right]$

Personen in Personenwagen und Cars/Bussen: $S = N_F \times \lambda \times \beta$

DABEI BEDEUTEN:

N_F Anzahl betroffener Fahrzeuge: Durchschnittliche Anzahl Fahrzeuge (auf dem gefährdeten Streckenabschnitt g), die von einem Schadenereignis betroffen sind. Die Anzahl betroffener Fahrzeuge (in g) errechnet sich wie folgt:

$$N_F = \frac{DTV}{v \times f} \times g$$

DABEI SIND:

DTV Durchschnittlicher täglicher Verkehr: Anzahl Fahrzeuge, die den gefährdeten Strassenabschnitt g innerhalb 24 Stunden passieren. Wir gehen von folgenden ***Annahmen*** aus:

Annahmen *für Strassen von*
→ kommunaler Bedeutung
→ kantonaler Bedeutung
→ nationaler Bedeutung

- Schwacher Verkehr: DTV = 500
- Starker Verkehr: DTV = 5'000
- Sehr starker Verkehr: DTV = 50'000

v Mittlere Fahrgeschwindigkeit (in km/h): Für die mittlere Fahrgeschwindigkeit nehmen wir einen Wert von 50 km/h an (Begründung siehe Randspalte Seite 71).

f Umrechnungsfaktor = 24'000 [h] (= 1000 x 24h; der Faktor 1000 rechnet die Einheit von v [km/h] in [m/h] um).

g Gefährdeter Streckenabschnitt: Breite des Gefahrenbereichs (in Meter) auf der Strasse (=Objekt O_i). Die Länge des durch den Gefahrenprozess betroffenen Streckenabschnittes misst man in der Intensitäts- oder Ereigniskarte (Seite 24).

Geht man von unseren Annahmen aus, dann ist die Anzahl betroffener Fahrzeuge N_F (in g):

- Schwacher Verkehr: $N_F = \frac{DTV}{v \times f} \times g = \frac{500}{50[m] \times 24'000} \times g = \frac{0.0004}{[m]} \times g$
- Starker Verkehr: $N_F = \frac{DTV}{v \times f} \times g = \frac{5'000}{50[m] \times 24'000} \times g = \frac{0.004}{[m]} \times g$
- Sehr starker Verkehr: $N_F = \frac{DTV}{v \times f} \times g = \frac{50'000}{50[m] \times 24'000} \times g = \frac{0.04}{[m]} \times g$

λ **Letalität**: Todesfallwahrscheinlichkeit im Ereignisfall (d.h. Wahrscheinlichkeit für eine verunfallte Person zu sterben). Wir schätzen die mittlere Letalität wie folgt:

Letalität λ bei Intensität I:

	schwach	mittel	stark	Quelle
Alle Gefahrenprozesse	**0.1**	**0.3**	**0.5**	Schätzung

β **Mittlerer Besetzungsgrad:** Mittlere Anzahl Personen pro Fahrzeug. Für den mittleren Besetzungsgrad gehen wir von 2 Personen pro Fahrzeug aus.

$r_{i,j}$ Objektrisiko: Todesfallrisiko aufgrund des Szenarios SZ_j, bezogen auf die Personen, die den gefährdeten Streckenabschnitt g (=Objekt O_i) einer Strasse in DTV Personenwagen und Cars/Bussen passieren. Man verknüpft die Schadenhäufigkeit h_S und das Schadenausmass S (Seite 46) zum

- **Objektrisiko $r_{i,j}$ pro Schadenereignis:**

$r_{i.j} = [h_S; S]$ → *Ein Schadenereignis des Szenarios SZ_j verursacht auf dem gefährdeten Streckenabschnitt g (=Objekt O_i) im Mittel S Todesopfer; das Schadenereignis tritt mit einer relativen Häufigkeit von h_S (pro Jahr) ein.*

$\left[\frac{1}{Jahr}; \frac{Anzahl\ Todesfälle}{Schadenereignis}\right]$

- **Objektrisiko $r_{i,j}$ pro Jahr:**

$r_{i.j} = h_S \times S$ → *Aufgrund des Szenarios SZ_j ist, bezogen auf den gefährdeten Streckenabschnitt g (=Objekt O_i), im Mittel mit $r_{i,j}$ Todesopfern pro Jahr zu rechnen.*

$\left[\frac{Anzahl\ Todesfälle}{Jahr}\right]$

Das Objektrisiko $r_{i,j}$ pro Jahr errechnet sich wie folgt:

$$r_{i.j} = h_S \times S = h_E \times p_{rA} \times N_F \times \lambda \times \beta \quad \left[\frac{Anzahl\ Todesfälle}{Jahr}\right]$$

(Erläuterung der Risikofaktoren: siehe oben)

Geht man von unseren Annahmen aus (siehe oben: N_F, λ, β), dann beträgt das Objektrisiko $r_{i,j}$ pro Jahr, bezogen auf die gefährdete Strecke g (in m'):

$r_{i,j}$	Schwache Intensität	Mittlere Intensität	Starke Intensität
Schwacher Verkehr	$\frac{0{,}00008}{[m]} \times h_E \times p_{rA} \times g$	$\frac{0{,}0002}{[m]} \times h_E \times p_{rA} \times g$	$\frac{0{,}0004}{[m]} \times h_E \times p_{rA} \times g$
Starker Verkehr	$\frac{0{,}0008}{[m]} \times h_E \times p_{rA} \times g$	$\frac{0{,}002}{[m]} \times h_E \times p_{rA} \times g$	$\frac{0{,}004}{[m]} \times h_E \times p_{rA} \times g$
Sehr starker Verkehr	$\frac{0{,}008}{[m]} \times h_E \times p_{rA} \times g$	$\frac{0{,}02}{[m]} \times h_E \times p_{rA} \times g$	$\frac{0{,}04}{[m]} \times h_E \times p_{rA} \times g$

5.2 4.2 Sachrisiken

Als Sachrisiken untersuchen wir monetäre Risiken (Schadenerwartung in Franken) bezogen auf ein Objekt O_i. Ein Objekt ist hier ein flächiges, linienförmiges oder punktartiges Element einer Objektart. Die objektspezifischen Schadenindikatoren sind in Abbildung 9 (Seite 36) aufgeführt.

Wir ermitteln das monetäre Objektrisiko für die betrachteten Objektarten mit den in Abbildung 16 aufgeführten Risikofaktoren. Abbildung 17 zeigt schematisch, wie man die Risikofaktoren zum monetären Objektrisiko $r_{i,j}$ verknüpft.

Legende

G	*Prozessart*
h_E	*Eintretenshäufigkeit*
I	*Intensität*
p_{rA}	*Räumliche Auftretenswahrscheinlichkeit*
F	*Inhalt der Untersuchungsfläche [Aren]*
ζ	*Überbauungsziffer*
N_O	*Gebäudezahl in der Untersuchungsfläche*
N	*Anzahl Punktelemente*
F_O	*Raumbezug der Objektart*
S_{sp}	*Spezifisches Schadenausmass*
.GF	*Gebäudefläche*
.GU	*Gebäudeumschwung*
.GR	*Grünfläche*
.L	*Linienelement*
.Pkt	*Punktelement*
g	*Gefährdeter Streckenabschnitt*

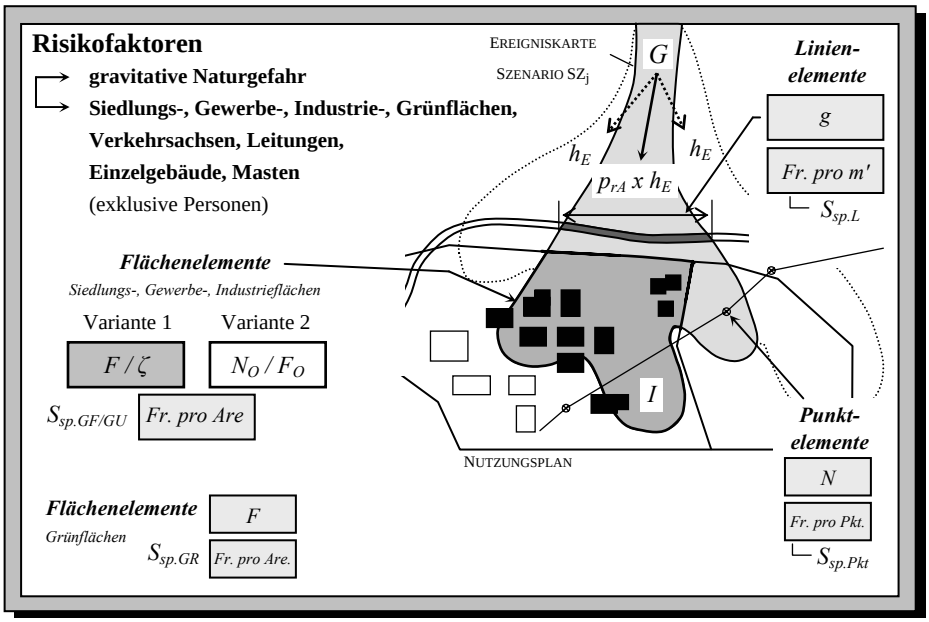


Abbildung 16: *Risikofaktoren zur Ermittlung des monetären Objektrisikos für flächige, linienförmige oder punktartige Raumelemente einer Objektart.*

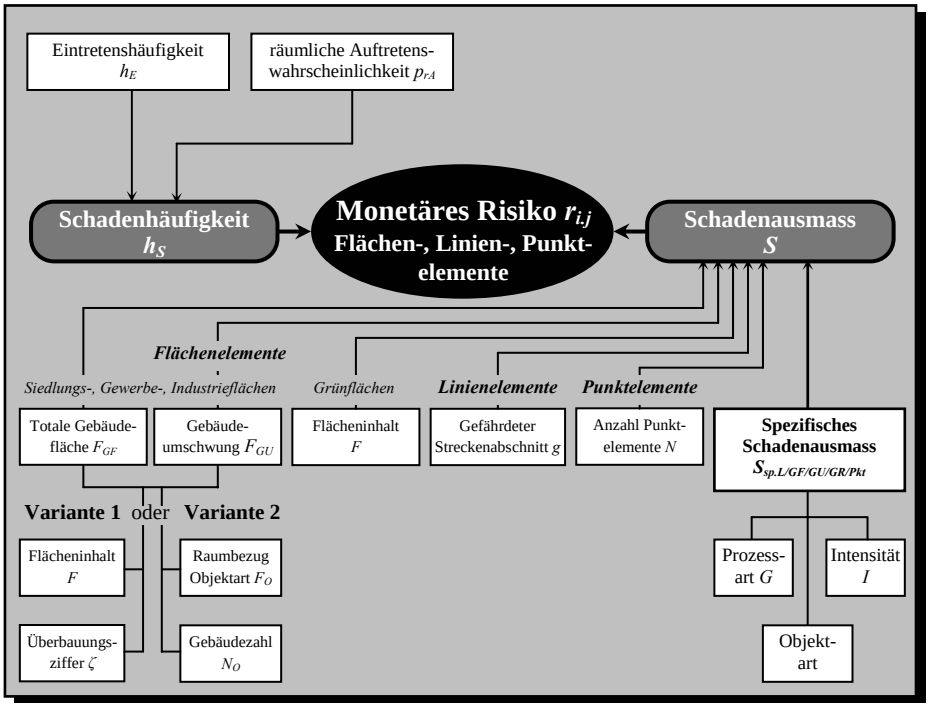


Abbildung 17: *Verknüpfung der Risikofaktoren zum monetären Objektrisiko $r_{i,j}$ für flächige, linienförmige oder punktartige Raumelemente einer Objektart.*

Im Folgenden erläutern wir die einzelnen Risikofaktoren.

h_S Schadenhäufigkeit: Statistisch erwartete Zahl der Schadenereignisse pro Jahr. Die Schadenhäufigkeit errechnet sich wie folgt:

$$h_S = h_E \times p_{rA} \quad \left[\frac{Anzahl\ Schadenereignisse}{Jahr}\right]$$

DABEI BEDEUTEN:

h_E Eintretenshäufigkeit: Siehe Seite 25.

p_{rA} Räumliche Auftretenswahrscheinlichkeit: Siehe Seite 38.

S Schadenausmass: Erwartetes Ausmass eines Schadenereignisses (in Franken), bezogen auf eine Fläche oder auf ein Linienelement. Das Schadenausmass errechnet sich wie folgt:

Flächenelemente

- Siedlungs-, Gewerbe-, Industrieflächen: $S = S_{sp.GF} \times F_{GF} + S_{sp.GU} \times F_{GU}$ $\left[\frac{Franken}{Schadenereignis}\right]$
- Grünflächen: $S = S_{sp.GR} \times F$ $\left[\frac{Franken}{Schadenereignis}\right]$

Linienelemente (Strassen, Bahnen, Leitungen)**:** $S = S_{sp.L} \times g$ $\left[\frac{Franken}{Schadenereignis}\right]$

Punktelemente (Einzelgebäude, Masten)**:** $S = S_{sp.Pkt} \times N$ $\left[\frac{Franken}{Schadenereignis}\right]$

DABEI BEDEUTEN:

S_{sp} **Spezifisches Schadenausmass Gebäudefläche ($S_{sp.GF}$), Gebäudeumschwung ($S_{sp.GU}$), Grünfläche ($S_{sp.GR}$), Linienelement ($S_{sp.L}$), Punktelement ($S_{sp.Pkt}$):** Pauschalwert für das Schadenausmass bei Ereigniseintritt eines Gefahrenprozesses G mit Intensität I, bemessen in

- Franken pro Are für Flächenelemente (z.B. 'Landwirtschaftsfläche', 'Gebäudefläche Einfamilienhaus')
- Franken pro Laufmeter für Linienelemente (z.B. Strasse, Leitung)
- Franken pro Punktelement (z.B. Einzelgebäude, Masten)

Man entnimmt die Pauschalwerte für das objektart-spezifische Schadenausmass den *Tabellen 3.5* bis *3.9* in *Teil II* (*Seiten 118ff*). (***Anmerkung*** in der Randspalte.)

Anmerkung
Die Werte für das spezifische Schadenausmass basieren auf Erfahrungszahlen bisheriger Ereignisse und auf Schätzungen. Bis heute gibt es nur wenige gut dokumentierte Ereignisse. Daher muss sich der Risikoanalytiker bewusst sein, dass die Werte die reale Situation erheblich unter- oder überbewerten können (siehe dazu auch Kapitel 6. und 8.).

F_{GF} **Totale Gebäudefläche:** Siehe Seite 43.

F_{GU} **Gebäudeumschwung:** Nicht überbaute Fläche in der Untersuchungsfläche F. Das Schadenpotential des Gebäudeumschwungs ist gering im Vergleich zum Schadenpotential der Gebäudefläche. Man kann diese Schadenart deshalb auch vernachlässigen. Der Gebäudeumschwung errechnet sich wie folgt:

$$F_{GU} = F - F_{GF}$$

F **Flächeninhalt:** Siehe Seite 43.

g **Gefährdeter Streckenabschnitt:** Breite des Gefahrenbereichs (in Meter) auf der Strasse, Bahnlinie oder Leitung (=Objekt O_i). Die Länge des durch den Gefahrenprozess betroffenen Streckenabschnittes misst man in der Intensitäts- oder Ereigniskarte (Seite 24).

N **Anzahl Punktelemente:** Anzahl exponierter punktartiger Raumelemente einer Objektart (z.B. Einzelgebäude, Masten). Man entnimmt die Anzahl gefährdeter Punktelemente den Intensitäts- oder Ereigniskarten (Seite 24).

$r_{i,j}$ Objektrisiko: Monetäres Risiko, bezogen auf das Untersuchungsobjekt O_i (Flächen-, Linien- oder Punktelement einer Objektart) aufgrund des Szenarios SZ_j. Man verknüpft die Schadenhäufigkeit h_S und das Schadenausmass S (Seite 49) zum

- **Objektrisiko $r_{i,j}$ pro Schadenereignis:**

$$r_{i.j} = [h_S ; S] \qquad \left[\frac{1}{Jahr} ; \frac{Franken}{Schadenereignis}\right]$$

→ *Ein Schadenereignis des Szenarios SZ_j verursacht, bezogen auf das Objekt O_i, im Mittel S Franken Sachschaden; das Schadenereignis tritt mit einer relativen Häufigkeit von h_S (pro Jahr) ein.*

- **Objektrisiko $r_{i,j}$ pro Jahr:**

$$r_{i.j} = h_S \times S \qquad \left[\frac{Franken}{Jahr}\right]$$

→ *Aufgrund des Szenarios SZ_j ist, bezogen auf das Objekt O_i, im Mittel mit $r_{i,j}$ Franken Sachschaden pro Jahr zu rechnen.*

Das Objektrisiko $r_{i,j}$ pro Jahr errechnet sich wie folgt:

Flächenelemente

- Siedlungs-, Gewerbe-, Industrieflächen:

$$r_{i.j} = h_S \times S = h_E \times p_{rA} \times \left(S_{sp.GF} \times F_{GF} + S_{sp.GU} \times F_{GU}\right) \qquad \left[\frac{Franken}{Jahr}\right]$$

- Grünflächen:

$$r_{i.j} = h_S \times S = h_E \times p_{rA} \times S_{sp.GR} \times F \qquad \left[\frac{Franken}{Jahr}\right]$$

Linienelemente (Strassen, Bahnen, Leitungen)**:**

$$r_{i.j} = h_S \times S = h_E \times p_{rA} \times S_{sp.L} \times g \qquad \left[\frac{Franken}{Jahr}\right]$$

Punktelemente (Einzelgebäude, Masten)**:**

$$r_{i.j} = h_S \times S = h_E \times p_{rA} \times S_{sp.Pkt} \times N \qquad \left[\frac{Franken}{Jahr}\right]$$

(Erläuterung der Risikofaktoren: siehe oben)

5.2 5. Risikomatrix

Die Risikomatrizen geben eine vollständige numerische Beschreibung der Risikocharakteristik des betrachteten Systems und zeigen die Wirkungen der Szenarien auf die gefährdeten Personen und Objekte.

Man kann die errechneten Objektrisiken als $r_{i,j} = [h_S;S]$ (Objektrisiko pro Schadenereignis) oder als $r_{i,j} = h_S \; x \; S$ (Objektrisiko pro Jahr) in die Risikomatrix einfügen. Abbildung 18 (Seite 53) zeigt, wie man eine Risikomatrix für Objektrisiken $r_{i,j} = [h_S;S]$ erstellt (***Anmerkung*** in der Randspalte). Mit den Risikomatrizen stellt man das **Kollektivrisiko $R = [h_S;S]$** des Systems dar und bewertet es gemäss Kapitel 7.2 (Seiten 104*ff*).

Anmerkung
Wir erläutern das Erstellen von Risikomatrizen für Objektrisiken $r_{i,j} = h_S \; x \; S$ (Objektrisiko pro Jahr) auf Stufe 3 (Seiten 97f). Das Vorgehen ist auch auf Stufe 2 anwendbar.

Das Vorgehen (zu Abbildung 18)**:**

1. Alle **Objektrisiken $r_{i,j}$** = $[h_S;S]$ mit der gleichen szenarienspezifischen Schadenhäufigkeit h_S in einer eigenen Risikomatrix zusammenfassen, getrennt nach Personen- und Sachrisiken. Wir nennen die Gruppe der **Objekte $O_{1,..,n}$** einer Risikomatrix Objektgruppe $\mathrm{OG_k}$.

2. Für jede ***Objektgruppe OG_k*** alle **szenarienspezifischen Kollektivrisiken $R_{k,j}$** ($R_{k,j}$ = Kollektivrisiko, bezogen auf die Objektgruppe OG_k aufgrund des Szenarios SZ_j) ermitteln:

$$R_{k.j} = \left[h_{Sj}; \sum_{i=1}^{n} S_{i.j} \right] \qquad \sum_{i=1}^{n} S_{i.j} = S_{k.j}$$

   Man beschreibt $R_{k,j}$ zum Beispiel wie folgt: *Ein Schadenereignis des Szenarios SZ_j verursacht, bezogen auf die Objektgruppe OG_k, im Mittel $S_{k,j}$ Todesfälle respektive Franken Sachschaden, das Schadenereignis tritt mit einer Häufigkeit von h_{Sj} (pro Jahr) ein.*

3. Die szenarienspezifischen Kollektivrisiken $R_{k,j} = [h_{Sj};S_{k,j}]$ jeder Objektgruppe OG_k im **Häufigkeits-/Ausmass-Diagramm** gemäss Kapitel 7.2 (siehe Seiten 104*ff*) aufzeichnen, dann das **Kollektivrisiko R des Systems** bilden und bewerten (R = Kollektivrisiko, bezogen auf alle Objektgruppen OG_k aufgrund der Szenarien $SZ_{1,..,m}$).

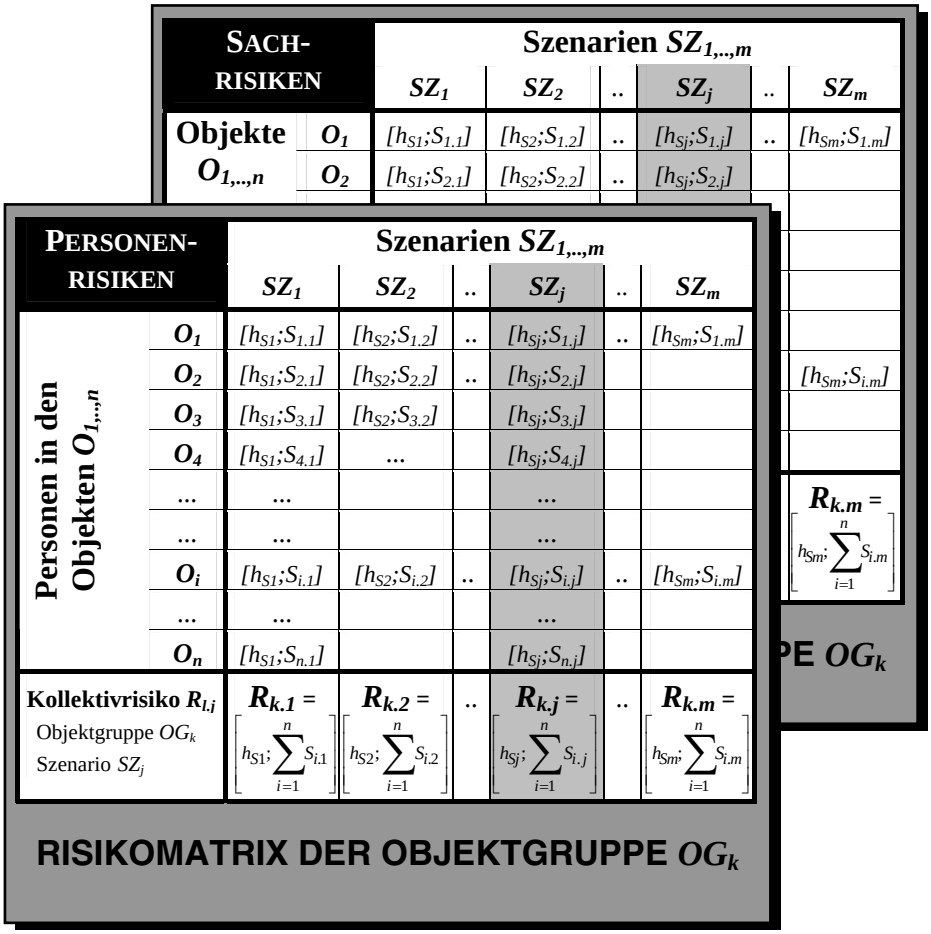


Abbildung 18: *Risikomatrizen (in Anlehnung an MERZ et al. 1995): Zusammenfassung der szenarienspezifischen Objektrisiken $r_{i.j} = [h_S;S]$ (Objektrisiken pro Schadenereignis) zum Kollektivrisiko $R_{k.j}$ eines Szenarios SZ_j, bezogen auf die Objektgruppe OG_k.*

5.3 Risikoanalyse Stufe 3

Inhalt

1. Einleitung 55
2. Vorbereitungsarbeiten 58
3. Gefahrenanalyse 58
4. Risikobestimmung 61
4.1 Personenrisiken 62
4.1.1 Todesfallrisiko in Gebäuden und im Freien 62
4.1.2 Todesfallrisiko auf Strassen 68
4.1.3 Todesfallrisiko bei Bahnen 74
4.2 Sachrisiken 84
4.2.1 Monetäres Risiko bei Gebäuden 84
4.2.2 Monetäres Risiko durch Betriebsunterbruch 90
4.2.3 Monetäres Risiko durch Verlust von Nutztieren 92
4.2.4 Sachrisiken bei Objekten mit immateriellem Wert und bei weiteren Objekten 95
4.3 Folgerisiken 96
5. Risikomatrix 97

5.3 1. Einleitung

Die Risikoanalyse Stufe 3 ist ein Modell zur quantitativen Analyse der Risiken bei gravitativen Naturgefahren. Die Untersuchungseinheit der Stufe 3 ist das **Einzelobjekt**. Man ermittelt das ***Objektrisiko*** mit objektspezifischen Daten. Die Einheiten des Objektrisikos sind Franken für Sachschäden und Anzahl Todesfälle für Personenschäden, jeweils pro Jahr oder pro Ereignis. Aus dem Objektrisiko (in Anzahl Todesfällen) und der Anzahl Personen im Objekt schliesst man auf das Individualrisiko (=individuelles Todesfallrisiko). Das Objekt- und Individualrisiko lassen sich bewerten und hinsichtlich weiterer Massnahmen beurteilen. Mit Stufe 3 lässt sich auch das Risiko in Raumelementen aus Stufe 2 detaillierter herleiten (***Anmerkung*** in der Randspalte). Die Resultate aus Stufe 3 stellt man in Tabellen, Grafiken oder Karten dar (siehe Fallbeispiele in *Teil II*, *Kapitel 1.4*).

Die Risikoanalyse Stufe 3 ist pro Untersuchungseinheit aufwendiger als die Risikoanalyse Stufe 2. Dies vor allem wegen der zeitintensiveren Datenbe-

Objektrisiko
Quantitatives Risiko bezogen auf das untersuchte Objekt (=Gebäude, Betrieb, Streckenabschnitt einer Verkehrsachse, u.a.). Schadeneinheiten: Franken und Todesopfer)

Anmerkung
Man kann mit den Resultaten aus Stufe 3 die Objektrisiken (bezogen auf Flächen und Strecken) oder die Kollektivrisiken auf Stufe 2 konkretisieren. Dazu ersetzt man die Objektrisiken in der Risikomatrix auf Stufe 2 (Seiten 52f) mit den Risiken der einzelnen Objekte (aus Stufe 3), die sich in der entsprechenden Untersuchungsfläche oder -strecke befinden.

schaffung, für die meistens Feldbegehungen nötig sind. Deshalb wird die Analyse von Kollektivrisiken bei vielen Einzelobjekten auf Stufe 3 bald sehr aufwendig. Wir wenden darum Stufe 3 gezielt an. 'Gezielt' heisst, wir setzen Stufe 3 ein zur Analyse von **Sonderobjekten**, das sind hier Objekte mit hohem Personen-, Sach- oder Folgerisiko-Potential (Tabelle 4). Die Risiken dieser Objekte können bei entsprechender Gefährdung (z.B. rote oder blaue Gefahrenstufe gemäss den Empfehlungen und Richtlinien des Bundes) ein gesellschaftlich relevantes Sicherheitsproblem darstellen.

Tabelle 4: *Sonderobjekte; Haupt-Untersuchungseinheiten der Risikoanalyse Stufe 3 mit den zugehörigen Schadeneinheiten.*

Sonderobjekte	**Schadeneinheiten**
Objekte mit hohem Personenrisiko-Potential:	[Todesopfer]

• Objekte mit **besonderer Schadenempfindlichkeit** wegen Evakuationsschwierigkeiten:
  ○ Spitalgebäude
  ○ Pflegeheime und Anstalten
• Objekte mit **grossen Menschenansammlungen**:
  ○ Schulhäuser
  ○ Kirchen
  ○ Ferienlager / Kasernen
  ○ Campingplätze
  ○ Sportanlagen mit hoher Personenzahl (Stadien, Eishallen)
  ○ 'Open Air's' (Wiederkehrende Veranstaltungen im Freien mit sehr hoher Personenzahl)
  ○ Strassen mit hohem Risikopotential (hohes Verkehrsaufkommen oder häufige Ereignisse)
  ○ Bahnlinien
  ○ Stark frequentierte Bahnstationen	

Objekte mit hohem Sachrisiko-Potential (Objekte mit besonders hohem (Sach-)***Schadenpotential***):	
• Objekte von hohem Wert (insbesondere Industrie)	[Franken]
• Kunstbauten (Galerien, Brücken)	[Franken]
• Flugplätze	[Franken]
• Kulturgüter	[%] (Schadengrad)
• Archive von nationaler und kantonaler Bedeutung	[%] (Schadengrad)
Objekte mit hohem *Folgerisiko-Potential*: Betriebe und Anlagen gemäss Art.1 Abs.2 Bst. a und b der Störfallverordnung (StFV 1991)	Siehe BUWAL 1991

Schadenpotential *Grösstmöglicher Schaden einer Gefährdungssituation.*

Folgerisiko-Potential *Gesamtheit aller möglichen Sekundärschädigungen einer Gefahreneinwirkung.*

Die Risikoanalyse Stufe 3 kann auch bei Objekten angebracht sein, die hier nicht als Sonderobjekte aufgeführt sind, denn die Risikoaussagen eignen sich wegen ihres Detaillierungsgrades

- um den Handlungsbedarf in Bezug auf objektspezifische Schutzmassnahmen (bauliche Massnahmen, Versicherung, Notfallplanung) festzulegen.
- um die Kosten-Wirksamkeit von objektspezifischen Schutzmassnahmen (Kapitel 7.3) zu beurteilen.
- für das Versicherungswesen.
- für die Notfallplanung.
- für spezielle Zwecke wie die Festlegung der Nutzniesserbeteiligung an den Kosten für Schutzmassnahmen.
- um das Kollektivrisiko auf Stufe 2 als Grundlage für Kosten-Nutzen- und Kosten-Wirksamkeits-Analysen detaillierter zu ermitteln.

Die Risikoanalyse Stufe 3 lässt sich ohne Computer durchführen. Wenn das Risiko für einige wenige Objekte analysiert wird, kann man mit einfachen Tabellenberechnungen arbeiten. Bei grossen Datenmengen empfehlen wir die Anwendung einfacher Kalkulationsprogramme, die sich mit den gebräuchlichen Softwareprogrammen erstellen lassen.

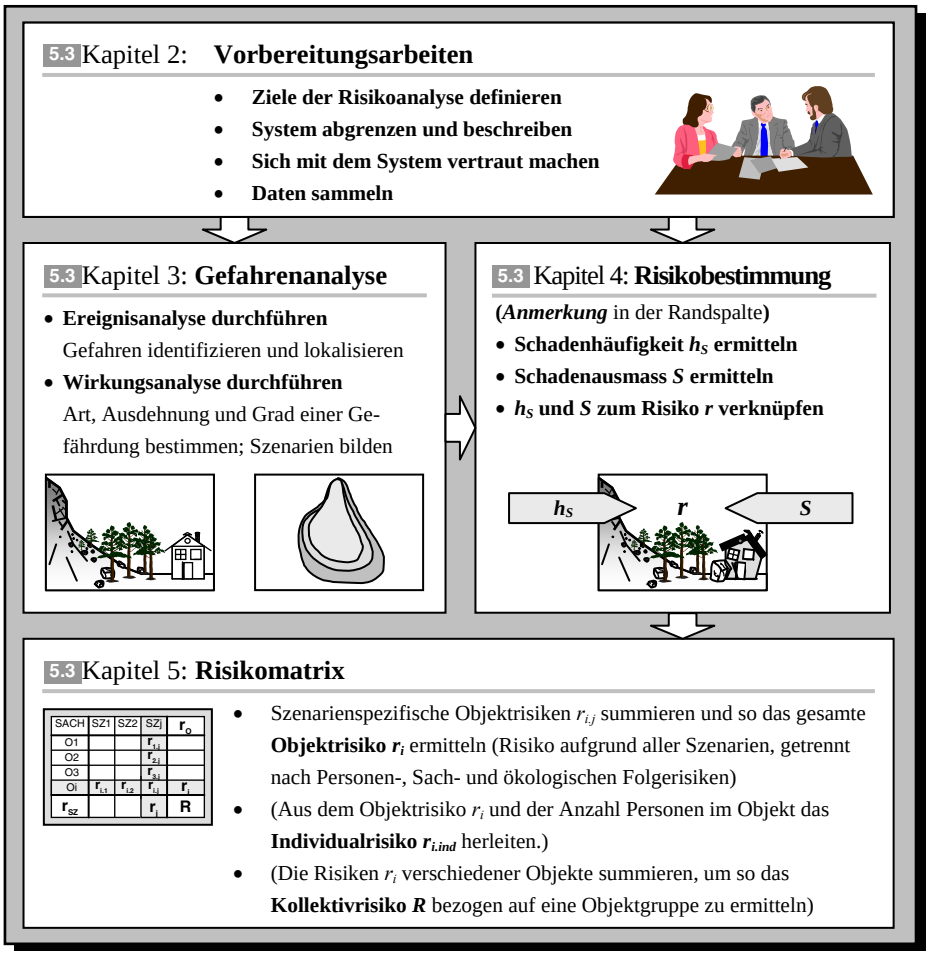


Abbildung 19: *Schema zum generellen Vorgehen bei der Risikoanalyse Stufe 3.*

Anmerkung
Die Arbeitsschritte der Expositions- und der Folgenanalyse (siehe Seite 15) sind in der Ermittlung der Schadenhäufigkeit und des Schadenausmasses integriert.

5.3 2. Vorbereitende Arbeiten

Man definiert die Ziele und die geographischen und inhaltlichen Systemgrenzen der Risikoanalyse gemäss dem Vorgehen in Kapitel 3 (Seiten 17*ff*).

5.3 3. Gefahrenanalyse

In der Gefahrenanalyse (siehe Kapitel 4, Seiten 23*ff*) identifiziert und lokalisiert man die möglichen Gefahren (Ereignisanalyse) und bestimmt die Art, die Ausdehnung und den Grad der Gefährdung (Wirkungsanalyse).

Für die Risikoanalyse Stufe 3 benötigt man folgende Daten aus der Gefahrenanalyse:

G **Prozessart**: Überschwemmung, Murgang, Lawine, Stein- und Blockschlag, Felssturz, Rutschung.

I **Intensität**: Intensitätsstufen 'schwach', 'mittel', 'stark' gemäss BFF/ EISFL (1984), BWW/BRP/BUWAL (1997) und BUWAL/BWW/BRP (1997); siehe Seiten 23*ff*.

h_E **Eintretenshäufigkeit**: Siehe Seite 25.

p_{rA} **Räumliche Auftretenswahrscheinlichkeit:** Wahrscheinlichkeit, dass bei Eintritt eines Gefahrenprozesses dieser einen bestimmten Punkt des Untersuchungsgebietes erreicht. Auf Stufe 3 kann es je nach Detaillierungsgrad der übrigen Risikoparameter genügen, die räumliche Auftretenswahrscheinlichkeit gleich wie in Stufe 2 abzuschätzen (Seite 38). Man kann die Auftretenswahrscheinlichkeit auch mit einer quantitativen **Ereignisbaumanalyse** (siehe HOLLENSTEIN 1997, EGLI 1996, SCHNEIDER 1996) konkretisieren (Beispiele siehe Abbildung 20, Seite 59 und *Abbildungen 1.27* und *1.28* in *Teil II*, *Seiten 78f*). Das Vorgehen dazu:

1. Bei einer Geländebegehung die möglichen Verzweigungs-, Ausbruch-, Verklausungs- oder sonstigen Schlüsselstellen des Gefahrenprozesses lokalisieren (Arbeitsrichtung ist von oben nach unten).
2. Bei jeder unter 1. lokalisierten Stelle die Wahrscheinlichkeit p_A für den Eintritt des möglichen Ereignisses (z.B. Ausbruch, Verklausung) abschätzen ($0 \leq p_A \leq 1$). Die Wahrscheinlichkeit für das Gegenereignis $p_{\bar{A}}$ (zum Beispiel: Prozess folgt seiner gewohnten Bahn) beträgt dann $p_{\bar{A}} = 1 - p_A$ (***Anmerkungen*** in der Randspalte).

Anmerkungen zu Punkt 2.
Beim Zuweisen der Ausbruchwahrscheinlichkeiten wenn möglich Ereigniskataster beiziehen; sonst die Werte aufgrund von Erfahrung und Vorstellungsvermögen abschätzen.

Die Ausbruchwahrscheinlichkeiten für verschiedene Szenarien (z.B. 30-, 100- und 300-jährliche Wiederkehrperiode) können unterschiedliche Werte haben, da gravitative Naturgefahren bei grösseren bewegten Massen andere Geschwindigkeiten aufweisen und träger reagieren.

3. Alle Schlüsselstellen gemäss deren Abfolge im Gelände auf einen Ereignisbaum eintragen. Dann die Wahrscheinlichkeiten p_A und $p_{\bar{A}}$ den entsprechenden Ereignissen zuordnen.
4. Die Wahrscheinlichkeiten p_A bzw. $p_{\bar{A}}$ aller Ereignisse, die eintreten müssen, damit das Untersuchungsobjekt erreicht wird, multiplizieren. Das Produkt dieser Wahrscheinlichkeiten ist die räumliche Auftretenswahrscheinlichkeit beim Untersuchungsobjekt. Zur Kontrolle: Die Summe der Wahrscheinlichkeiten aller möglichen Prozessverläufe ergibt 1.

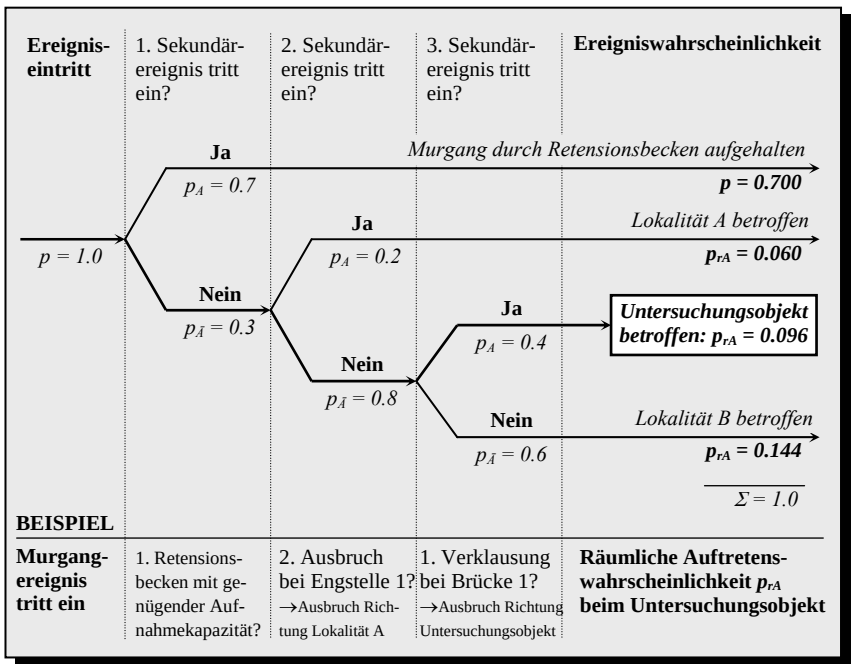


Abbildung 20: *Beispiel eines quantitativen Ereignisbaumes zur Herleitung der räumlichen Auftretenswahrscheinlichkeit (nach EGLI 1996).*

T_{sA} **Saisonales Auftreten:** Periode in Monaten, in welcher der untersuchte Gefahrenprozess mit 'grosser Wahrscheinlichkeit' eintreten kann. Diese Wahrscheinlichkeit definieren wir mit dem Schwellenwert α: α steht für den prozentualen Anteil der Ereignisse, die ausserhalb des betrachteten Zeitraumes eintreten dürfen (z.B. $\alpha \approx 5\%$). Der nicht berücksichtigte Zeitraum gilt als Restgefährdung (Abbildung 21, Seite 60). Die Schätzung von T_{sA} ist erfahrungsabhängig und standortgebunden. Ereigniskataster helfen bei der Schätzung von T_{sA} (***Anmerkung*** in der Randspalte).

Anmerkung
Die Berücksichtigung des saisonalen Auftretens ist bei folgenden Gefahrenprozessen oft angebracht:

- *Lawinen*
- *Murgänge*
- *Überschwemmungen nach Gewitterregen*

Bei Gewässern mit grossen Einzugsgbieten, bei Rutschungen oder Sturzprozessen kann man in der Regel nicht von einer klaren saisonalen Konzentration der Ereigniseintritte ausgehen.

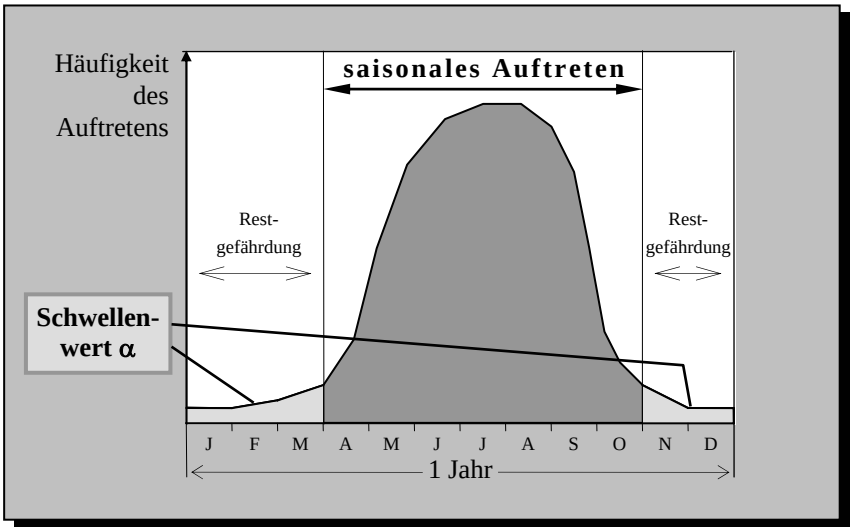


Abbildung 21: *Saisonales Auftreten und Schwellenwert α (zum Beispiel in Bezug auf einen Murgang).*

T_{VW} **Vorwarnzeit:** Zeitspanne vom Erkennen der gefährlichen Situation bis zum Eintreffen des Gefahrenprozesses beim Untersuchungsobjekt. Die Vorwarnzeit ist von grosser Bedeutung für die Evakuations- und anderen Sicherungsmassnahmen (z.B. Strassensperrung). Man schätzt sie je nach Prozessart in Minuten, Stunden oder Tagen (***Anmerkung*** in der Randspalte).

Anmerkung zu T_{vw}
Die Vorwarnzeit ist schwierig einzuschätzen. Sie ist von geographischen und prozessspezifischen Kriterien, vor allem jedoch vom Erkennen und Handeln des Menschen abhängig. Gespräche mit Vertretern der lokalen Notfallorganisationen (Feuerwehr, Polizei, Zivilschutz, Wasserwehr, Forstdienst) können wichtige Anhaltspunkte geben.

5.3 4. Risikobestimmung

Wir analysieren das Risiko auf Stufe 3 getrennt nach Personen-, Sach- und Folgerisiken. Ein Risiko besteht beim Zusammentreffen von Mensch bzw. Rechtsgut und Gefahr. Demnach bezieht sich das Risiko auf zwei Untersuchungseinheiten:

- Untersuchungseinheit der Gefahrenseite: **1 *Szenario*** SZ_j
- Untersuchungseinheit der Schadenseite: **1 *Objekt*** O_i

Man verknüpft die ***Risikofaktoren*** des Szenarios SZ_j mit den Risikofaktoren des Objektes O_i zur Schadenhäufigkeit h_S und zum Schadenausmass S. Mit h_S und S bestimmt man das **Objektrisiko** $r_{i.j}$ = Risiko bezogen auf ein Objekt O_i aufgrund eines Szenarios SZ_j. Dazu hat man zwei Möglichkeiten:

1) Objektrisiko $r_{i.j}$ pro Schadenereignis = *Mittleres Schadenausmass S (in Franken und Zahl der Todesopfer) bei Eintritt eines Schadenereignisses (aufgrund des Szenarios SZ_j); das Schadenereignis tritt mit einer relativen Häufigkeit von h_S (pro Jahr) ein*:

$$r_{i.j} = [h_S ; S] \quad = \left[\frac{1}{Jahr}; \frac{Anzahl\ Todesfälle}{Schadenereignis}\right] \text{ resp. } \left[\frac{1}{Jahr}; \frac{Franken}{Schadenereignis}\right]$$

2) Objektrisiko $r_{i.j}$ pro Jahr (oder **jährlicher statistischer Schadenerwartungswert**; ***Anmerkung*** in der Randspalte) **=** *Mittlere Zahl der Schadeneinheiten (Franken, Todesopfer), die pro Jahr (aufgrund des Szenarios SZ_j) zu erwarten sind*:

$$r_{i.j} = h_S \times S \quad \left[\frac{Anzahl\ Todesfälle}{Jahr}\right] \text{ resp. } \left[\frac{Franken}{Jahr}\right]$$

Geht die Gefährdung des Objektes O_i von m Szenarien $SZ_{1,..,m}$ aus, dann führt man die Berechnungen für jedes Szenario SZ_j einzeln durch. Man fügt die szenarienspezifischen Objektrisiken $r_{i.j}$ in die **Risikomatrix** (Seiten 97*f*) ein und summiert sie zum gesamten Objektrisiko r_i (Risiko aufgrund aller Szenarien $SZ_{1,..,m}$). Man kann auch einzelne Objektrisiken $r_{1,..,n}$, zum Kollektivrisiko R – dem Risiko bezogen auf die Objektgruppe $O_{1,..,n}$ - summieren.

Szenario SZ_j
Gefahrenprozess G mit
- *Eintretenshäufigkeit h_E*
- *Räumlicher Auftretenswahrscheinlichkeit p_{rA}*
- *Räumlich differenzierten Intensitäten*

Objekt
- *Gefährdetes Gebäude (Industrie, Gewerbe, Wohnen, u.a.)*
- *Gefährdeter Streckenabschnitt einer Strasse*
- *Gefährdeter Streckenabschnitt einer Bahnlinie*
- *Menschenansammlung im Freien*
- *Weitere Objekte (Kunstbaute u.a.)*

Risikofaktoren
Wichtige Elemente einer Risikosituation.

Anmerkung
Der Schadenerwartungswert ist nur dann 'statistisch', wenn dessen Herleitung auf Daten vergangener Ereignisse beruht. Bei gravitativen Naturgefahren fehlen meist statistisch auswertbare Daten eingetroffener Ereignisse. Folgerichtig müsste man deshalb von einem 'prognostischen' Schadenerwartungswert sprechen.

Anmerkung: Die einzelnen Arbeitsschritte folgen einem rezeptartigen Schema. Die Linien am linken Aussenrand dienen als Orientierungshilfe beim Lesen; sie weisen stets auf die Risikofaktoren hin, denen die laufenden Abklärungen gelten.

5.3 4.1 Personenrisiken

Als Personenrisiken untersuchen wir die Risiken bezogen auf Personen in einem Objekt O_i. Ein Objekt ist hier ein Gebäude, eine Menschenansammlung im Freien, ein gefährdeter Streckenabschnitt einer Strasse oder einer Bahnlinie (siehe auch Tabelle 4, Seite 56). Einziger Schadenindikator ist die Zahl der Todesfälle. Wir berücksichtigen keine Verletzungen oder andere Schädigungen von Personen durch gravitative Naturgefahren.

Aus dem Todesfallrisiko, bezogen auf die Personengruppe, die sich im Untersuchungsobjekt befindet, ermitteln wir das individuelle Todesfallrisiko für eine Einzelperson im Objekt; dieses lässt sich mit individuellen Todesfallrisiken anderer Bereiche vergleichen und eignet sich als Messgrösse zur Risikobewertung (siehe Kapitel 7.1, Seiten 102*f*).

5.3 4.1.1 Todesfallrisiko in Gebäuden und im Freien

Wir ermitteln das Todesfallrisiko für Personen in Gebäuden oder im Freien mit den in Abbildung 22 aufgeführten Risikofaktoren. Abbildung 23 zeigt schematisch, wie man die Risikofaktoren zum Todesfallrisiko $r_{i,j}$ verknüpft.

Legende

G	*Prozessart*
h_E	*Eintretenshäufigkeit*
I	*Intensität*
p_{rA}	*Räumliche Auftretenswahrscheinlichkeit*
p_{zK}	*Zeitliche Koinzidenzwahrscheinlichkeit*
p_{EK}	*Evakuationswahrscheinlichkeit*
SE_{St}	*Schadenempfindlichkeit Gebäudestruktur*
N_P	*Anzahl exponierter Personen*
λ	*Letalität (Sterbewahrscheinlichkeit)*

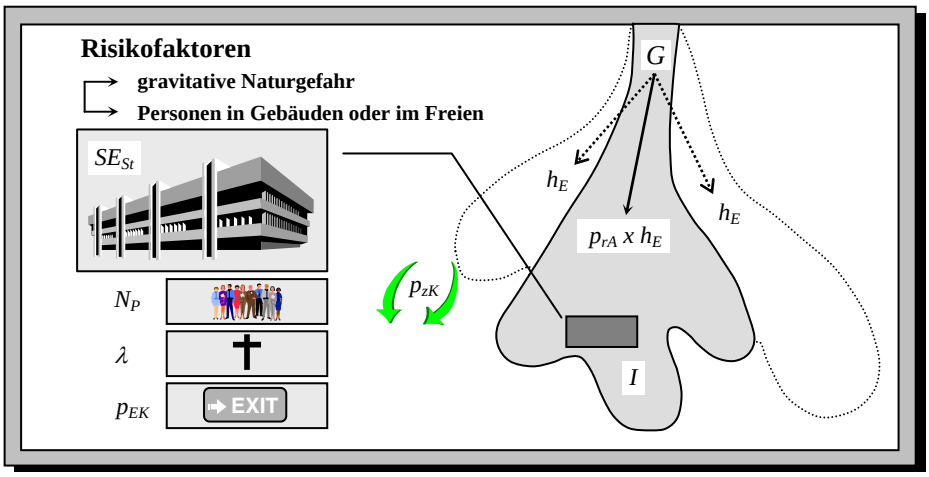


Abbildung 22: *Risikofaktoren zur Ermittlung des Todesfallrisikos für Personen in Gebäuden oder im Freien.*

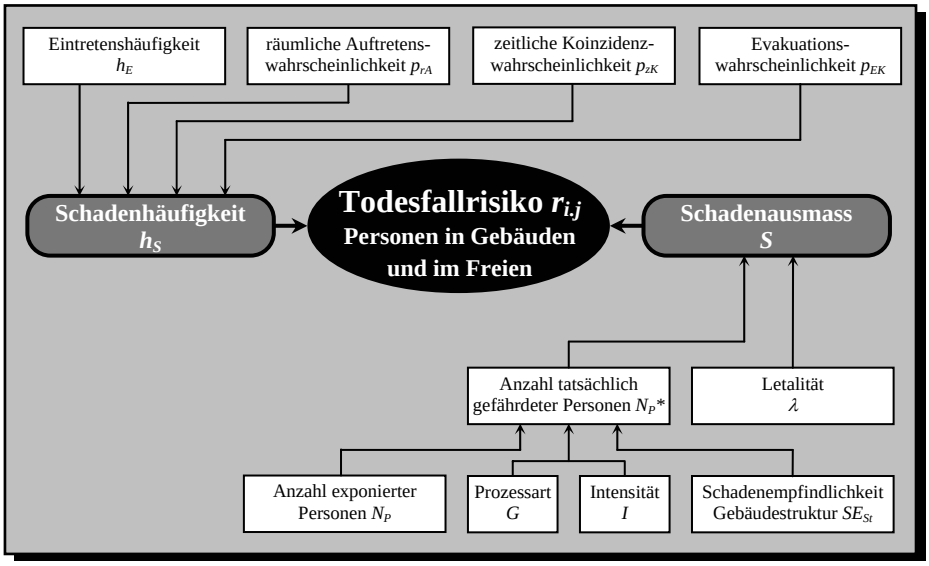


Abbildung 23: *Verknüpfung der Risikofaktoren zum Todesfallrisiko $r_{i,j}$ für Personen in Gebäuden oder im Freien.*

Im Folgenden erläutern wir die einzelnen Risikofaktoren.

h_S Schadenhäufigkeit: Statistisch erwartete Zahl der Schadenereignisse pro Jahr. Die Schadenhäufigkeit errechnet sich wie folgt:

$$h_S = h_E \times p_{rA} \times p_{zK} \times (1 - p_{EK}) \quad \left[\frac{Anzahl\ Schadenereignisse}{Jahr}\right]$$

DABEI BEDEUTEN:

h_E Eintretenshäufigkeit: Siehe Seite 25.

p_{rA} Räumliche Auftretenswahrscheinlichkeit: Siehe Seiten 58*f.*

p_{zK} Zeitliche Koinzidenzwahrscheinlichkeit: Wahrscheinlichkeit des zeitlichen Zusammentreffens von Gefahrenprozess und Exposition der Personen. Die zeitliche Koinzidenzwahrscheinlichkeit errechnet sich wie folgt:

$$p_{zK} = p_{sK} \times p_{\Pr}$$

DABEI SIND:

p_{sK} Saisonale Koinzidenzwahrscheinlichkeit: Wahrscheinlichkeit der saisonalen Koinzidenz von Objekt und Gefahrenprozess (siehe Abbildung 24, Seite 64):

$$p_{sK} = \frac{K}{T_{sA}}$$

WOBEI:

T_{sA} **Saisonales Auftreten des Gefahrenprozesses**: Siehe Seiten 59*f*.

K **Saisonale Koinzidenz** von Gefahrenprozess und Exposition der Personen in Anzahl Monaten:

$$K = T_{sA} \cap T_{sE}$$

DABEI IST:

T_{sE} **Saisonale Exposition**: Periode in Zahl der Monate, während der sich die Personen im Objekt oder im Gefahrenbereich befinden (vor allem bei Campingplätzen und anderen touristisch genutzten Objekten wichtig).

Legende

T_{sA} *Saisonales Auftreten*
T_{sE} *Saisonale Exposition*
K *Saisonale Koinzidenz*
p_{sK} *Saisonale Koinzidenzwahrscheinlichkeit*

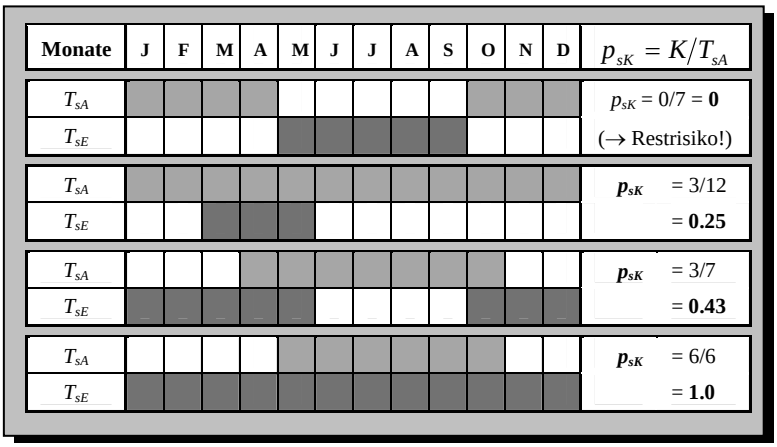


Abbildung 24: *Beispiele zur Bestimmung der saisonalen Koinzidenzwahrscheinlichkeit.*

p_{Pr} **Präsenzwahrscheinlichkeit**: Wahrscheinlichkeit, dass sich die Personen N_P (siehe unten) im untersuchten Objekt befinden. Wir unterscheiden folgende Fälle:

Fall	Beispiele	Präsenzwahrscheinlichkeit
Täglicher Aufenthalt $\left[\frac{Stunden}{Tag}\right]$	Wohn- oder Feriengebäude, Spitäler, Pflegeheime, Anstalten, Hotels, Camping	$p_{\mathrm{Pr}} = \frac{T_P}{24h}$
Einige Tage pro Woche $\left[\frac{Stunden}{Woche}\right]$	Gewerbegebäude, Schulhäuser, Hotels	$p_{\mathrm{Pr}} = \frac{T_P \times D_P}{24h \times 7} = \frac{T_P \times D_P}{168h}$
Einige Stunden pro Woche $\left[\frac{Stunden}{Woche}\right]$	Kirchen, Sportstadien, Kulturzentren	$p_{\mathrm{Pr}} = \frac{t_P}{24h \times 7} = \frac{t_P}{168h}$

(Fortsetzung auf Seite 65)

(Fortsetzung von Seite 64)

Einige Stunden pro Monat	Sportstadien	$p_{\Pr} = \frac{t_P}{24h \times 7 \times 4{,}3} = \frac{t_P}{722h}$	$\left[\frac{Stunden}{Monat}\right]$
Einige Tage pro Jahr	Open Air's	$p_{\Pr} = \frac{d_P}{365d}$	$\left[\frac{Tage}{Jahr}\right]$

WOBEI:

T_P **Mittlere Aufenthaltszeit der Personen im Objekt in Stunden pro Tag:** Schätzung mit Hilfe des Besitzers / Betreibers, der Bewohner / Betroffenen / Benutzer..

D_P **Mittlere Aufenthaltszeit der Personen im Objekt in Tagen pro Woche:** Schätzung mit Hilfe des Besitzers, ..

t_P **Totale Aufenthaltszeit der Personen im Objekt in Stunden:** Schätzung mit Hilfe des Besitzers, ..

d_P **Totale Aufenthaltszeit der Personen im Objekt in Tagen:** Schätzung mit Hilfe des Besitzers, ..

p_{EK} **Evakuationswahrscheinlichkeit:** Wahrscheinlichkeit, dass die Personen vor Eintreffen des Gefahrenprozesses aus dem gefährdeten Objekt evakuiert werden. Die Evakuationswahrscheinlichkeit ist abhängig von:

- der **Vorwarnzeit T_{VW}:** siehe Seite 60.
- der **Evakuationszeit T_{EK}:** benötigte Zeitspanne, um sämtliche Personen aus dem Objekt zu evakuieren. Man schätzt die Evakuationszeit in Minuten oder Stunden (***Anmerkung*** in der Randspalte).
- vom **Vertrautheitsgrad:** wie vertraut sind die Notfallorganisation und die zu evakuierenden Personen mit der gefährlichen Situation.

Zur Schätzung der Evakuationswahrscheinlichkeit empfehlen wir das Vorgehen gemäss Tabelle 5 (Seite 66).

Anmerkung:
Vertreter der lokalen Notfallorganisationen (Feuerwehr, Polizei, Zivilschutz, u.a.) können wichtige Anhaltspunkte zur Schätzung der Evakuationszeit liefern.

Tabelle 5: *Schätzung der Evakuationswahrscheinlichkeit (0.9 = Evakuation ziemlich sicher, 0.1 = Evakuation nicht wahrscheinlich).*

P_{EK}	Bedingung A	°	Bedingung B
0.9	$T_{VW} >> T_{EK}$	und	1) Keine Evakuationsschwierigkeiten, da die Notfallorganisation funktioniert und die zu evakuierenden Personen mit der Situation vertraut sind.
0.5	$T_{VW} >> T_{EK}$	und	2) Evakuationsschwierigkeiten nicht ausgeschlossen, da die Notfallorganisation oder die zu evakuierenden Personen mit der Situation wenig vertraut sind.
	oder: $T_{VW} > T_{EK}$	und	Bedingung B1)
0.1	$T_{VW} > T_{EK}$ oder: $T_{VW} \cong T_{EK}$ oder: $T_{VW} < T_{EK}$	und	Bedingung B2)

T_{VW} *Vorwarnzeit*
T_{EK} *Evakuationszeit*

S Schadenausmass: Erwartetes Ausmass eines Schadenereignisses (in Anzahl Todesfällen), bezogen auf die Personen im Freien oder in einem Gebäude. Das Schadenausmass errechnet sich wie folgt:

$\left[\frac{Anzahl\ Todesfälle}{Schadenereignis}\right]$

Personen im Freien: $S = N_P \times \lambda$

$\left[\frac{Anzahl\ Todesfälle}{Schadenereignis}\right]$

Personen in Gebäuden: $S = N_P{}^* \times \lambda$

DABEI BEDEUTEN:

N_P Anzahl exponierter Personen: Mittlere Anzahl Personen, die sich im Untersuchungsobjekt aufhalten. Man erhebt die Anzahl exponierter Personen direkt am untersuchten Objekt.

N_P* Anzahl tatsächlich gefährdeter Personen: Mittlere Anzahl Personen, die direkt vom Gefahrenprozess betroffen sind. Nicht alle Personen N_P, die sich im Objekt aufhalten, sind gleich gefährdet. Wir nehmen deshalb an, dass die Anzahl tatsächlich gefährdeter Personen direkt mit der Schadenempfindlichkeit der Gebäudestruktur SE_{St} (Seiten 86*f*) korreliert (das heisst zum Beispiel: Wenn 50% des Gebäudes zerstört sind, dann gehen wir davon aus, dass auch die Hälfte der Personen N_P im Gebäude direkt vom Gefahrenprozess betroffen sind):

$N_P{}^* = N_P \times SE_{St}$ (Bei Personen im Freien ist $N_P{}^* = N_P$)

λ **Letalität:** Todesfallwahrscheinlichkeit im Ereignisfall (d.h. Wahrscheinlichkeit, dass eine vom Gefahrenprozess getroffene Person stirbt). Die Daten zur Letalität haben wir aus bisherigen Ereignissen abgeleitet oder geschätzt (*Tabellen 3.1* bis *3.4* in *Teil II*, *Seiten 116f*).

$r_{i,j}$ Objektrisiko: Todesfallrisiko, bezogen auf die Personen N_P im Untersuchungsobjekt O_i (im Gebäude oder im Freien) aufgrund des Szenarios SZ_j. Man verknüpft die Schadenhäufigkeit h_S (Seite 63) und das Schadenausmass S (Seite 66) zum

- **Objektrisiko $r_{i,j}$ pro Schadenereignis:**

$$r_{i.j} = [h_S ; S] \qquad \left[\frac{1}{Jahr} ; \frac{Anzahl\ Todesfälle}{Schadenereignis}\right]$$

→ *Ein Schadenereignis des Szenarios SZ_j verursacht beim Objekt O_i im Mittel S Todesopfer; das Schadenereignis tritt mit einer relativen Häufigkeit von h_S (pro Jahr) ein.*

- **Objektrisiko $r_{i,j}$ pro Jahr:**

$$r_{i.j} = h_S \times S \qquad \left[\frac{Anzahl\ Todesfälle}{Jahr}\right]$$

→ *Aufgrund des Szenarios SZ_j ist, bezogen auf das Objekt O_i, im Mittel mit $r_{i,j}$ Todesopfern pro Jahr zu rechnen.*

Das Objektrisiko $r_{i,j}$ pro Jahr errechnet sich wie folgt:

Personen im Freien:
$$r_{i.j} = h_S \times S = h_E \times p_{rA} \times p_{zK} \times (1 - p_{EK}) \times N_P \times \lambda \qquad \left[\frac{Anzahl\ Todesfälle}{Jahr}\right]$$

Personen in Gebäuden:
$$r_{i.j} = h_S \times S = h_E \times p_{rA} \times p_{zK} \times (1 - p_{EK}) \times N_P * \times \lambda \qquad \left[\frac{Anzahl\ Todesfälle}{Jahr}\right]$$

(Erläuterung der Risikofaktoren: siehe oben)

$r_{i.j\text{-}ind}$ Individuelles Todesfallrisiko: Wahrscheinlichkeit für eine Person, die sich mit der Präsenzwahrscheinlichkeit p_{Pr} im Untersuchungsobjekt O_i aufhält, innerhalb eines Jahres durch das Szenario SZ_j umzukommen. Man berechnet das individuelle Todesfallrisiko wie folgt:

1 Person im Freien oder im Gebäude:
$$r_{i.j-ind} = \frac{r_{i.j}}{N_P} \qquad \left[\frac{Todesfallwahrscheinlichkeit}{Jahr}\right]$$

(Erläuterung der Risikofaktoren: siehe oben)

5.3 4.1.2 Todesfallrisiko auf Strassen

Anmerkung
Hochwasser können die Strasse unterspülen, so dass ein Einsturz möglich wird. Hochwasser können auch, bei hoher Fliessgeschwindigkeit, Fahrzeuge mitreissen. Diese Schäden treten jedoch nicht abrupt ein und sind nur in seltenen Fällen direkt lebensgefährlich. Deshalb behandeln wir dieses Risiko hier nicht.

Abklärungen zum Todesfallrisiko auf Strassen sind bei folgenden Gefahrenprozessen angebracht (***Anmerkung*** in der Randspalte):

- Lawinen
- Stein- und Blockschlag, Felssturz
- Murgänge

Das Todesfallrisiko auf Strassen lässt sich für Personen in Personenwagen und Cars/Bussen berechnen. Dabei berücksichtigen wir die in Abbildung 25 aufgeführten Risikofaktoren. Abbildung 26 zeigt schematisch, wie man die Risikofaktoren zum Todesfallrisiko $r_{i,j}$ verknüpft.

Legende

β	*Mittlerer Besetzungsgrad (pro Fahrzeug)*
DTV	*Durchschnittlicher täglicher Verkehr*
g	*Gefährdeter Streckenabschnitt*
G	*Prozessart*
h_E	*Eintretenshäufigkeit*
I	*Intensität*
p_{rA}	*Räumliche Auftretenswahrscheinlichkeit*
p_{Sp}	*Sperrungswahrscheinlichkeit*
λ	*Letalität (Sterbewahrscheinlichkeit)*
v	*Mittlere Fahrgeschwindigkeit*

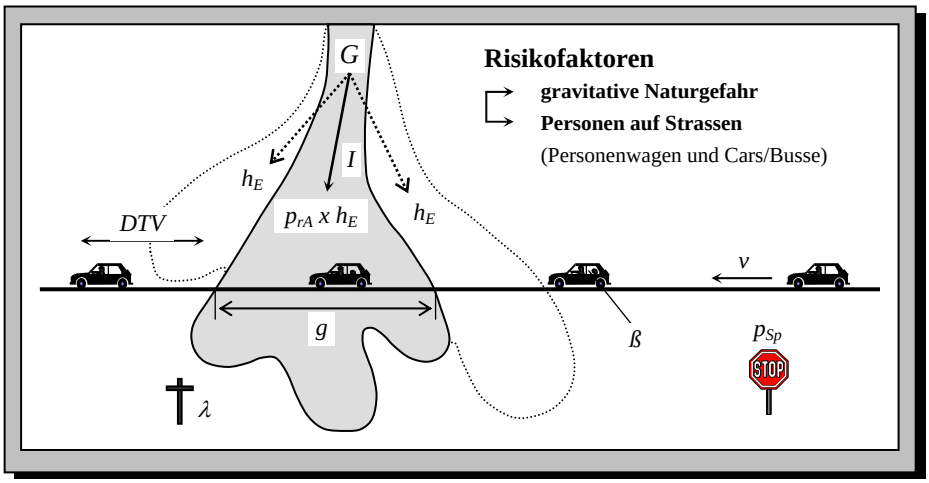


Abbildung 25: *Risikofaktoren zur Ermittlung des Todefallrisikos für Personen auf Strassen (in Anlehnung an WILHELM 1997).*

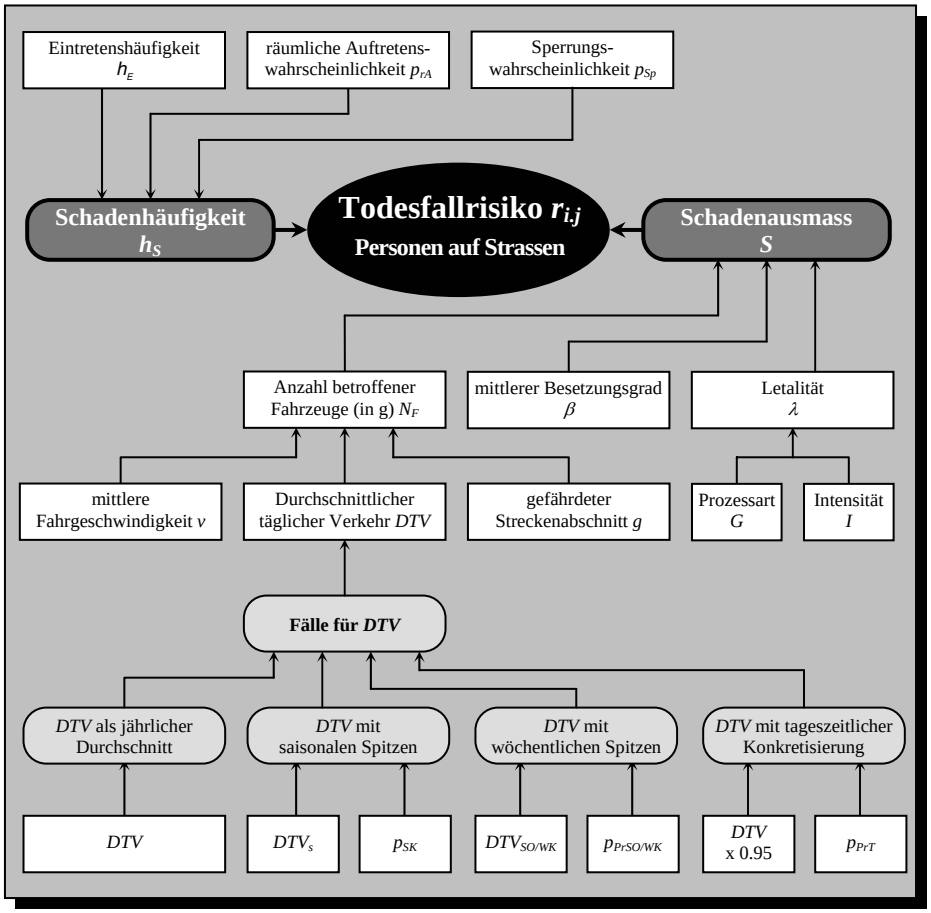


Abbildung 26: *Verknüpfung der Risikofaktoren zum Todesfallrisiko $r_{i,j}$ für Personen auf Strassen.*

Im Folgenden erläutern wir die einzelnen Risikofaktoren.

h_S Schadenhäufigkeit: Statistisch erwartete Zahl der Schadenereignisse pro Jahr. Die Schadenhäufigkeit errechnet sich wie folgt:

$$h_S = h_E \times p_{rA} \times \left(1 - p_{Sp}\right) \quad \left[\frac{Anzahl\ Schadenereignisse}{Jahr}\right]$$

DABEI BEDEUTEN:

h_E Eintretenshäufigkeit: Siehe Seite 25.

p_{rA} Räumliche Auftretenswahrscheinlichkeit: Siehe Seiten 58*f.*

p_{Sp} Sperrungswahrscheinlichkeit: Wahrscheinlichkeit, dass die gefährdete Strecke vor dem Eintreffen des Gefahrenprozesses gesperrt wird. Sie ist abhängig von der Vorwarnzeit T_{VW} (Seite 60) und von der Zeitspanne vom Erkennen der gefährlichen Situation bis zur Sperrung der Strecke. Angaben des Strassenmeisters und von Verantwortlichen

der Notfallorganisation können dazu wichtige Hinweise liefern. Für die Sperrungswahrscheinlichkeit p_{Sp} setzen wir folgende Werte ein:

Sperrungswahrscheinlichkeit p_{Sp}	Die Streckensperrung ist
0.9	ziemlich sicher
0.5	wahrscheinlich
0.1	nicht wahrscheinlich

S Schadenausmass: Erwartetes Ausmass eines Schadenereignisses (in Anzahl Todesfällen), bezogen auf die Personen in Personenwagen und Cars/Bussen. Das Schadenausmass errechnet sich wie folgt:

$\left[\frac{Anzahl\ Todesfälle}{Schadenereignis}\right]$

Personen in Personenwagen und Cars/Bussen: $S = N_F \times \lambda \times \beta$

DABEI BEDEUTEN:

N_F **Anzahl betroffener Fahrzeuge:** Durchschnittliche Anzahl Fahrzeuge (auf dem gefährdeten Streckenabschnitt g), die von einem Schadenereignis betroffen sind. Man kann den Detaillierungsgrad zur Ermittlung der Anzahl betroffener Fahrzeuge verfeinern, indem man saisonale, wöchentliche und tageszeitliche Schwankungen des durchschnittlichen täglichen Verkehrs DTV in die Berechnungen einbezieht. Die Anzahl betroffener Fahrzeuge errechnet sich für die verschiedenen Fälle A bis D wie folgt (***Anmerkung*** in der Randspalte):

Fälle für DTV	Anzahl betroffener Fahrzeuge N_F
A DTV als jährlicher Durchschnitt	$N_F = \frac{DTV \times g}{v \times f}$
B DTV mit saisonalen Spitzen	$N_F = \frac{DTV_s \times g}{v \times f} \times p_{sK}$
C DTV mit wöchentlichen Spitzen; Unterscheidung nach:	
C1 Sonn- und Feiertagen	$N_F = \frac{DTV_{SO} \times g}{v \times f} \times p_{\Pr SO}$
C2 Werktagen	$N_F = \frac{DTV_{WK} \times g}{v \times f} \times p_{\Pr WK}$
D DTV mit tageszeitlicher Konkretisierung (95% des DTV von 06.00 bis 22.00 Uhr)	$N_F = \frac{0.95DTV \times g}{v \times f} \times p_{\Pr T}$

Anmerkung
Die verschiedenen Fälle A bis D lassen sich miteinander kombinieren: So errechnet man das detaillierteste Resultat für die Anzahl betroffener Fahrzeuge aus der Kombination des DTV mit saisonalen Spitzen (Fall B), des DTV mit Spitzen an Sonn- und Feiertagen (Fall C) und des DTV mit tageszeitlicher Konkretisierung (Fall D). Dann ist die Anzahl betroffener Fahrzeuge N_F, die man in der Risikoformel einsetzt:

N_F an Sonntagen:
$N_F = N_F(B) \times N_F(C1) \times N_F(D)$

resp. N_F an Werktagen:
$N_F = N_F(B) \times N_F(C2) \times N_F(D)$

DABEI SIND:

DTV **Durchschnittlicher täglicher Verkehr:** Anzahl Fahrzeuge, die den gefährdeten Strassenabschnitt g innerhalb 24 Stunden passieren. Die Daten ermittelt man aus:

- der Schweizerischen Strassenverkehrszählung (BFS 1996)
- lokalen, regionalen oder kantonalen Strassenverkehrszählungen
- Schätzungen

Der Anteil Cars oder Busse beträgt im Mittel 0,5% des DTV (BFS 1996).

g **Gefährdeter Streckenabschnitt:** Breite des Gefahrenbereichs (in Meter) auf der Strasse. Die Länge des durch den Gefahrenprozess betroffenen Streckenabschnittes misst man in der Intensitäts- bzw. Ereigniskarte (Seite 24).

v **Mittlere Fahrgeschwindigkeit** (in km/h): Wir empfehlen, für die mittlere Fahrgeschwindigkeit allgemein einen Wert von 50 km/h einzusetzen (***Anmerkung*** in der Randspalte).

f **Umrechnungsfaktor = 24'000** [h] (= 1000 x 24h; der Faktor 1000 rechnet die Einheit von v [km/h] in [m/h] um).

p_{sK} **Saisonale Koinzidenzwahrscheinlichkeit:** Wahrscheinlichkeit der saisonalen Koinzidenz von Objekt und Gefahrenprozess. Wenn aufgrund der Frequenzangaben **deutliche saisonale** DTV_s **Spitzen des** DTV **(=**DTV_s**)** zu verzeichnen sind, dann ermittelt man die saisonale Exposition T_{sE} (Monate pro Jahr mit Spitzenwerten; siehe Seite 64) und berechnet die saisonale Koinzidenzwahrscheinlichkeit p_{sK} gemäss dem auf Seiten 63*ff* erläuterten Vorgehen.

$p_{PrSO/WK}$ **Wöchentliche Präsenzwahrscheinlichkeit:** Wahrscheinlichkeit, mit der der DTV_{SO} (resp. der DTV_{WK}) erreicht wird. Vor allem auf touristischen Routen bestehen grosse Unterschiede zwischen dem durchschnittlichen täglichen Verkehr DTV an Sonn- und Feiertagen (DTV_{SO}) und jenem an Werktagen (DTV_{WK}). Dann empfehlen wir eine getrennte Berechnung des Todesfallrisikos für diese Wochentage. Dazu verwendet man folgende Werte:

Unterscheidung nach	DTV	$p_{PrSO/WK}$		
Sonn- und Feiertagen	DTV_{SO}	p_{PrSO}	= 63/365	= **0.17**
Werktagen	DTV_{WK}	p_{PrWK}	= 302/365	= **0.83**

↳ Bezug der Daten: Siehe *'DTV'*

Anmerkung zu v
Wir berücksichtigen bei der Ermittlung des Todesfallrisikos lediglich Direkttreffer innerhalb eines gefährdeten Streckenabschnittes. Wir vernachlässigen Unfälle infolge beschädigter Fahrbahn oder Kollision mit abgelagertem Material auf der Fahrbahn. Der Wert von 50 km/h erwies sich für dieses Vorgehen als geeignet: Bei dieser Geschwindigkeit besteht eine reelle Chance, noch vor dem Hindernis bremsen zu können. Bei höheren Geschwindigkeiten sinkt das Risiko eines Direkttreffers auf der gefährdeten Strecke, hingegen steigt das Risiko einer Kollision mit abgelagertem Material auf der Fahrbahn.

p_{PrT} **Tageszeitliche Präsenzwahrscheinlichkeit:** Wahrscheinlichkeit, dass sich mindestens ein Fahrzeug auf dem gefährdeten Streckenabschnitt g befindet. Rund 95% des DTV fallen auf die Zeit zwischen 06.00 bis 22.00 Uhr (BFS 1996). Die tageszeitliche Präsenzwahrscheinlichkeit für 95% des DTV ist daher:

$$p_{\Pr T} = \frac{16h}{24h} = 0.67$$

λ **Letalität**: Todesfallwahrscheinlichkeit im Ereignisfall (d.h. Wahrscheinlichkeit für eine verunfallte Person zu sterben). Wir schätzen die mittlere Letalität wie folgt:

	Letalität λ bei Intensität I:			
Gefahrenprozess	**schwach**	**mittel**	**stark**	**Quelle**
Lawinen	0.05	0.2	0.5	Schätzung
Murgänge	—	0.3	0.7	Schätzung
Sturzprozesse	0.1	0.5	0.7	Schätzung

β **Mittlerer Besetzungsgrad:** Mittlere Anzahl Personen pro Fahrzeug. Für β setzen wir folgende Werte ein:

Fahrzeugtyp	β	**Quelle**
Personenfahrzeug	1.61	BFS
Car/ Bus	25	Schätzung

$r_{i,j}$ Objektrisiko: Todesfallrisiko aufgrund des Szenarios SZ_j, bezogen auf die Personen, die den gefährdeten Streckenabschnitt g (=Objekt O_i) einer Strasse in DTV Personenwagen und Cars/Bussen passieren. Man verknüpft die Schadenhäufigkeit h_S (Seite 69) und das Schadenausmass S (Seite 70) zum

- **Objektrisiko $r_{i,j}$ pro Schadenereignis:**

$$r_{i.j} = [h_S ; S] \qquad \left[\frac{1}{Jahr}; \frac{Anzahl\ Todesfälle}{Schadenereignis}\right]$$

→ *Ein Schadenereignis des Szenarios SZ_j verursacht auf dem gefährdeten Streckenabschnitt g (=Objekt O_i) im Mittel S Todesopfer; das Schadenereignis tritt mit einer relativen Häufigkeit von h_S (pro Jahr) ein.*

- **Objektrisiko $r_{i,j}$ pro Jahr:**

$$r_{i.j} = h_S \times S \qquad \left[\frac{Anzahl\ Todesfälle}{Jahr}\right]$$

→ *Aufgrund des Szenarios SZ_j ist, bezogen auf den gefährdeten Streckenabschnitt g (=Objekt O_i), im Mittel mit $r_{i,j}$ Todesopfern pro Jahr zu rechnen.*

Das Objektrisiko $r_{i.j}$ pro Jahr errechnet sich wie folgt:

$$r_{i.j} = h_E \times p_{rA} \times \left(1 - p_{Sp}\right) \times N_F \times \lambda \times \beta$$

Unter Berücksichtigung des 0,5%igen Anteils von Cars und Bussen am DTV errechnet sich das Todesfallrisiko $r_{i.j}$ wie folgt:

$$r_{i.j} = \left(h_E \times p_{rA} \times N_F \times \lambda \times 1{,}61 + h_E \times 0{,}005 N_F \times \lambda \times 25\right) \times \left(1 - p_{Sp}\right)$$

$$\Rightarrow \quad r_{i.j} = h_E \times p_{rA} \times N_F \times \lambda \times 1{,}74 \times \left(1 - p_{Sp}\right) \qquad \left[\frac{Anzahl\ Todesfälle}{Jahr}\right]$$

(Erläuterung der Risikofaktoren: siehe oben)

$r_{i.j\text{-}ind}$ Individuelles Todesfallrisiko: Wahrscheinlichkeit für eine Person, die den gefährdeten Streckenabschnitt g **x**-mal pro Tag in einem Fahrzeug passiert, innerhalb eines Jahres durch das Szenario SZ_j umzukommen. Man berechnet das individuelle Todesfallrisiko $r_{i.j\text{-}ind}$ wie folgt:

1 Person, die den gefährdeten Streckenabschnitt x-mal pro Tag passiert:

$$r_{i.j-ind} = \frac{r_{i.j}}{DTV \times \beta} \times x \qquad \left[\frac{Todesfallwahrscheinlichkeit}{Jahr}\right]$$

(Erläuterung der Risikofaktoren: siehe oben)

5.3 4.1.3 Todesfallrisiko bei Bahnen

Abklärungen zum Todesfallrisiko bei Bahnen sind bei folgenden Gefahrenprozessen angebracht (***Anmerkung*** in der Randspalte):

- Lawinen (siehe *Fallbeispiel Sonderobjekt Bahn* in *Teil II*, *Seiten 83ff*)
- Stein- und Blockschlag, Felssturz
- Murgänge

Anmerkung
Hochwasser können die Geleise unterspülen, so dass ein Einsturz möglich wird. Dieser Schaden tritt jedoch nicht abrupt ein, er kündigt sich im Voraus an und lässt sich durch eine vorsorgliche Streckensperrung vermeiden. Deshalb behandeln wir dieses Risiko hier nicht.

Das Todesfallrisiko lässt sich für Personen in Zügen berechnen. Im Unterschied zu den Todesfallrisiken auf Strassen muss man bei Bahnlinien – wegen der längeren Bremswege - die Möglichkeit von Unfällen infolge defekter Fahrbahn und Kollision mit abgelagertem Material auf der Fahrbahn berücksichtigen. Wir betrachten deshalb zwei verschiedene Unfalltypen: Unfall durch Direkttreffer und Unfall durch Kollision/Entgleisung. Wir ermitteln die Todesfallrisiken für beide Unfalltypen getrennt mit den in Abbildung 27 aufgeführten Risikofaktoren.

Legende Risikofaktoren

β	*Mittlerer Besetzungsgrad*
β^*	*Anzahl effektiv betroffener Personen*
F_Z	*Zugfrequenz*
g	*Gefährdeter Streckenabschnitt*
G	*Prozessart*
GG	*Gelände-Gegebenheiten*
h_E	*Eintretenshäufigkeit*
I	*Intensität*
L_Z	*Mittlere Zuglänge*
p_{Br}	*Bremsungswahrscheinlichkeit*
p_{rA}	*Räumliche Auftretenswahrscheinlichkeit*
p_{Sp}	*Sperrungswahrscheinlichkeit*
λ_{DT} / $\lambda_{K/E}$	*Letalität (Sterbewahrscheinlichkeit)*
p_{uF}	*Wahrsch.keit für unterbrochene Fahrleitung*
p_{Wg}	*Wahrscheinlichkeit für Warnung*
v	*Mittlere Fahrgeschwindigkeit*

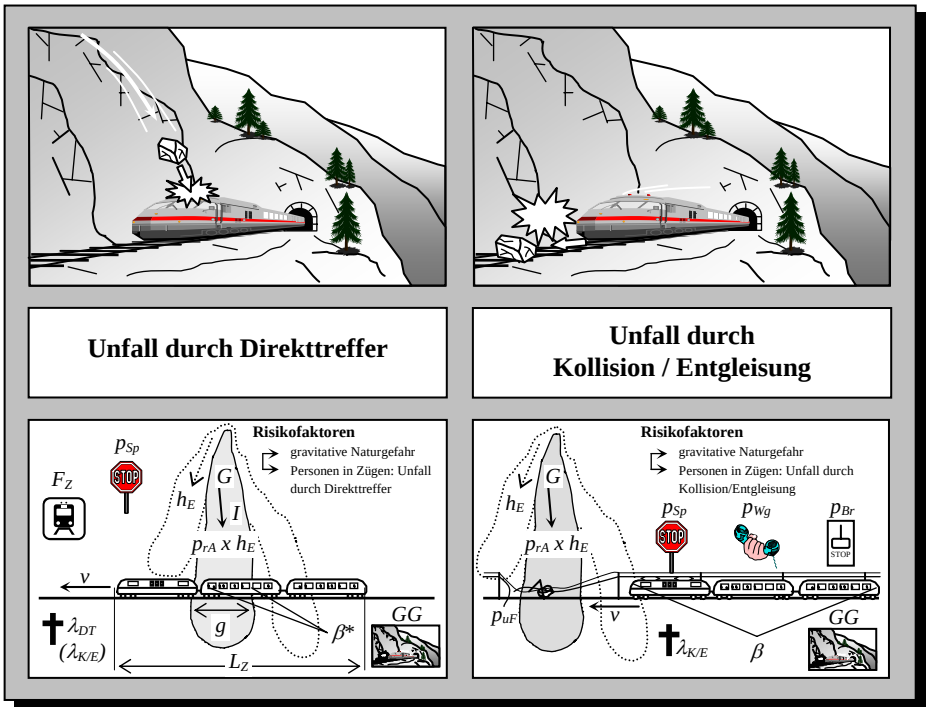


Abbildung 27: *Unfalltypen bei Bahnlinien infolge von Naturgefahren und entsprechende Risikofaktoren zur Ermittlung des Todesfallrisikos für Personen in Zügen.*

TODESFALLRISIKO $r_{i,j}$ INFOLGE EINES UNFALLS DURCH DIREKTTREFFER

Bei der Analyse des Todesfallrisikos infolge eines Unfalls durch Direkttreffer berücksichtigen wir auch die Möglichkeit einer Entgleisung, die durch den Direkttreffer verursacht wird. Abbildung 28 zeigt, wie man die Risikofaktoren (aus Abbildung 27) zum Todesfallrisiko $r_{i,j}$ verknüpft.

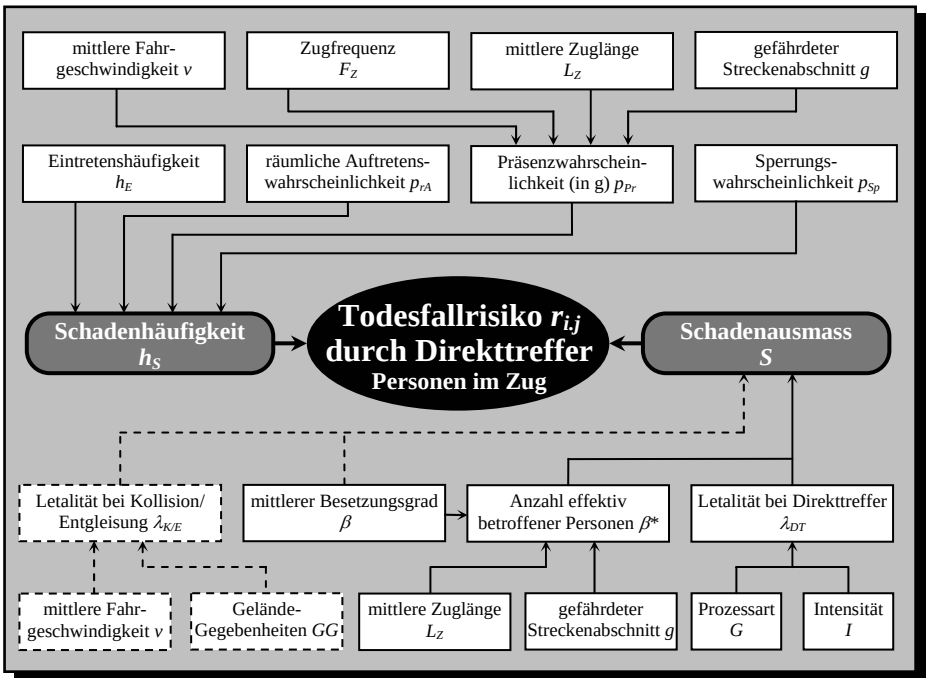


Abbildung 28: *Verknüpfung der Risikofaktoren zum Todesfallrisiko $r_{i,j}$ für Personen in Zügen, infolge eines Unfalls durch Direkttreffer (**Anmerkung** in der Randspalte).*

Anmerkung
Die Risikofaktoren in den gestrichelten Kästchen sind nur bei mittlerer und starker Intensität des Gefahrenprozesses zu berücksichtigen. Der Grund: nur bei mittleren bis starken Intensitäten eines Direkttreffers ist mit einer Entgleisung des Zuges zu rechnen, wobei alle Personen β vom Unfall betroffen sind.

Im Folgenden erläutern wir die einzelnen Risikofaktoren.

h_S Schadenhäufigkeit: Statistisch erwartete Zahl der Schadenereignisse pro Jahr. Die Schadenhäufigkeit infolge von Unfällen durch Direkttreffer errechnet sich wie folgt:

$$h_S = h_E \times p_{rA} \times p_{\mathrm{Pr}} \times \left(1 - p_{Sp}\right) \qquad \left[\frac{Anzahl\ Schadenereignisse}{Jahr}\right]$$

DABEI BEDEUTEN:

h_E Eintretenshäufigkeit: Siehe Seite 25.

p_{rA} Räumliche Auftretenswahrscheinlichkeit: Siehe Seiten 58*f.*

p_{Pr} Präsenzwahrscheinlichkeit: Wahrscheinlichkeit, dass sich ein Zug auf dem gefährdeten Streckenabschnitt g befindet. Die durchschnittliche

Präsenzwahrscheinlichkeit errechnet sich – unabhängig von der Betriebszeit der Bahn - wie folgt:

$$p_{\mathrm{Pr}} = \frac{\text{Zeit pro Tag mit Zugdurchfahrt}}{24h} = \frac{F_Z \times (g + L_Z)}{v \times f}$$

DABEI SIND:

F_Z **Zugfrequenz:** durchschnittliche Anzahl Züge, welche die Untersuchungsstrecke innerhalb 24 Stunden passieren. Man leitet die Daten aus dem Fahrplan/Kursbuch her oder befragt den Bahnbetreiber.

g **Gefährdeter Streckenabschnitt:** Breite des Gefahrenbereiches (in Meter) auf der Bahnlinie. Man misst die Länge des durch den Gefahrenprozess betroffenen Streckenabschnittes (in Meter) in der Intensitäts- bzw. Ereigniskarte (Seite 24).

L_Z **Mittlere Zuglänge:** Die mittlere Zuglänge (in Meter) erfragt man beim Bahnbetreiber. Als Alternative kann man folgende Standardwerte einsetzen:

- Regionalzug: 1 Lok + 6 Wagen = 140 m
- Intercity: 1 Lok + 12 Wagen = 260 m

v **Mittlere Fahrgeschwindigkeit** (in km/h): Die mittlere Fahrgeschwindigkeit erfragt man beim Bahnbetreiber.

f **Umrechnungsfaktor = 24'000** [h] (= 1000 x 24h; der Faktor 1000 rechnet die Einheit von v [km/h] in [m/h] um).

p_{Sp} **Sperrungswahrscheinlichkeit:** Wahrscheinlichkeit, dass man die Bahnlinie rechtzeitig sperrt und den Zug vor der Gefahrenstelle bremst. Sie ist abhängig von der Vorwarnzeit T_{VW} (Seite 60) und von der Zeitspanne vom Erkennen der gefährlichen Situation bis zur Sperrung der Strecke. Angaben des Bahnbetreibers und von Verantwortlichen der Notfallorganisation können dazu wichtige Hinweise liefern. Man berücksichtigt bestehende Sicherheitsmassnahmen wie Warnsysteme, Wache bei kritischen Situationen, Kontrolle der Geleise. Für die Sperrungswahrscheinlichkeit p_{Sp} setzen wir folgende Werte ein:

Sperrungswahrscheinlichkeit p_{Sp}	Die Streckensperrung ist
0.9	ziemlich sicher
0.5	wahrscheinlich
0.1	nicht wahrscheinlich

S Schadenausmass: Erwartetes Ausmass eines Schadenereignisses (in Anzahl Todesfällen), bezogen auf die Personen im Zug. Man ermittelt das Schadenausmass infolge eines Unfalls durch Direkttreffer wie folgt:

Personen im Zug: $S = \lambda_{DT} \times \beta^* + \lambda_{K/E} \times \beta$ $\left[\frac{Anzahl\ Todesfälle}{Schadenereignis}\right]$

DABEI BEDEUTEN:

λ_{DT} Letalität bei Direkttreffer: Todesfallwahrscheinlichkeit im Ereignisfall (d.h. Wahrscheinlichkeit für eine verunfallte Person zu sterben). Zur Letalität bei Zugunfällen durch Direkttreffer bestehen keine Erfahrungswerte. Wir müssen deshalb mit Schätzwerten zur Letalität arbeiten:

Letalität λ_{DT} bei Intensität I:

Gefahrenprozess	schwach	mittel	stark	Quelle
Lawinen	0.0	0.1	0.3	Schätzung
Murgänge	—	0.1	0.3	Schätzung
Sturzprozesse	0.1	0.3	0.5	Schätzung

β^* Anzahl effektiv gefährdeter Personen: Bei einem Direkttreffer sind diejenigen Personen im Zug direkt betroffen, die sich im gefährdeten Streckenabschnitt g befinden:

$$\beta^* = \frac{\beta \times g}{L_Z}$$

Dabei sind:

β Siehe unten.

g, L_Z Siehe Seite 76.

$\lambda_{K/E}$ Letalität bei Kollision/Entgleisung: Todesfallwahrscheinlichkeit im Ereignisfall (d.h. Wahrscheinlichkeit für eine verunfallte Person zu sterben). Bei **mittlerer** und **starker Intensität** eines Direkttreffers ist mit einer Entgleisung des Zuges zu rechnen. Dabei sind alle Personen (β) im Zug vom Unfall betroffen. Die Letalität $\lambda_{K/E}$ ist gemäss dem Vorgehen auf Seite 82 zu bestimmen. Bei schwacher Intensität des Gefahrenprozesses ist $\lambda_{K/E} = 0$.

β Mittlerer Besetzungsgrad: Mittlere Anzahl Personen pro Zug. Zum mittleren Besetzungsgrad sind für viele Bahnstrecken statistische Werte beim Bahnbetreiber erhältlich. Diese sollen in die Risikoanalyse einfliessen (***Anmerkung*** in der Randspalte).

Anmerkung zu β
Für den mittleren Besetzungsgrad β gehen wir hier von durchschnittlichen Jahreswerten aus.

$r_{i.j}$ Objektrisiko bei Direkttreffer: Todesfallrisiko aufgrund eines Direkttreffers des Szenarios SZ_j, bezogen auf die Personen, die den gefährdeten Streckenabschnitt g (= Objekt O_i) einer Bahnlinie im Zug passieren. Man verknüpft die Schadenhäufigkeit h_S (Seite 75) und das Schadenausmass S (Seite 77) zum

- **Objektrisiko $r_{i.j}$ pro Schadenereignis:**

$r_{i.j} = [h_S ; S]$ → *Ein Schadenereignis (Unfall durch Direkttreffer) des Szenarios SZ_j verursacht auf dem gefährdeten Streckenabschnitt g (=Objekt O_i) im Mittel S Todesopfer; das Schadenereignis tritt mit einer relativen Häufigkeit von h_S (pro Jahr) ein.*

$\left[\frac{1}{Jahr}; \frac{Anzahl\ Todesfälle}{Schadenereignis}\right]$

- **Objektrisiko $r_{i.j}$ pro Jahr:**

$r_{i.j} = h_S \times S$ → *Aufgrund des Szenarios SZ_j (Unfall durch Direkttreffer) ist, bezogen auf den gefährdeten Streckenabschnitt g (=Objekt O_i), im Mittel mit $r_{i.j}$ Todesopfern pro Jahr zu rechnen.*

$\left[\frac{Anzahl\ Todesfälle}{Jahr}\right]$

Das Objektrisiko $r_{i.j}$ pro Jahr errechnet sich wie folgt:

$\left[\frac{Anzahl\ Todesfälle}{Jahr}\right]$

$$r_{i.j} = h_S \times S = h_E \times p_{rA} \times p_{\Pr} \times \left(1 - p_{Sp}\right) \times \left(\lambda_{DT} \times \beta^* + \lambda_{K/E} \times \beta\right)$$

(Erläuterung der Risikofaktoren: siehe oben)

$r_{i.j\text{-}ind}$ Individuelles Todesfallrisiko: Wahrscheinlichkeit für eine Person, die den gefährdeten Streckenabschnitt g **x**-mal pro Tag in einem Zug passiert, innerhalb eines Jahres infolge eines Unfalls durch Direkttreffer des Szenarios SZ_j umzukommen. Man berechnet das individuelle Todesfallrisiko $r_{i.j\text{-}ind}$ wie folgt:

$\left[\frac{Todesfallwahrscheinlichkeit}{Jahr}\right]$

1 Person, die den gefährdeten Streckenabschnitt x-mal pro Tag passiert:

$$r_{i.j-ind} = \frac{r_{i.j}}{F_Z \times \beta} \times x$$

(Erläuterung der Risikofaktoren: siehe oben)

TODESFALLRISIKO $r_{i,j}$ INFOLGE EINES UNFALLS DURCH KOLLISION/ENTGLEISUNG

Ein Unfall infolge defekter Fahrbahn oder Kollision mit abgelagertem Material auf den Geleisen kann vor allem in steilem Gelände oder bei hoher Fahrgeschwindigkeit viele Todesopfer fordern. Abbildung 29 zeigt, wie man die Risikofaktoren (aus Abbildung 27, Seite 74) zum Todesfallrisiko $r_{i,j}$ verknüpft.

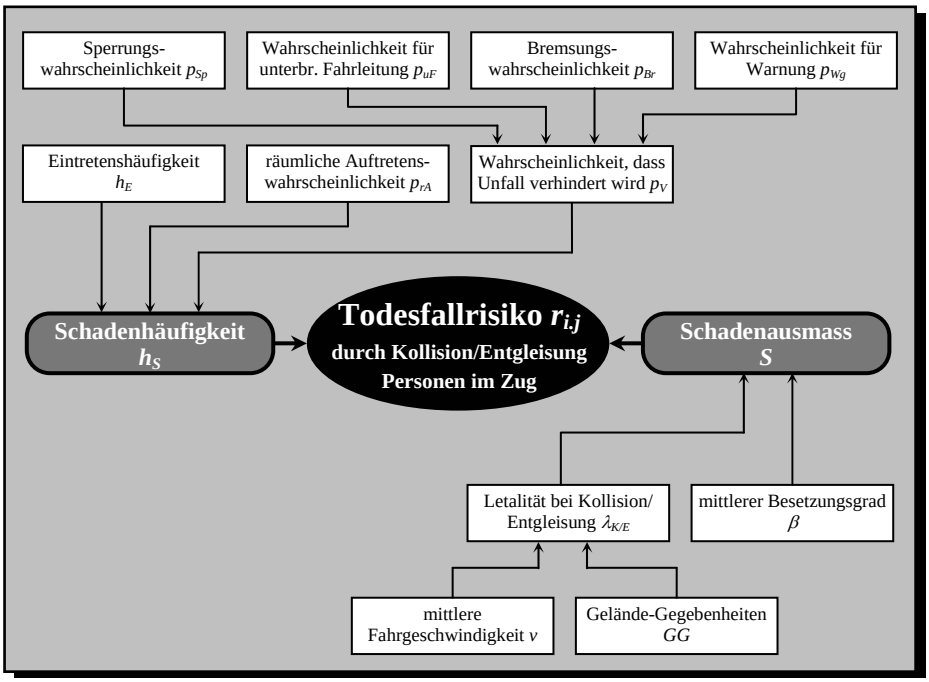


Abbildung 29: *Verknüpfung der Risikofaktoren zum Todesfallrisiko $r_{i,j}$ für Personen in Zügen, infolge eines Unfalls durch Kollision/Entgleisung.*

Im Folgenden erläutern wir die einzelnen Risikofaktoren.

h_S Schadenhäufigkeit: Statistisch erwartete Zahl der Schadenereignisse pro Jahr. Die Schadenhäufigkeit infolge von Unfällen durch Kollision/ Entgleisung errechnet sich wie folgt:

$$h_S = h_E \times p_{rA} \times \left(1 - p_V\right) \qquad \left[\frac{Anzahl\ Schadenereignisse}{Jahr}\right]$$

DABEI BEDEUTEN:

h_E Eintretenshäufigkeit: Siehe Seite 25.

p_{rA} Räumliche Auftretenswahrscheinlichkeit: Siehe Seiten 58*f.*

p_V Wahrscheinlichkeit, dass die Kollision / Entgleisung **verhindert** wird. Diese errechnet sich wie folgt:

$$p_V = p_{Sp} + \left(1 - p_{Sp}\right) \times \left[p_{uF} + \left(1 - p_{uF}\right) \times \left(p_{Wg} + p_{Br}\right)\right]$$

oder:

$$p_V = 1 - \left(1 - p_{Sp}\right) \times \left(1 - p_{uF}\right) \times \left(1 - p_{Wg} - p_{Br}\right)$$

Die obenstehenden Formeln zur Berechnung der Wahrscheinlichkeit p_V leiten wir aus dem in Abbildung 30 dargestellten Ereignisbaum ab. Der Ereignisbaum enthält die Wahrscheinlichkeiten der Ereignisse, die eintreten müssen, um den Unfall zu verhindern, sowie jene der Gegenereignisse (die zur Kollision führen).

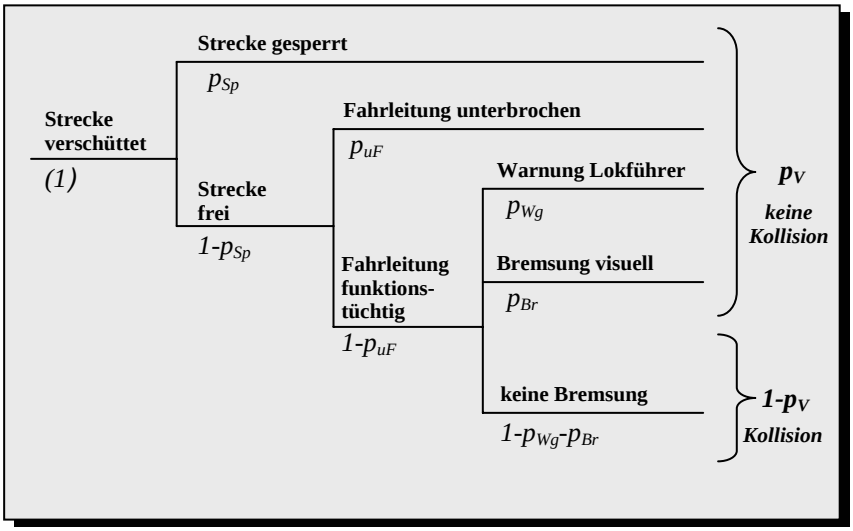


Abbildung 30: *Ereignisbaum zur Ermittlung der Wahrscheinlichkeit p_v (Wahrscheinlichkeit, dass der Unfall durch Kollision/Entgleisung verhindert wird).*

DABEI SIND:

p_{Sp} **Sperrungswahrscheinlichkeit:** Siehe Seite 76.

p_{uF} **Wahrscheinlichkeit für unterbrochene Fahrleitung:** Wahrscheinlichkeit, dass die Fahrleitung durch den Gefahrenprozess unterbrochen wird und der Zug vor der Gefahrenstelle zum Stillstand kommt. Diese Wahrscheinlichkeit ist abhängig von der Art und der Intensität des Gefahrenprozesses und der Exposition von Fahrleitung und Fahrleitungsmasten. Die Abschätzung erfolgt fallspezifisch (***Anmerkung*** in der Randspalte).

Anmerkung zu p_{uF}
Nebst der Fahrleitung kann auch die Signalleitung durch einen Gefahrenprozess unterbrochen werden. Die Signalleitung verläuft parallel zu den Geleisen im Boden in einem Betonkanal. Bei einem Unterbruch der Signalleitung stellen alle betroffenen Signale auf rot ("fale safe"-System).

p_{Wg} **Wahrscheinlichkeit für Warnung:** Wahrscheinlichkeit, dass der Lokführer gewarnt und der Zug vor der Gefahrenstelle gebremst wird (im Normalfall ist der Lokführer über Funk erreichbar). Zur Abschätzung Verantwortliche der Bahn oder der Notfallorganisationen kontaktieren (im Zweifelsfalle $p_{Wg} = 0$).

p_{Br} **Bremsungswahrscheinlichkeit:** Wahrscheinlichkeit, dass der Zug noch vor der Gefahrenstelle seine Geschwindigkeit genügend reduzieren kann, damit nicht mit Todesopfern zu

rechnen ist (***Anmerkung*** in der Randspalte). Der Lokführer kann die Bremsung des Zuges nur dann rechtzeitig einleiten, wenn die Sichtweite vor der Gefahrenstelle grösser ist als der benötigte Bremsweg:

- Unter **normalen Bedingungen** (Fahrgeschwindigkeit > 60km/h, Fahrbahnneigung ≈ 0%) sind die Bremswege sehr lang; zudem ist die Sicht an Tagen, an denen Naturereignisse eintreten, meist begrenzt. Wir empfehlen deshalb, für die Bremsungswahrscheinlichkeit p_{Br} im Normalfall vom Wert 0 auszugehen.
- Bei **Bergbahnen** sind wegen tieferer Fahrgeschwindigkeit und grösserer Fahrbahnneigung kurze Bremswege möglich (kleiner als 50 Meter). In diesem Falle schätzt man aufgrund der Geländegegebenheiten die Wahrscheinlichkeit, dass der Lokführer die Gefahrenstelle sieht und die Fahrgeschwindigkeit noch vor dem Aufprall auf mindestens 30 km/h reduzieren kann.

Anmerkung zu p_{Br}
Wir gehen von der Annahme aus, dass bis zu einer Aufprallgeschwindigkeit von 30 km/h noch Todesfälle durch die Kollision oder durch Entgleisen und Umkippen der Wagen zu erwarten sind. Wir betrachten deshalb die Länge des Bremsweges, die der Zug benötigt, um seine Anfangsgeschwindigkeit v auf 30 km/h zu reduzieren. Beginnt die Bremsung des Zuges erst innerhalb dieser Strecke vor der Gefahrenstelle, dann ist der Unfall unvermeidbar.

Nachfolgend sind einige Beispiele zur Länge des Bremsweges bei einer Neigung der Fahrbahn von maximal ± 10‰ aufgeführt (SBB 1997).

Anfangs-geschwindigkeit v	Bremsweg bei Herabsetzung auf 60 km/h	30 km/h	0 km/h
140 km/h	880 m	980 m	1020 m
120 km/h	710 m	830 m	880 m
100 km/h	600 m	760 m	820 m
80 km/h	450 m	680 m	760 m
60 km/h	–	480 m	580 m

Zuschlag für Gefälle:
von 11 bis 20‰ = + 50m
von 21 bis 30‰ = + 100m

Abzug für Steigungen:
von 11 bis 20‰ = - 50m
von 21 bis 30‰ = - 100m

S Schadenausmass: Erwartetes Ausmass eines Schadenereignisses (in Anzahl Todesfällen), bezogen auf die Personen im Zug. Man ermittelt das Schadenausmass infolge eines Unfalls durch Kollision/ Entgleisung wie folgt:

$\left[\frac{Anzahl\ Todesfälle}{Schadenereignis}\right]$

Personen im Zug: $S = \lambda_{K/E} \times \beta$

DABEI BEDEUTEN:

$\lambda_{K/E}$ **Letalität bei Kollision/Entgleisung:** Todesfallwahrscheinlichkeit im Ereignisfall (d.h. Wahrscheinlichkeit für eine verunfallte Person zu sterben). Die Letalität ist abhängig von der Fahrgeschwindigkeit (***Anmerkung*** in der Randspalte) sowie vom Gelände bei der Gefahrenstelle. In flachem Gelände ohne seitliche Hindernisse sind bei einer Entgleisung des Zuges weniger Todesfälle zu erwarten als in steilem oder gar felsigem Gelände. Daher bestimmt man die Letalität $\lambda_{K/E}$ fallspezifisch, nach einer Begehung der Gefahrenstelle und nach Kontaktnahme mit Verantwortlichen der Bahn. Zur Letalität bei Zugunfällen durch Kollision/Entgleisung gibt es nur wenige Erfahrungswerte. Wir müssen deshalb mit Schätzwerten für Standardfälle arbeiten:

Anmerkung
Bei einer Aufprallgeschwindigkeit von 30 km/h wird eine 75 kg schwere Person mit einer kinetischen Energie von 2,6 kJ nach vorne geschleudert. Dies entspricht einer Fallhöhe von 3,5 m. Eine Aufprallgeschwindigkeit von 50 km/h entspricht bereits einer Fallhöhe von 10m!

	Letalität $\lambda_{K/E}$ bei Fahrgeschwindigkeit v [km/h]		
Geländegegebenheiten	**30-50**	**50-80**	**> 80**
Normalfall: Ebenes Gelände, keine Hindernisse neben der Bahnlinie.	0.0	0.05	0.1
Ungünstige Verhältnisse: Steiles, seitlich abfallendes Gelände oder seitlich Hindernisse wie Wald, Felsvorsprünge..	0.05	0.1	0.3
Sehr ungünstige Verhältnisse: Sehr steiles, seitlich abfallendes, felsiges Gelände; Brückennähe, etc.	0.4	0.5	0.5

β **Mittlerer Besetzungsgrad:** Mittlere Anzahl Personen pro Zug. Siehe Seite 77.

$r_{i,j}$ Objektrisiko bei Kollision/Entgleisung: Todesfallrisiko infolge eines Unfalls durch Kollision/Entgleisung, verursacht durch das Szenario SZ_j und bezogen auf die Personen β, die die Gefahrenstelle (=Objekt O_i) im Zug passieren. Man verknüpft die Schadenhäufigkeit h_S (Seite 79) und das Schadenausmass S (Seite 82) zum

- **Objektrisiko $r_{i,j}$ pro Schadenereignis:**

$r_{i.j} = [h_S ; S]$ → *Ein Schadenereignis (Unfall durch Kollision/ Entgleisung) des Szenarios SZ_j verursacht auf dem gefährdeten Streckenabschnitt g (=Objekt O_i) im Mittel S Todesopfer; das Schadenereignis tritt mit einer relativen Häufigkeit von h_S (pro Jahr) ein.*

$\left[\frac{1}{Jahr}; \frac{Anzahl\ Todesfälle}{Schadenereignis}\right]$

- **Objektrisiko $r_{i,j}$ pro Jahr:**

$r_{i.j} = h_S \times S$ → *Aufgrund des Szenarios SZ_j (Unfall durch Kollision/Entgleisung) ist, bezogen auf den gefährdeten Streckenabschnitt g (=Objekt O_i), im Mittel mit $r_{i.j}$ Todesopfern pro Jahr zu rechnen.*

$\left[\frac{Anzahl\ Todesfälle}{Jahr}\right]$

Das Objektrisiko $r_{i.j}$ pro Jahr errechnet sich wie folgt:

$$r_{i.j} = h_S \times S = h_E \times p_{rA} \times (1 - p_V) \times \lambda_{K/E} \times \beta \qquad \left[\frac{Anzahl\ Todesfälle}{Jahr}\right]$$

(Erläuterung der Risikofaktoren: siehe oben)

$r_{i.j\text{-}ind}$ Individuelles Todesfallrisiko: Wahrscheinlichkeit für eine Person, die die Gefahrenstelle (O_i) **x**-mal pro Tag in einem Zug passiert, innerhalb eines Jahres durch einen Unfall infolge Kollision/Entgleisung, verursacht durch das Szenario SZ_j, umzukommen. Man berechnet das individuelle Todesfallrisiko $r_{i.j\text{-}ind}$ wie folgt:

1 Person, die die Gefahrenstelle x-mal pro Tag passiert:

$$r_{i.j-ind} = \frac{r_{i.j}}{F_Z \times \beta} \times x \qquad \left[\frac{Todesfallwahrscheinlichkeit}{Jahr}\right]$$

(Erläuterung der Risikofaktoren: siehe oben)

5.3 4.2 Sachrisiken

Als Sachrisiken untersuchen wir monetäre Risiken (Schadenerwartung in Franken), bezogen auf ein Objekt O_i. Ein Objekt ist hier ein Industrie-, Gewerbe-, Wohn- oder Ferien- (u.a.) Gebäude. Wir berücksichtigen folgende (monetären) Schadenindikatoren: Verlust von Sachwerten an Gebäudestruktur und –inhalt, Verlust durch Wertschöpfungsausfall infolge eines Betriebsunterbruchs, tote Nutztiere im Stall oder im Freien (Einheitswerte). Dazu geben wir Hinweise zur Risikoanalyse bei Objekten mit immateriellem Wert (Kulturgüter, Archive) und bei weiteren Objekten (Kunstbauten, Flugplätze). Monetäre Risiken, bezogen auf Flächen, Strassen, Bahnlinien und Leitungen, analysieren wir auf Stufe 2 (Seiten 48*ff*).

5.3 4.2.1 Monetäres Risiko bei Gebäuden

Wir ermitteln das monetäre Objektrisiko bei Gebäuden mit den in Abbildung 31 aufgeführten Risikofaktoren. Abbildung 32 (Seite 85) zeigt schematisch, wie man die Risikofaktoren zum monetären Objektrisiko $r_{i,j}$ verknüpft.

Legende

h_E	*Eintretenshäufigkeit*
I	*Intensität*
p_{rA}	*Räumliche Auftretenswahrscheinlichkeit*
W_{St}	*Strukturwert des Gebäudes*
W_{ih}	*Inhaltswert des Gebäudes*
SE_{St}	*Schadenempfindlichkeit der Gebäudestruktur*
SE_{Ih}	*Schadenempfindlichkeit des Gebäudeinhalts*
f_A	*Faktor für Gebäudeabbruchkosten*
RK	*Spezifische Resistenz-Kriterien*

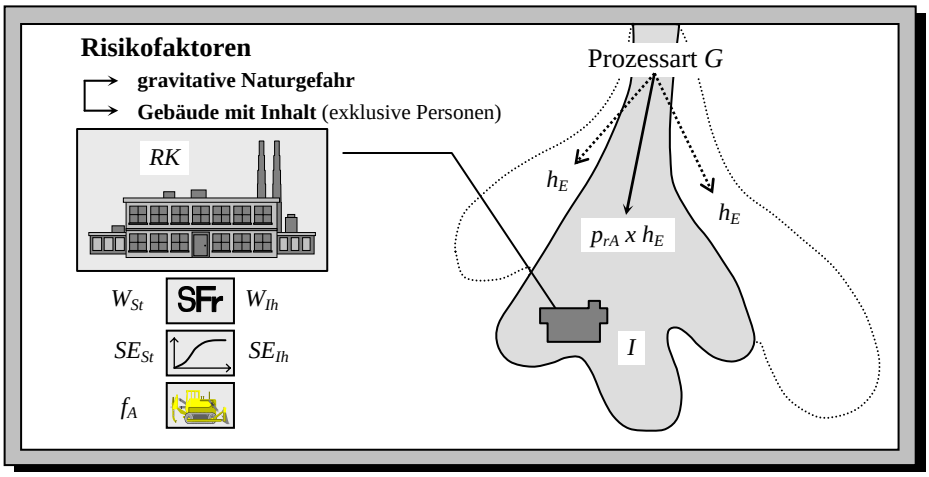


Abbildung 31: *Risikofaktoren zur Ermittlung des monetären Objektrisikos bei Gebäuden.*

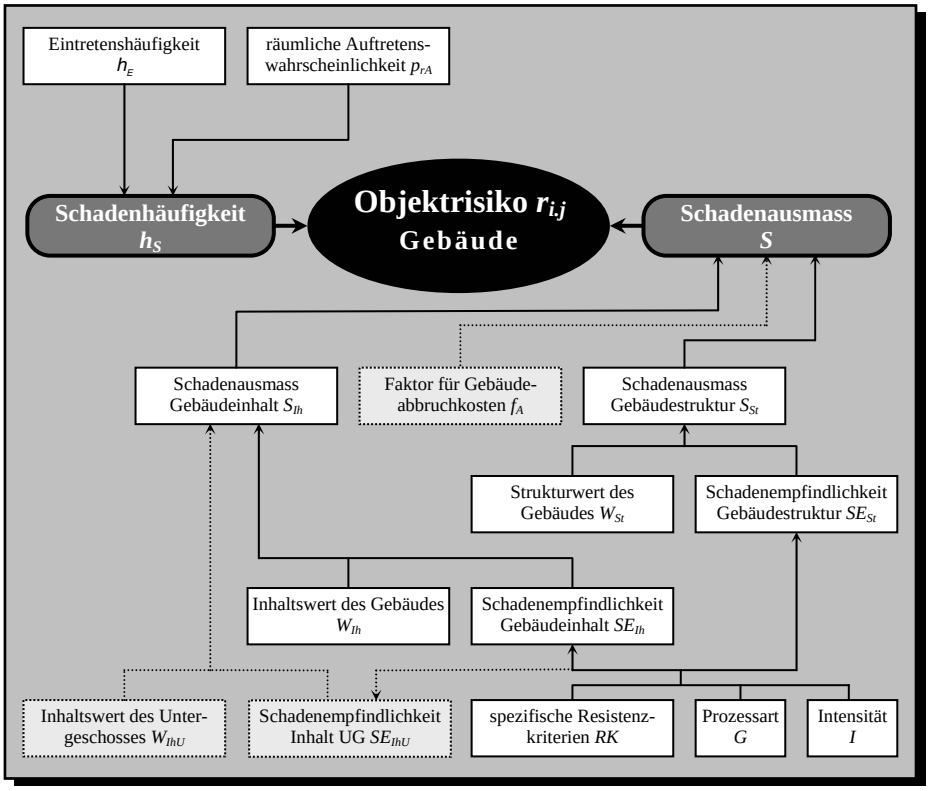


Abbildung 32: *Verknüpfung der Risikofaktoren zum monetären Objektrisiko $r_{i,j}$ bei Gebäuden.*

Im Folgenden erläutern wir die einzelnen Risikofaktoren.

h_S Schadenhäufigkeit: Statistisch erwartete Zahl der Schadenereignisse pro Jahr. Die Schadenhäufigkeit errechnet sich wie folgt:

$$h_S = h_E \times p_{rA} \qquad \left[\frac{Anzahl\ Schadenereignisse}{Jahr}\right]$$

DABEI BEDEUTEN:

h_E Eintretenshäufigkeit: Siehe Seite 25.

p_{rA} Räumliche Auftretenswahrscheinlichkeit: Siehe Seiten 58*f.*

S Schadenausmass: Erwartetes Ausmass eines Schadenereignisses (in Franken), bezogen auf ein Gebäude. Das Schadenausmass errechnet sich wie folgt:

$$S = (1 + f_A) \times S_{St} + S_{Ih} \qquad \left[\frac{Franken}{Schadenereignis}\right]$$

DABEI BEDEUTEN:

f_A **Faktor für Gebäudeabbruchkosten:** Abbruchkosten (Kosten für Abbruch, Abtransport und Deponie) in Prozent des Strukturwertes des Gebäudes. Ist infolge der Gefahreneinwirkung mit einem Abbruch des Gebäudes zu rechnen, dann sind die Kosten des Abbruchs in der Berechnung des Schadenausmasses zu berücksichtigen. Wir tun dies mit dem Faktor für Gebäudeabbruchkosten. Wir schlagen vor, für die Abbruchkosten 5% des Strukturwertes einzusetzen (***Anmerkung*** in der Randspalte):

- Ein Abbruch des Gebäudes ist wahrscheinlich: $f_A = 0{,}05$
- Ein Abbruch des Gebäudes ist nicht wahrscheinlich: $f_A = 0$

Anmerkung zu f_A
Die Abbruchkosten für ein Einfamilienhaus betragen im Mittel Fr. 20'000.- oder 5% des Strukturwertes. Die Abbruchkosten bestehen vor allem aus Abtransport- und Deponiekosten.

S_{St} **Schadenausmass Gebäudestruktur:** Ausmass eines Schadenereignisses, bezogen auf den Strukturwert des Gebäudes (in Franken). Dieses errechnet sich wie folgt:

$$S_{St} = W_{St} \times SE_{St}$$

DABEI SIND:

W_{St} **Strukturwert** des Gebäudes (in Franken). Es gibt folgende Möglichkeiten, den Strukturwert zu bestimmen:

- Versicherungswert (nur mit Einwilligung des Besitzers erhältlich)
- Mittelwerte der jeweiligen kantonalen Gebäudeversicherung oder der Vereinigung kantonaler Feuerversicherungen (VKF, Bern)
- *Monitoring 1997* (detaillierte kantonsspezifische Mittelwertangaben für Wohn- und Bürogebäude, WÜEST & PARTNER 1996)
- Schätzung aufgrund Foto und Grundfläche (z.B. aus Kataster) des Objektes durch eine *Fachstelle für Gebäudeschätzung*

Anmerkung zu SE_{St}
Die Schadenempfindlichkeit des Objektes ist von weiteren Faktoren abhängig, z.B. vom Fundament, dem Baugrund, dem Gebäudealter. Wegen der Fülle an objektspezifischen Kriterien und prozessspezifischen Einwirkungen ist es zum jetzigen Zeitpunkt nicht möglich, Standardwerte für die Beurteilung der Schadenempfindlichkeit anzugeben. Deshalb muss der Risikoanalytiker die Schadenempfindlichkeit nach eigenem Ermessen beurteilen.

SE_{St} **Schadenempfindlichkeit Gebäudestruktur** (mittlerer Schadengrad): Schadensumme in Prozent des Strukturwertes des Gebäudes (Wert zwischen 0 und 1; 1 entspricht einem Totalschaden). Zur Bestimmung der Schadenempfindlichkeit Gebäudestruktur berücksichtigt man neben den Eigenschaften der Gefährdung hauptsächlich folgende Resistenzkriterien (RK) (***Anmerkung*** in der Randspalte):

Resistenzkriterien:

- **Bauweise**: Wir ordnen das Untersuchungsobjekt einer der folgenden Gebäudekategorien zu:
  0 Leichtestbauweisen (einfache Holzbauten, Caravan)
  1 Leichtbauweisen (Rundholzbauten oder Ständerbauweise mit Verschalung)
  2 Gemischte Bauten (Mauer und Holz; Chalets)
  3 Mauerbauten
  4 Betonbauten armiert
  5 Verstärkte Bauten (Dimensionierungsgrundlagen abklären)

  Für diese Gebäudekategorien sind in den *Tabellen 3.10* und *3.11* in *Teil II* (*Seiten 124f*) Schätzwerte zur Schadenempfindlichkeit bei Lawinen und bei Sturzprozessen aufgeführt. Wir zeigen anhand dieser Beispiele die bestehenden Schwierigkeiten beim Erstellen von standardisierten Schadenfunktionen.
- **Gebäudehöhe**: Man schätzt aufgrund der Gebäudehöhe und der möglichen Einwirkung des Gefahrenprozesses den Anteil der betroffenen Stockwerke.
- **Objektschutzmassnahmen** (Lawinenspaltkeile, Hochwasserschutz durch erhöhte Bauweise u.a.): Man beurteilt die verbleibende Schadenempfindlichkeit.

Ist infolge der Gefahreneinwirkung mit einem Abbruch des Gebäudes zu rechnen, dann setzt man $SE_{St} = 1$.

S_{Ih} **Schadenausmass Gebäudeinhalt:** Ausmass eines Schadenereignisses, bezogen auf den Inhaltswert des Gebäudes (in Franken). Man berechnet das Schadenausmass Gebäudeinhalt wie folgt:

$$S_{Ih} = W_{Ih} \times SE_{Ih}\left(+W_{IhU} \times SE_{IhU}\right)$$

DABEI SIND:

W_{Ih} **Inhaltswert des Gebäudes** (in Franken). Bei besonders hohen Inhaltswerten (insbesondere bei Gewerbebauten) ermittelt man deren Wert gesondert. Dazu muss man den Versicherungswert anfordern (nur mit Einwilligung des Besitzers erhältlich) oder den Inhaltswert zusammen mit dem Besitzer schätzen.

SE_{Ih} **Schadenempfindlichkeit Gebäudeinhalt:** Schadensumme in Prozent des Inhaltswertes des Gebäudes (Wert zwischen 0 und 1; 1 entspricht einem Totalschaden). Zur Bestimmung der Schadenempfindlichkeit Gebäudeinhalt berücksichtigt man folgende Resistenzkriterien:

Resistenzkriterien	Relevant bezüglich folgender Naturgefahren
Fenster bergseits (diese sind u.U. verstärkt → Dimensionierungsgrundlagen?)	Lawinen, Hochwasser fliessend, Murgänge, Sturzprozesse
Unterkellerung (Öffnungen berücksichtigen)	Hochwasser fliessend und stehend, Murgänge, Lawinen, Rutschungen
Erdgeschoss erhöht	Murgänge, Hochwasser fliessend und stehend

Ein weiterer wichtiger Faktor zur Schätzung der Schadenempfindlichkeit der Inhaltswerte ist die Verteilung dieser Werte im Objekt, also deren konkrete Lage. Dazu befragt man den Besitzer. Wir empfehlen, den Anteil des Inhaltswertes der betroffenen Stockwerke am Inhaltswert des gesamten Objektes zu schätzen.

W_{IhU} **Inhaltswert des Untergeschosses** (in Franken). Sind im Untergeschoss des Gebäudes hohe Werte vorhanden, dann weist man diese vor allem in Bezug auf Hochwassergefahren getrennt aus (der Besitzer muss die Angaben dazu liefern).

SE_{IhU} **Schadenempfindlichkeit Inhalt Untergeschoss:** Schadensumme in Prozent des Inhaltswertes im Untergeschoss des Gebäudes (Wert zwischen 0 und 1; 1 entspricht einem Totalschaden). Zur Bestimmung der Schadenempfindlichkeit des Inhaltes im Untergeschoss sind vor allem Öffnungen des Untergeschosses und deren Lage (z.B. bergseits) zu berücksichtigen.

$r_{i,j}$ Objektrisiko: Monetäres Risiko, bezogen auf das Untersuchungs-Objekt O_i aufgrund des Szenarios SZ_j. Man verknüpft die Schadenhäufigkeit h_S und das Schadenausmass S (Seite 85) zum

- **Objektrisiko $r_{i,j}$ pro Schadenereignis:**

$r_{i.j} = [h_S ; S]$ $\left[\frac{1}{Jahr} ; \frac{Franken}{Schadenereignis}\right]$	→ *Ein Schadenereignis des Szenarios SZ_j verursacht, bezogen auf das Objekt O_i, im Mittel S Franken Sachschaden; das Schadenereignis tritt mit einer relativen Häufigkeit von h_S (pro Jahr) ein.*

- **Objektrisiko $r_{i,j}$ pro Jahr:**

$r_{i.j} = h_S \times S$ $\left[\frac{Franken}{Jahr}\right]$	→ *Aufgrund des Szenarios SZ_j ist, bezogen auf das Objekt O_i, im Mittel mit $r_{i.j}$ Franken Sachschaden pro Jahr zu rechnen.*

Das Objektrisiko $r_{i.j}$ pro Jahr errechnet sich wie folgt:

$$r_{i.j} = h_S \times S = h_E \times p_{rA} \times (1 + f_A) \times S_{St} + S_{Ih} \quad \left[\frac{Franken}{Jahr}\right]$$

(Erläuterung der Risikofaktoren: siehe oben)

5.3 4.2.2 Monetäres Risiko durch Betriebsunterbruch

Handelt es sich beim Objekt O_i um ein Industrie-, Gewerbe- oder Dienstleistungsgebäude, dann ermittelt man zusätzlich zum monetären Risiko beim Gebäude (Kapitel 5.3 4.2.1) auch die möglichen Kosten eines Betriebsunterbruches infolge der Gefahreneinwirkung. Man schätzt – zusammen mit dem Besitzer des Betriebes - die Betriebsunterbruchsdauer und die Anzahl betroffener Arbeitsstellen. Aufgrund dieser Schadenindikatoren ermittelt man die Kosten infolge entgangener Wertschöpfung; diese stehen für die Betriebsunterbruchskosten. Wir vernachlässigen hier die Kosten infolge verringerter Konkurrenzfähigkeit und weiterer negativer Auswirkungen.

Wir ermitteln das monetäre Objektrisiko durch Betriebsunterbruch mit den in Abbildung 33 aufgeführten Risikofaktoren. Abbildung 34 zeigt schematisch, wie man die Risikofaktoren zum Objektrisiko $r_{i,j}$ verknüpft.

Legende

G	*Prozessart*
h_E	*Eintretenshäufigkeit*
I	*Intensität*
p_{rA}	*Räumliche Auftretenswahrscheinlichkeit*
SE_{St}	*Schadenempfindlichkeit Gebäudestruktur*
T_{BU}	*Betriebsunterbruchsdauer*
N_A	*Anzahl betroffener Arbeitsplätze*
X	*Kosten infolge entgangener Wertschöpfung pro Arbeitsplatz und Tag*

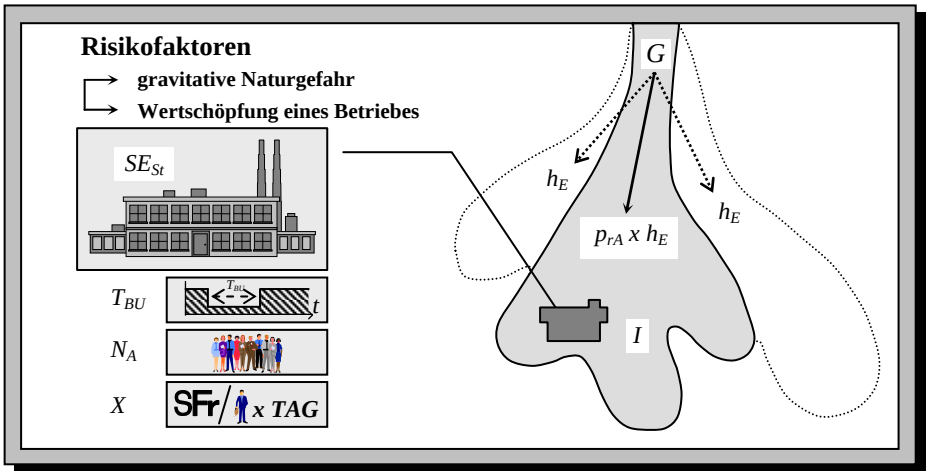


Abbildung 33: *Risikofaktoren zur Ermittlung des monetären Objektrisikos durch Betriebsunterbruch.*

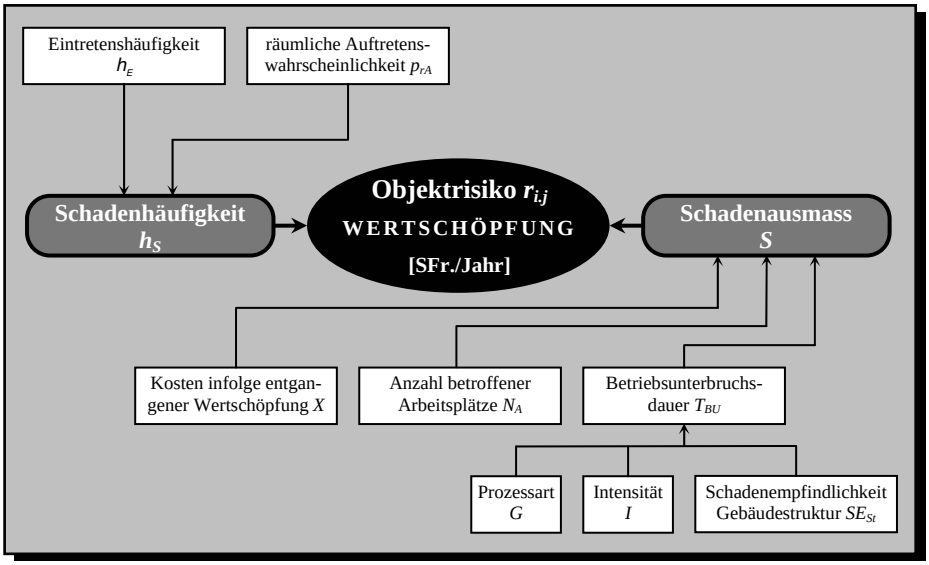


Abbildung 34: *Verknüpfung der Risikofaktoren zum monetären Objektrisiko $r_{i,j}$ durch Betriebsunterbruch.*

Im Folgenden erläutern wir die einzelnen Risikofaktoren.

h_S Schadenhäufigkeit: Statistisch erwartete Zahl der Schadenereignisse pro Jahr. Die Schadenhäufigkeit errechnet sich wie folgt:

$$h_S = h_E \times p_{rA} \qquad \left[\frac{Anzahl\ Schadenereignisse}{Jahr}\right]$$

Dabei bedeuten:

h_E Eintretenshäufigkeit: Siehe Seite 25.

p_{rA} Räumliche Auftretenswahrscheinlichkeit: Siehe Seiten 58*f*.

S Schadenausmass: Erwartetes Ausmass eines Schadenereignisses durch Betriebsunterbruch (in Franken). Das Schadenausmass für Betriebsunterbruch errechnet sich wie folgt:

$$S = T_{BU} \times N_A \times X \qquad \left[\frac{Franken}{Schadenereignis}\right]$$

DABEI BEDEUTEN:

T_{BU} Betriebsunterbruchsdauer: Dauer des Betriebsunterbruchs in Anzahl Tagen. Man schätzt die Betriebsunterbruchsdauer für verschiedene Schadenszenarien (z.B. 'teilweise' oder 'totale Betriebseinstellung') – in Funktion von Intensität I und Schadenempfindlichkeit Gebäudestruktur SE_{St} (siehe Seiten 86*f*) - nach Befragung des Besitzers.

N_A Anzahl betroffener Arbeitsplätze: Man schätzt die Anzahl betroffener Arbeitsplätze für verschiedene Schadenszenarien (z.B. 'teilweise' oder 'totale Betriebseinstellung') nach Befragung des Besitzers.

X Kosten infolge entgangener Wertschöpfung pro Arbeitsplatz und Tag: Ein Tag Betriebsunterbruch verursacht pro betroffenen Arbeitsplatz Kosten infolge entgangener Wertschöpfung in der Höhe von Fr. X.-. Die Kosten X ermittelt man durch Befragung des Objektbesitzers. Man kann für die Kosten X auch einen Pauschalwert einsetzen (Vorschlag: X = 1000 Franken).

$r_{i,j}$ Objektrisiko: Monetäres Risiko infolge eines Betriebsunterbruchs, bezogen auf das Objekt O_i aufgrund des Szenarios SZ_j. Man verknüpft die Schadenhäufigkeit h_S und das Schadenausmass S zum

- **Objektrisiko $r_{i,j}$ pro Schadenereignis:**

$$r_{i.j} = [h_S; S] \qquad \left[\frac{1}{Jahr}; \frac{Franken}{Schadenereignis}\right]$$

→ *Ein Schadenereignis des Szenarios SZ_j verursacht am Objekt O_i im Mittel S Franken Schaden infolge eines Betriebsunterbruchs; das Schadenereignis tritt mit einer relativen Häufigkeit von h_S (pro Jahr) ein.*

- **Objektrisiko $r_{i,j}$ pro Jahr:**

$r_{i.j} = h_S \times S$ $\left[\frac{Franken}{Jahr}\right]$	→ *Aufgrund des Szenarios SZ_j ist, bezogen auf das Objekt O_i, im Mittel mit $r_{i,j}$ Franken Schaden pro Jahr infolge eines Betriebsunterbruchs zu rechnen.*

Das Objektrisiko $r_{i,j}$ pro Jahr errechnet sich wie folgt:

$\left[\frac{Franken}{Jahr}\right]$

$$r_{i.j} = h_S \times S = h_E \times p_{rA} \times T_{BU} \times N_A \times X$$

(Erläuterung der Risikofaktoren: siehe oben)

5.3 4.2.3 Monetäres Risiko durch Verlust von Nutztieren

Wir ermitteln das monetäre Objektrisiko hinsichtlich des Nutztierbestandes in Ställen oder im Freien mit den in Abbildung 35 aufgeführten Risikofaktoren. Abbildung 36 zeigt schematisch, wie man die Risikofaktoren zum Objektrisiko $r_{i,j}$ verknüpft.

Legende

G	*Prozessart*
h_E	*Eintretenshäufigkeit*
I	*Intensität*
p_{rA}	*Räumliche Auftretenswahrscheinlichkeit*
p_{zK}	*Zeitliche Koinzidenzwahrscheinlichkeit*
SE_{St}	*Schadenempfindlichkeit Gebäudestruktur*
N_{Ti}	*Anzahl exponierter Tiere*
λ_{Ti}	*Letalität (Sterbewahrscheinlichkeit)*
W_{Ti}	*Einheitswert pro Nutztier*

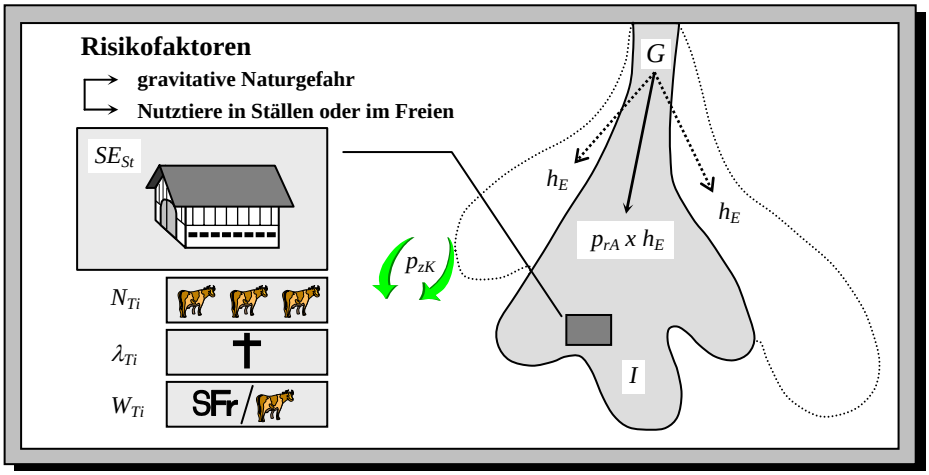


Abbildung 35: *Risikofaktoren zur Ermittlung des monetären Objektrisikos hinsichtlich des Nutztierbestandes in Ställen oder im Freien.*

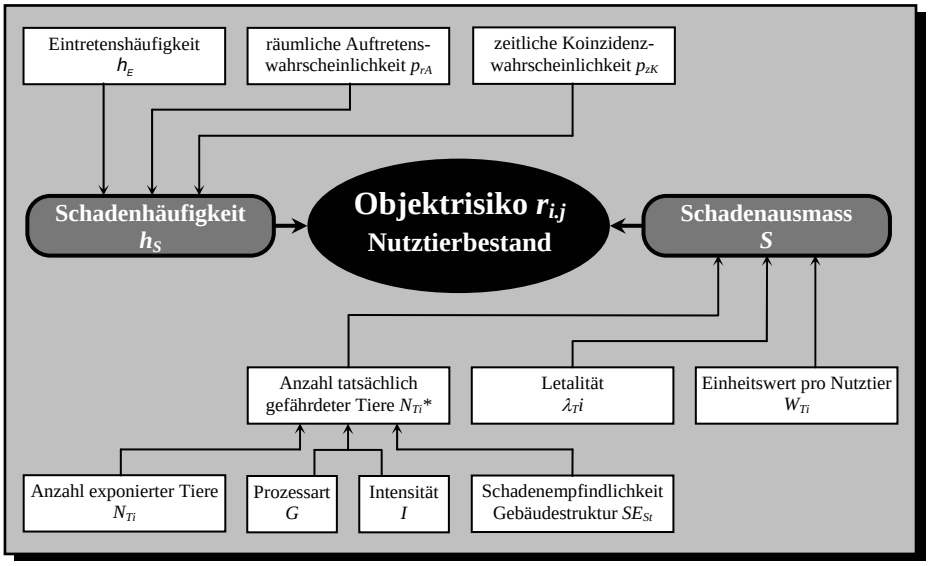


Abbildung 36: *Verknüpfung der Risikofaktoren zum monetären Objektrisiko $r_{i,j}$ hinsichtlich des Nutztierbestandes in Ställen oder im Freien.*

Im Folgenden erläutern wir die einzelnen Risikofaktoren.

h_S Schadenhäufigkeit: Statistisch erwartete Zahl der Schadenereignisse pro Jahr. Die Schadenhäufigkeit errechnet sich wie folgt:

$$h_S = h_E \times p_{rA} \times p_{zK} \qquad \left[\frac{Anzahl\ Schadenereignisse}{Jahr}\right]$$

DABEI BEDEUTEN:

h_E Eintretenshäufigkeit: Siehe Seite 25.

p_{rA} Räumliche Auftretenswahrscheinlichkeit: Siehe Seiten 58*f.*

p_{zK} Zeitliche Koinzidenzwahrscheinlichkeit: Wahrscheinlichkeit der zeitlichen Koinzidenz von Gefahrenprozess und Exposition der Tiere. Die Ermittlung der zeitlichen Koinzidenzwahrscheinlichkeit bei Tieren entspricht dem Vorgehen zur Ermittlung der zeitlichen Koinzidenzwahrscheinlichkeit p_{zK} bei Personen (siehe Seiten 63*ff*).

S Schadenausmass: Erwartetes Ausmass eines Schadenereignisses (in Franken), bezogen auf den Nutztierbestand in Ställen oder im Freien. Das Schadenausmass für Nutztiere in Ställen oder im Freien errechnet sich wie folgt:

Nutztiere im Freien: $S = N_{Ti} \times \lambda_{Ti} \times W_{Ti}$ $\left[\frac{Franken}{Schadenereignis}\right]$

Nutztiere in Ställen: $S = N_{Ti}\,^* \times \lambda_{Ti} \times W_{Ti}$ $\left[\frac{Franken}{Schadenereignis}\right]$

DABEI BEDEUTEN:

N_{Ti} **Anzahl exponierter Tiere:** Mittlere Anzahl Tiere, die im Freien oder im Stall gehalten werden. Man erfragt die Anzahl exponierter Tiere beim Besitzer.

N_{Ti}* **Anzahl tatsächlich gefährdeter Tiere:** Mittlere Anzahl Tiere, die direkt vom Gefahrenprozess betroffen sind. Nicht alle Tiere N_{Ti}, die im Stall gehalten werden, sind gleich gefährdet. Wir nehmen an, dass die Anzahl tatsächlich gefährdeter Tiere direkt mit der Schadenempfindlichkeit der Gebäudestruktur SE_{St} (Seiten 86*f*) korreliert (***Anmerkung*** in der Randspalte):

$$N_{Ti}^* = N_{Ti} \times SE_{St}$$

Bei Tieren im Freien sowie bei Überschwemmungen ist $N_{Ti}^* = N_{Ti}$.

Anmerkung
Ausnahme bei Überschwemmungen: Anzahl gefährdeter Tiere = Anzahl exponierter Tiere.

λ_{Ti} **Letalität:** Todesfallwahrscheinlichkeit im Ereignisfall (d.h. Wahrscheinlichkeit, dass ein vom Gefahrenprozess getroffenes Tier stirbt). Wir nehmen an, dass die Letalität λ_{Ti} für Tiere doppelt so gross ist wie die Letalität λ für Menschen (λ aus *Tabellen 3.1* bis *3.4*, *Teil II*, *Seiten 116f*):

$$\lambda_{Ti} = 2 \times \lambda \leq 1$$ (Wenn $2 \times \lambda > 1$, dann ist λ_{Ti} auf 1 abzurunden!)

W_{Ti} **Einheitswert pro Nutztier:** Die Einheitswerte für die wichtigsten Nutztiere sind (Werte von 1997): Milchkuh: Fr. 1'700.-, Pferd: Fr. 2'300.-, Sportpferd: Fr. 8'000.-, Mastschwein: Fr. 300.-, Schaf: Fr. 250.-, Ziege: Fr. 200.-. Diese Werte werden alljährlich vom Schweizerischen Bauernverband (SBV 1997) aktualisiert und können dort bezogen werden.

$r_{i,j}$ Objektrisiko: Monetäres Risiko, bezogen auf den Nutztierbestand im Objekt O_i (Stall oder im Freien) aufgrund des Szenarios SZ_j. Man verknüpft die Schadenhäufigkeit h_S und das Schadenausmass S (Seite 93) zum

- **Objektrisiko $r_{i,j}$ pro Schadenereignis:**

$$r_{i.j} = [h_S ; S] \qquad \left[\frac{1}{Jahr}; \frac{Franken}{Schadenereignis}\right]$$

→ *Ein Schadenereignis des Szenarios SZ_j verursacht im Mittel S Franken Verlust an Nutztieren, die im Objekt O_i gehalten werden; das Schadenereignis tritt mit einer relativen Häufigkeit von h_S (pro Jahr) ein.*

- **Objektrisiko $r_{i,j}$ pro Jahr:**

$$r_{i.j} = h_S \times S \qquad \left[\frac{Franken}{Jahr}\right]$$

→ *Aufgrund des Szenarios SZ_j ist, bezogen auf das Objekt O_i, im Mittel mit $r_{i.j}$ Franken Verlust an Nutztieren pro Jahr zu rechnen.*

Das Objektrisiko $r_{i,j}$ pro Jahr errechnet sich wie folgt:

Nutztiere im Freien: $r_{i.j} = h_S \times S = h_E \times p_{rA} \times p_{zK} \times N_{Ti} \times \lambda_{Ti} \times W_{Ti}$ $\left[\frac{Franken}{Jahr}\right]$

Nutztiere in Ställen: $r_{i.j} = h_S \times S = h_E \times p_{rA} \times p_{zK} \times N_{Ti} * \times \lambda_{Ti} \times W_{Ti}$ $\left[\frac{Franken}{Jahr}\right]$

(Erläuterung der Risikofaktoren: siehe oben)

5.3 4.2.4 Sachrisiken bei Objekten mit immateriellem Wert und bei weiteren Objekten

Objekte mit immateriellem Wert sind hier zum Beispiel Kulturgüter oder Archive von kantonaler und nationaler Bedeutung. Das Vorgehen zur Risikoanalyse bei diesen Objekten entspricht dem Vorgehen gemäss Kapitel 5.3 4.2.1 ('Monetäres Risiko bei Gebäuden'), mit dem Unterschied, dass man für den Struktur- oder Inhaltswert des Gebäudes unter Umständen keinen Wert in Franken einsetzen kann. Wir schlagen vor, einen Parameter *"W"* statt des Wertes in Franken einzusetzen. Das Objektrisiko $r_{i.j}$ steht dann für den Verlust in Prozent am *"W"* des Objektes aufgrund eines Szenarios SZ_j. *"W"* kann nachträglich durch einen Wert in Franken ersetzt werden.

Weitere Objekte sind hier alle Objekte, die man keiner der bisher erläuterten Objektarten zuteilen konnte und die aufgrund ihres hohen Wertes oder ihrer hohen Schadenempfindlichkeit einer Risikoanalyse bedürfen; zum Beispiel Kunstbauten (Brücken, Viadukte, Galerien) oder Flugplätze.

Das Vorgehen zur Risikoanalyse bei diesen Objekten folgt dem generellen Schema (siehe dazu Kapitel 5.3 4.2.1 *'Monetäres Risiko bei Gebäuden',* Seiten 84*ff*):

1. **Schadenhäufigkeit** h_S ermitteln.
2. **Schadenausmass** S ermitteln ($S = W_O$ x SE_O):
   - **Objektwert** W_O zuordnen.
   - **Schadenempfindlichkeit** SE_O des Objektes in Funktion der Gefahreneinwirkung abschätzen (als Grad der Schädigung in Prozent des Objektwertes W_O; Werte zwischen 0 und 1).
3. **Risiko** r_O als Funktion von Schadenhäufigkeit h_S und Schadenausmass S bestimmen.

5.3 4.3 Folgerisiken

Folgerisiken sind hier Risiken, die erst als Folge der Einwirkung eines Gefahrenprozesses entstehen und Sachwerte, Personen oder ökologische Werte gefährden können. Ein Beispiel ist die Überschwemmung des Lago Maggiore im Jahr 1993: Damals rissen in Locarno bei vielen Heizöl-Tanks die Leitungen zu den Pumpen, da die Tanks durch den Auftrieb im Wasser aus der Verankerung gehoben wurden; das Heizöl lief aus und verursachte ökonomische (z.B. Ölentfernung) und ökologische (z.B. Fischsterben) Schäden. Solche Risiken lassen sich nur mit grossem Aufwand abschätzen; sie werden hier nicht behandelt.

Spezielle Aufmerksamkeit muss jedoch den Folgerisiken von Betrieben mit gefährlichen chemischen Stoffen zukommen. Seit 1991 besteht in der Schweiz die Verordnung über den Schutz vor Störfällen (Störfallverordnung, StFV 1991). Die Behörde kann aufgrund der Störfallverordnung Betriebe mit gefährlichen chemischen Stoffen dazu verpflichten, eine Risikoanalyse durchzuführen. Dabei sind gemäss Art. 3 Abs. 2 StFV auch umgebungsbedingte Ursachen für Störfälle zu berücksichtigen. Als 'umgebungsbedingte Ursachen' werden im Handbuch I zur Störfallverordnung (BUWAL 1991) unter anderen naturbedingte Ereignisse genannt.

Die Analyse dieser Risiken folgt dem Vorgehen gemäss Handbuch I zur Störfallverordnung StFV (BUWAL 1991). Sie ist vom Inhaber des Betriebes vorzunehmen, bzw. in Auftrag zu geben. Diese Praxishilfe kann Aufschlüsse über die Gefahreneinwirkung geben. Man kann die Resultate der Risikoanalyse (gemäss BUWAL 1991) in die Berechnung des Kollektivrisikos gemäss dieser Praxishilfe integrieren (siehe Seiten 97*f*).

5.3 5. Risikomatrix

Die Risikomatrizen geben eine vollständige numerische Beschreibung der Risikocharakteristik des betrachteten Systems und zeigen die Wirkungen der Szenarien auf die gefährdeten Personen und Objekte.

Man kann die errechneten Objektrisiken als $r_{i,j} = [h_S;S]$ (Objektrisiko pro Schadenereignis) oder als $r_{i,j} = h_S \; x \; S$ (Objektrisiko pro Jahr) in die Risikomatrix einfügen. Abbildung 37 (Seite 98) zeigt, wie man eine Risikomatrix für Objektrisiken $r_{i,j} = h_S \; x \; S$ erstellt (***Anmerkung*** in der Randspalte). Mit diesen Risikomatrizen stellt man das **gesamte Objektrisiko** $\boldsymbol{r_i}$ oder das **Kollektivrisiko** $\boldsymbol{R_l}$ ($\rightarrow$ jährlicher statistischer Schadenerwartungswert) bezogen auf die Objektgruppe OG_l des Systems dar und bewertet die Risiken gemäss Kapitel 7.3 (Seiten 107*ff*).

Anmerkung
Wir erläutern das Erstellen von Risikomatrizen für Objektrisiken $r_{i,j} = [h_S;S]$ (Objektrisiko pro Schadenereignis) auf Stufe 2 (Seiten 52f). Das Vorgehen ist auch auf Stufe 3 anwendbar.

Das Vorgehen (zu Abbildung 37, Seite 98)**:**

1. Alle **Objektrisiken** $\boldsymbol{r_{i,j}} = h_S \; x \; S$, getrennt nach Personen- und Sachrisiken und allenfalls ökologischen Folgerisiken, in einer Risikomatrix zusammenfassen. Wir nennen die Gruppe der **Objekte** $\boldsymbol{O_{1,..,n}}$ einer Risikomatrix Objektgruppe OG_l.

2. Für jedes **Objekt** $\boldsymbol{O_i}$ die szenarienspezifischen Objektrisiken $r_{i,j}$ zum **gesamten Objektrisiko** $\boldsymbol{r_i}$ summieren (= Risiko für das Objekt O_i aufgrund aller Szenarien $SZ_{1,..,m}$):

   $$r_i = \sum_{j=1}^{m} r_{i.j}$$

   Man beschreibt r_i zum Beispiel wie folgt: *Aufgrund der Szenarien $SZ_{1,..,m}$ ist, bezogen auf das Objekt O_i, im Mittel mit r_i Todesopfern bzw. Franken Sachschaden pro Jahr zu rechnen.*

3. Für jede ***Objektgruppe*** $\boldsymbol{OG_l}$ alle **szenarienspezifischen Kollektivrisiken** $\boldsymbol{R_{l,j}}$ ($R_{l,j}$ = Kollektivrisiko, bezogen auf die Objektgruppe OG_l, aufgrund des Szenarios SZ_j) ermitteln:

   $$R_{l.j} = \sum_{i=1}^{n} r_{i.j}$$

   Man beschreibt $R_{l,j}$ zum Beispiel wie folgt: *Aufgrund des Szenarios SZ_j ist, bezogen auf die Objektgruppe OG_l, im Mittel mit $R_{l,j}$ Todesopfern bzw. Franken Sachschaden pro Jahr zu rechnen.*

4. Die szenarienspezifischen Kollektivrisiken $R_{l,j}$ zum **Kollektivrisiko** $\boldsymbol{R_l}$ **des Systems** summieren (R_l = Kollektivrisiko, bezogen auf die Objektgruppe OG_l, aufgrund der Szenarien $SZ_{1,..,m}$).

   $$R_l = \sum_{j=1}^{m} R_{l.j} = \sum_{i=1}^{n} r_i$$

Man beschreibt R_l zum Beispiel wie folgt: *Aufgrund der Szenarien $SZ_{1,..,m}$ ist, bezogen auf die Objektgruppe OG_l, im Mittel mit R_l Todesopfern bzw. Franken Sachschaden pro Jahr zu rechnen.*

Man kann nun das **gesamte Objektrisiko r_i**, das **szenariospezifische Kollektivrisiko $R_{l,j}$** oder das **Kollektivrisiko R_l des Systems** gemäss Kapitel 7.3 (Seiten 107*ff*) bewerten.

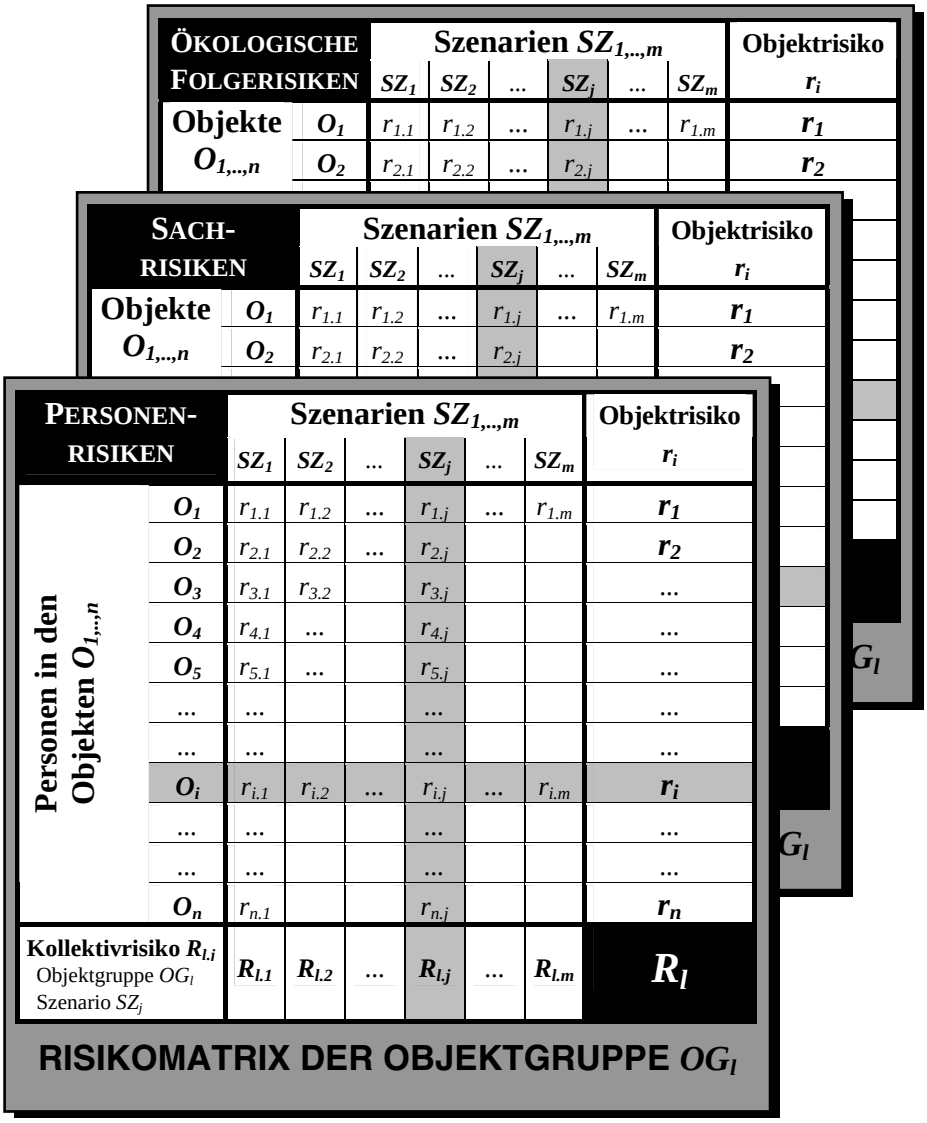


Abbildung 37: *Risikomatrizen (in Anlehnung an MERZ et al. 1995): Zusammenfassung der szenarienspezifischen Objektrisiken $r_{i.j} = h_S \times S$ (Objektrisiken pro Jahr) zum gesamten Objektrisiko r_i, zum Kollektivrisiko $R_{l.j}$ eines Szenarios SZ_j oder zum Kollektivrisiko R_l, bezogen auf die Objektgruppe OG_l (**Anmerkung** in der Randspalte).*

Anmerkung

Anstelle der Objektrisiken $r_{i.j}$ kann man auch die individuellen Todesfallrisiken $r_{i.j\text{-}ind}$ in die Risikomatrix einfügen. Dann errechnet man die objektspezifischen individuellen Todesfallrisiken $r_{i\text{-}ind}$ (aufgrund aller Szenarien $SZ_{1,..,m}$) für eine Person, die sich im Objekt O_i aufhält. Die individuellen Todesfallrisiken $r_{i\text{-}ind}$ sind Grundlage zur Risikobewertung gemäss Kapitel 7.1 (Seiten 102f).

6. UNSCHÄRFEN DER QUANTITATIVEN RISIKOANALYSE

Die quantitative Risikoanalyse gemäss Stufe 2 und Stufe 3 besteht aus mehreren Arbeitsschritten. Wir arbeiten mit unscharfen Grössen (Variablen), deshalb ist das Resultat jedes Arbeitsschrittes mit Unschärfen behaftet. Diese wirken sich auf das Resultat des nächsten Arbeitsschrittes aus und pflanzen sich fort bis zum Endresultat, dem Risiko.

Das Risiko wird in Franken oder Anzahl Todesopfer gemessen. Diesen Wert dürfen wir nicht als absolute Grösse nehmen, wir müssen ihn immer im Zusammenhang mit der Streuung der einzelnen Variablen betrachten. Das errechnete Risiko entspricht also der realen Situation nur bedingt – das ist vor allem bei der Risikokommunikation (siehe Seite 13, Randspalte) zu beachten. Trotzdem ist die Risikoanalyse wertvoll: Wichtig ist nämlich, das Risiko einheitlich zu bestimmen, damit man verschiedene Risiken miteinander vergleichen und hinsichtlich weiterer Massnahmen beurteilen kann.

Abbildung 38 (Schadenhäufigkeit), Abbildung 39 (Schadenausmass) und Abbildung 40 (Todesfallrisiken auf Verkehrsachsen) zeigen, mit welchen Unschärfen zu rechnen ist und wie sich die Stufenwahl (Stufen 2 oder 3) auf die Unschärfen auswirkt (Diagramme in Anlehnung an BEROGGI/KRÖGER 1993).

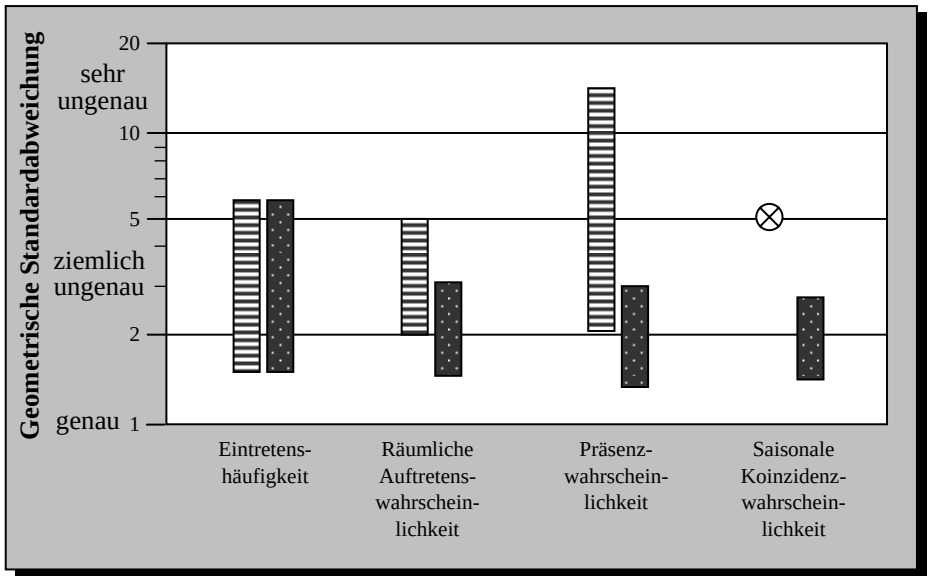


Abbildung 38: *Geschätzte Grössenordnungen der Unschärfen bei der Ermittlung der Schadenhäufigkeit* h_S.

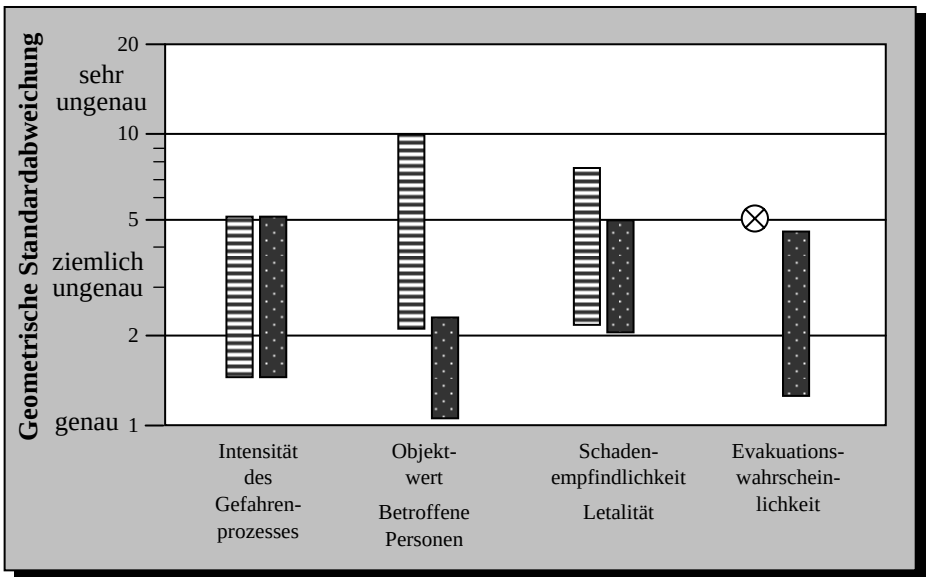


Abbildung 39: *Geschätzte Grössenordnungen der Unschärfen bei der Ermittlung des Schadenausmasses S.*

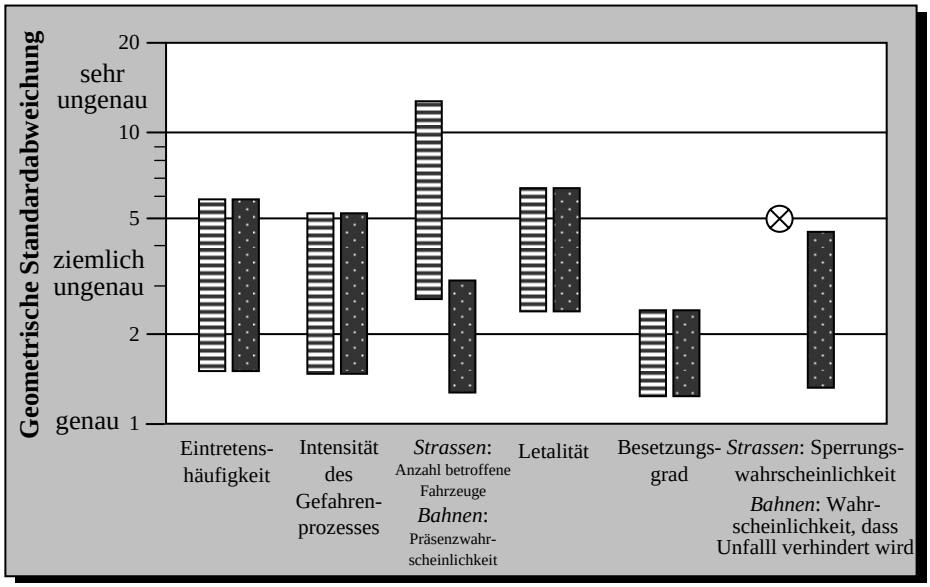


Abbildung 40: *Geschätzte Grössenordnungen der Unschärfen bei der Ermittlung von Todesfallrisiken auf Strassen (Stufen 2 und 3) und bei Bahnen (nur Stufe 3).*

Wegen fehlender Erfahrungswerte gründen viele der in den Abbildungen 38 bis 40 aufgeführten Variablen auf Schätzungen. Die Variablen lassen sich durch praktische Erfahrungen mit der Risikoanalyse sowie durch systematische Erfassung von Schadendaten und gewissenhafte Führung von Ereigniskatastern später genauer bestimmen (siehe dazu Kapitel 8.).

7. DIE RISIKOBEWERTUNG

Die Frage der ***Risikobewertung*** – "Wie sicher ist sicher genug?" - kann nicht allein aufgrund wissenschaftlich-rationaler Risikoabschätzungen beantwortet werden; sie ist vor allem auch Inhalt gesellschaftlicher und politischer Diskussionen (siehe Abbildung 41). Während wissenschaftliche Risikoanalysen das Risiko möglichst genau herzuleiten versuchen, stehen für die Risikowahrnehmung und -bewertung der Laien eher qualitative Merkmale im Vordergrund: zum Beispiel die Freiwilligkeit der Risikoübernahme, eigene Kontrollmöglichkeiten über das Risiko und vor allem das Katastrophenpotential (***Anmerkung*** in der Randspalte). Es gilt, im Prozess der Risikobewertung einen Konsens zwischen Expertenwissen und Risikowahrnehmung der Laien anzustreben.

Risikobewertung
Angesichts der Ergebnisse der Risikoanalyse beurteilt man, Vor- und Nachteile abwägend, welche Risiken akzeptierbar sind bzw. akzeptiert werden müssen. Der Begriff "Risikobewertung" wird oft synonym mit "Risikobeurteilung" verwendet.

Anmerkung
Katastrophenpotential: Schlimmstmöglicher Unfall, unabhängig von der Wahrscheinlichkeit des Eintreffens. Die Bevölkerung gibt seltenen Grossunfällen (z.B. einem Zugsunglück mit 20 Toten) mehr Gewicht als häufigen kleineren Unfällen (z.B. 20 Verkehrsunfällen mit je einem Toten). Diesem Umstand begegnet man in den Sicherheitswissenschaften häufig mit einer Aversions-Funktion (subjektiv festgelegte Funktion zur überproportionalen Gewichtung von Schäden aus Grossunfällen; siehe dazu MERZ et al. 1995, SCHNEIDER 1996).

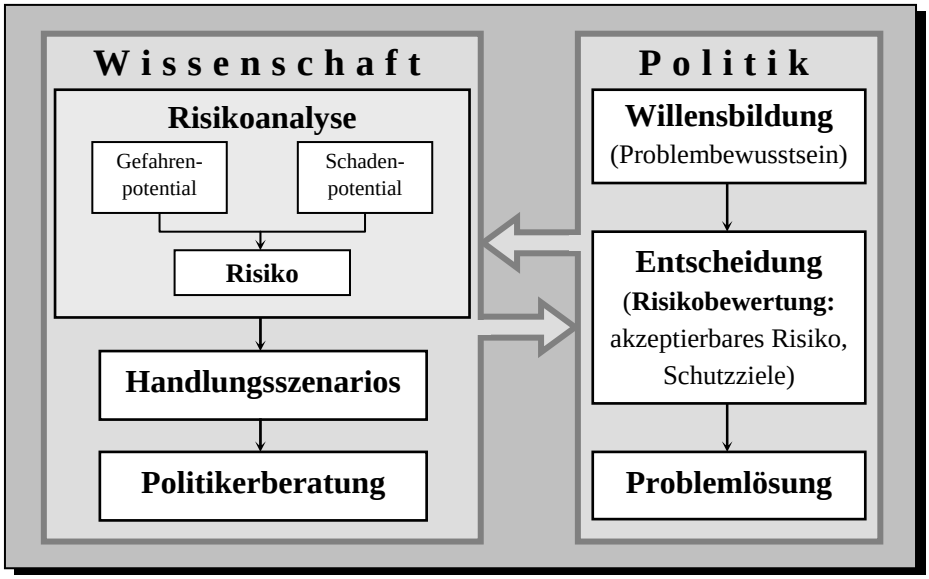


Abbildung 41: *Die Risikobewertung im Wirkungsfeld zwischen Wissenschaft und Politik (in Anlehnung an BORG/GRUNWALD 1996).*

Wir erläutern in dieser Praxishilfe drei methodische Ansätze, die sich zur Bewertung von Risiken bei gravitativen Naturgefahren eignen:

Methoden zur Risikobewertung

- **Individualrisiken** vergleichen und Grenzwerte festlegen (Kapitel 7.1).
- **Kollektivrisiken** im Häufigkeits-/Ausmass-Diagramm vergleichen und Grenzkurven festlegen (Kapitel 7.2).
- Auf der Grundlage von **Individual-, Objekt- oder Kollektivrisiken** die Rettungseffizienz bzw. die Kosten-Wirksamkeit von Sicherheitsmassnahmen ermitteln und vergleichen. Für die Rettungseffizienz Grenz-kosten der Risikominderung festlegen (Kapitel 7.3).

Diese Ansätze sind als Impulse für die Auseinandersetzung mit der Frage der Risikobewertung zu verstehen. Sie sollen in der Praxis kritisch geprüft werden.

Weitere Angaben zur Problematik und zu Methoden der Risikobewertung finden sich in HEINIMANN (1998), SCHNEIDER (1996), MERZ et al. (1995), SATW/SUVA (1994), FELL (1994) und SCHNEIDER TH. (1981).

7.1 Vergleich von Individualrisiken

Das Individualrisiko ist die Grösse eines Risikos für den Einzelnen. Wir betrachten in dieser Praxishilfe als einzigen Schadenindikator bei Personen die Zahl der Todesfälle; deshalb gilt hier: Individualrisiko = individuelles Todes-fallrisiko. Die ***Akzeptabilität*** (≠***Akzeptanz***) von Individualrisiken lässt sich mit Grenzwerten festlegen.

Die auf Stufe 3 ermittelten Individualrisiken lassen sich mit individuellen Todesfallrisiken anderer Bereiche vergleichen. ***Tabelle 6*** (Randspalte) enthält die mittleren Werte ausgewählter individueller Todesfallrisiken (weitere Werte finden sich in FRITZSCHE 1992 oder FELL 1994). Diese Werte kann man den Individualrisiken bei Naturgefahren gegenüberstellen, um Grenzwerte zu veranschaulichen und in der Öffentlichkeit zu rechtfertigen.

Um Grenzwerte für individuelle Todesfallrisiken festzulegen, schlagen MERZ et al. (1995) das in Abbildung 42 dargestellte Schema vor. Sie unterscheiden vier Risikokategorien in Funktion der Freiwilligkeit der Risikoübernahme und der persönlichen Kontrollmöglichkeiten über das Risiko. Der Akzeptanzbereich deutet darauf hin, dass der Übergang von zulässigen zu unzulässigen individuellen Todesfallrisiken fliessend ist. Für Risiken oberhalb des Akzeptanzbereiches sind die Behörden verantwortlich; sie müssen einen minimalen Schutz garantieren. Für die Minderung der Risiken unterhalb des Akzeptanzbereiches ist der Einzelne verantwortlich. Fällt das Risiko in den Akzeptanzbereich, dann sind die Interessen zwischen Behörden und betroffener Bevölkerung abzuwägen.

Tabelle 6: *Mittlere individuelle Todesfallrisiken pro Jahr als Vergleichsmöglichkeit (aus SCHNEIDER 1996). Das Todesfallrisiko 0.0001 (Fussgänger) bedeutet statistisch, dass von 10'000 Fussgängern pro Jahr einer den Unfalltod stirbt.*

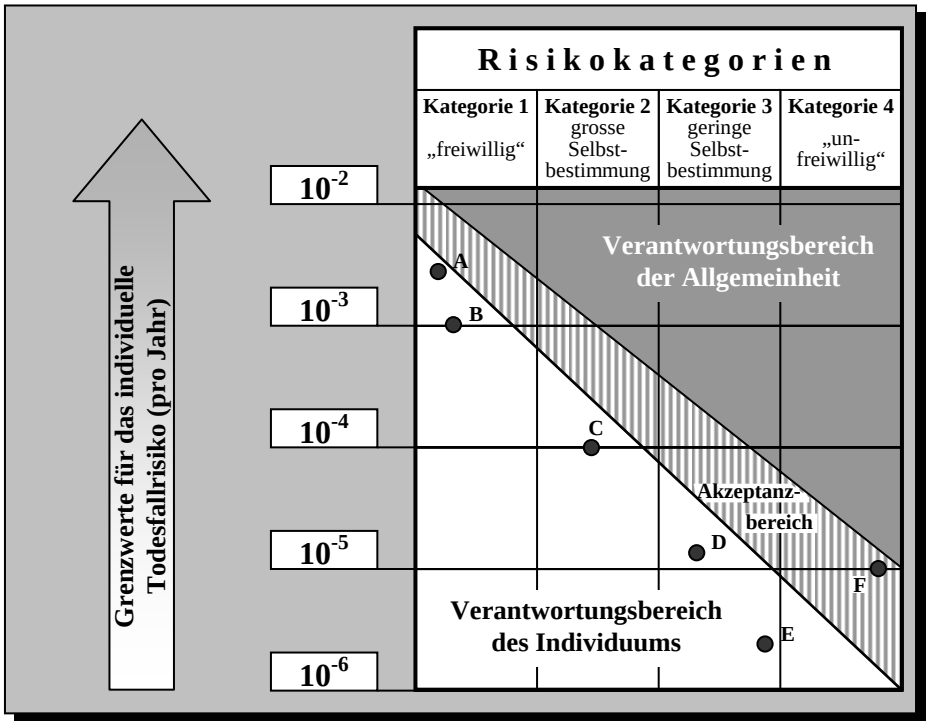
Mittlere individuelle Todesfallrisiken pro Jahr	
Todesfallrisiko über alles	
0.0011	Person 25-jährig
0.003	Person 45-jährig
0.02	Person 65-jährig
0.05	Person 75-jährig
Berufsrisiken	
0.001	Holzfällen
0.0009	Forstarbeiten allgemein
0.0005	Bauarbeiten allgemein
0.00015	Arbeiten in chemischer Industrie
0.00005	Arbeiten in Büro
Diverse Risiken	
0.004	20 Zigaretten/Tag
0.003	1 Flasche Wein/Tag
0.0015	Motorradfahren
0.001	Deltafliegen (Hobby)
0.0001	Fussgänger 10'000km
0.00005	Autobahn fahren
0.00001	Bergwandern
	Brand in Gebäude

Akzeptabilität

- *Empirisch: Zustand, Umstand oder Vorgang, für den die Aussicht besteht, dass er bei Individuen oder Gruppen Akzeptanz findet.*
- *Normativ: Zustand, Umstand oder Vorgang, der aufgrund normativer Kriterien als erlaubt oder zulässig erscheint.*

Akzeptanz

Empirisch feststellbare Bereitschaft von Individuen oder Gruppen, einen Zustand oder einen Vorgang ohne Widerspruch hinzunehmen



Legende

A	20 Zigaretten/Tag rauchen
B	Deltafliegen (Hobby)
C	10'000 km Autobahn fahren
D	Autofahren (als Beifahrer)
E	Eisenbahnpassagier
F	Brand in Gebäude

Abbildung 42: *Vorschlag von MERZ et al. (1995) zur Bestimmung von Grenzwerten für das individuelle Todesfallrisiko (in Funktion der Freiwilligkeit der Risikoübernahme und der persönlichen Kontrollmöglichkeiten über das Risiko).*

In der Sicherheitspraxis geht man für unfreiwillige individuelle Todesfallrisiken oft von einem **Grenzwert in der Grössenordnung von 10^{-5} bis 10^{-6}** aus. Ein Grenzwert dieser Grössenordnung ist nach unserer Meinung auch für unfreiwillige individuelle Todesfallrisiken bei gravitativen Naturgefahren angebracht.

7.2 Vergleich von Kollektivrisiken

Die auf Stufe 2 berechneten **szenarienspezifischen Kollektivrisiken $R_{k,j}$** (Risikomatrix, Seiten 52*f*) lassen sich in einem sogenannten Häufigkeits-/Ausmass-Diagramm zum **Kollektivrisiko R** (bezogen auf eine Gefahrenquelle) zusammenführen und vergleichend beurteilen (***Anmerkung*** in der Randspalte).

Anmerkung
Das Häufigkeits-/Ausmass-diagramm eignet sich für den Vergleich der Schwere von Ereignissen. Die Störfall-verordnung (StFV 1991) hat diese Darstellungsart übernommen, um Kollektiv-risiken vergleichend beurteilen zu können (siehe BUWAL 1991 und 1996).

komplementär-kumulativ
"sich gegenseitig ergänzend, sukzessive addierend"

Das **Häufigkeits-/Ausmass-Diagramm** (Abbildung 43) wird von einer ***komplementär-kumulativen*** **Schadenhäufigkeits-** und einer kontinuierlichen **Schadenausmass-Achse** aufgespannt. Auf der Schadenausmass-Achse (x-Achse) tragen wir das Schadenausmass $S_{k,j}$ (in Anzahl Todesopfern bzw. Franken Sachschaden) eines Szenarios SZ_j ein. Die Schadenhäufigkeit h_{Sj} tragen wir auf der Häufigkeitsachse (y-Achse) ein. Die Fläche des vom Schadenausmass $S_{k,j}$ und der entsprechenden Schadenhäufigkeit h_{Sj} aufgespannten Rechteckes deuten wir als Kollektivrisiko $R_{k,j}$ des Szenarios SZ_j, bezogen auf die Objektgruppe OG_k. Aus der Gesamtheit der szenarienspezifischen Kollektivrisiken $R_{k,j}$ bestimmen wir die komplementär-kumulative Verteilungsfunktion – die **Summenkurve** - und zeichnen sie im Häufigkeits-/Ausmass-Diagramm als treppenförmige Linie auf (siehe Abbildung 43❶). Die von der Summenkurve beschriebene Fläche deuten wir als Kollektivrisiko R, bezogen auf die untersuchte Gefahrenquelle. Aus der Lage der Summenkurve bezüglich einer festgelegten Akzeptabilitätslinie und eines Übergangs-bereiches beurteilen wir die Tragbarkeit des Kollektivrisikos R (Abbildung 44, Seite 106).

Anmerkung
Für jeden Schadenindikator (Franken, Zahl der Todes-opfer) ist jeweils eine eigene Summenkurve in einem separaten Häufigkeits-/ Ausmass-Diagramm zu erstellen.

Das Vorgehen, um das Kollektivrisiko R im Häufigkeits-/Ausmass-Diagramm darzustellen (Abbildung 43❶; ***Anmerkung*** in der Randspalte)**:**

1. Alle in den Risikomatrizen auf Stufe 2 (Seiten 52*f*) ermittelten szenarienspezifischen Kollektivrisiken $R_{k,j}$ nach der Grösse ihrer Schadenausmasse $S_{k,j}$ ordnen.
2. Das szenariospezifische Kollektivrisiko $R_{k,j}$ mit dem grössten Schadenausmass $S_{k,j}$ und der zugehörigen Schadenhäufigkeit h_{Sj} in das Häufigkeits-/Ausmass-Diagramm übertragen.
3. Alle weiteren szenarienspezifischen Kollektivrisiken $R_{k,j}$ nach abnehmender Grösse ihres Schadenausmasses $S_{k,j}$ in das Häufigkeits-/Ausmass-Diagramm einzeichnen; dabei die Schadenhäufigkeiten h_{Sj} laufend addieren.
4. Alle so bestimmten Punkte im Häufigkeits-/Ausmass-Diagramm zu einer Treppenlinie (=Summenkurve) verbinden. Aus der Lage der Summenkurve bezüglich einer festgelegten Akzeptabilitätslinie und eines Übergangsbereiches beurteilt man die Tragbarkeit des Kollektivrisikos R, bezogen auf eine Gefahrenquelle (siehe Abbildung 44, Seite 106).

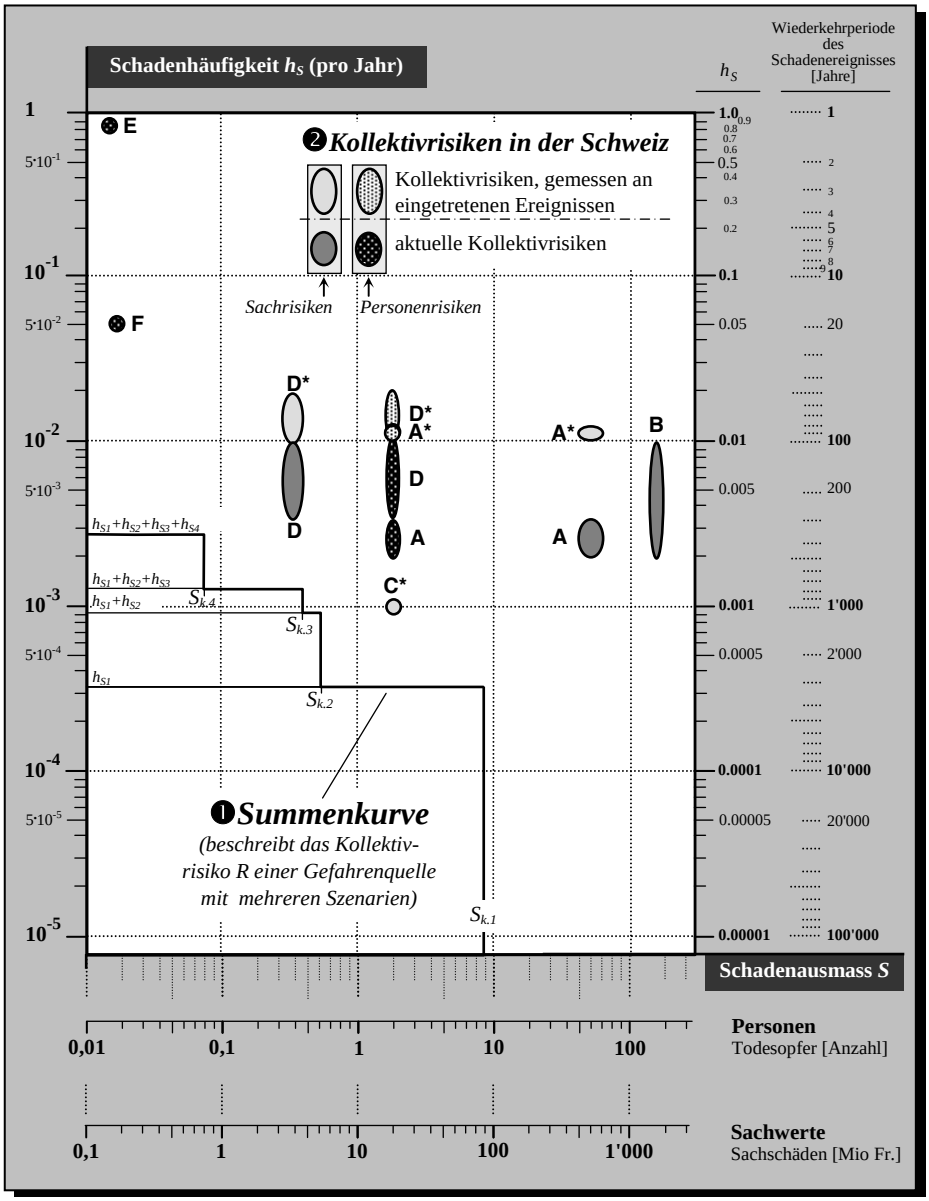


Abbildung 43: ❶***Summenkurve*** *zur Darstellung eines Kollektivrisikos R im Häufigkeits-/Ausmass-Diagramm, bezogen auf eine Gefahrenquelle einer gravitativen Naturgefahr.* ❷*Beispiele von* ***Kollektivrisiken in der Schweiz*** *(Kollektivrisiken, gemessen an eingetretenen Ereignissen und aktuelle Kollektivrisiken bzw. Kollektivrisiken nach ausgeführten Sicherheitsmassnahmen).*

Die in Abbildung 43 (❷) aufgeführten Beispiele von Kollektivrisiken in der Schweiz weisen ein breites Spektrum auf betreffend des Schadenausmasses und der Schadenhäufigkeit. Es ist zu diskutieren, welche dieser Risiken noch akzeptierbar und wo Massnahmen zu ergreifen sind. Die Antwort auf die Frage "Wie sicher ist sicher genug?" lässt sich mit praktischen Anwendungen der Risikoanalyse und mit Vergleichen von Risiken weiter eingrenzen. Nachfolgend erläutern wir das Prinzip zur Bewertung des Kollektivrisikos im Häufigkeits-/Ausmass-Diagramm.

❷ ***Kollektivrisiken in der Schweiz*** *(Beispiele)*
Anmerkung: X bedeutet 'eingetretenes Ereignis'*

A*	*Hochwasser 'Saltina', Brig/VS, 1993*
A	*Aktuelles Kollektivrisiko 'Saltina'*
B	*Aktuelles Kollektivrisiko Hochwasser 'Rhein', Rheintal St. Gallen*
C*	*Rutschung 'Falli-Hölli'/FR, 1993*
D*	*Murgang 'Faed'/TI, 1992*
D	*Aktuelles Kollektivrisiko 'Faed'*
E	*Aktuelles Kollektivrisiko Lawine, 'Galaria'/GR (Flüela-Passstrasse)*
F	*Aktuelles Kollektivrisiko Lawine, 'Val da Mot', Samnaun/GR*

❶ ***Summenkurve***
Im Häufigkeits-/Ausmass-Diagramm ist als Beispiel die Treppenlinie (=Summenkurve) einer Gefahrenquelle mit vier Szenarien eingezeichnet (Vorgehen siehe Seite 104). Wir deuten die von der Summenkurve beschriebene Fläche als Kollektivrisiko R bezogen auf die Gefahrenquelle. Das Vorgehen zur Beurteilung der Tragbarkeit des Kollektivrisikos R ist in Abbildung 44, Seite106, dargestellt.

Ein Punkt auf der Summenkurve gibt an, mit welcher Häufigkeit pro Jahr und Gefahrenquelle mit einem Schadenausmass zu rechnen ist, das diesem Punkt entspricht oder höher ist.

Das Vorgehen, um die Tragbarkeit des Kollektivrisikos R im Häufigkeits- / Ausmass-Diagramm zu beurteilen:

Für die Beurteilung der Tragbarkeit des Kollektivrisikos R, bezogen auf eine Gefahrenquelle, unterteilen wir das Häufigkeits-/Ausmass-Diagramm in drei Bereiche: einen nicht akzeptablen Bereich, einen Übergangsbereich und einen akzeptablen Bereich (siehe Abbildung 44). Man beurteilt die Tragbarkeit des Kollektivrisikos aufgrund der Lage der Summenkurve bezüglich dieser drei Bereiche (***Anmerkung*** in der Randspalte).

Anmerkungen
Die Lage und die Steigung der Akzeptabilitätslinie sowie die Breite des Übergangsbereiches muss im Rahmen eines gesellschafts-politischen Meinungsbildungs-Prozesses festgelegt werden.

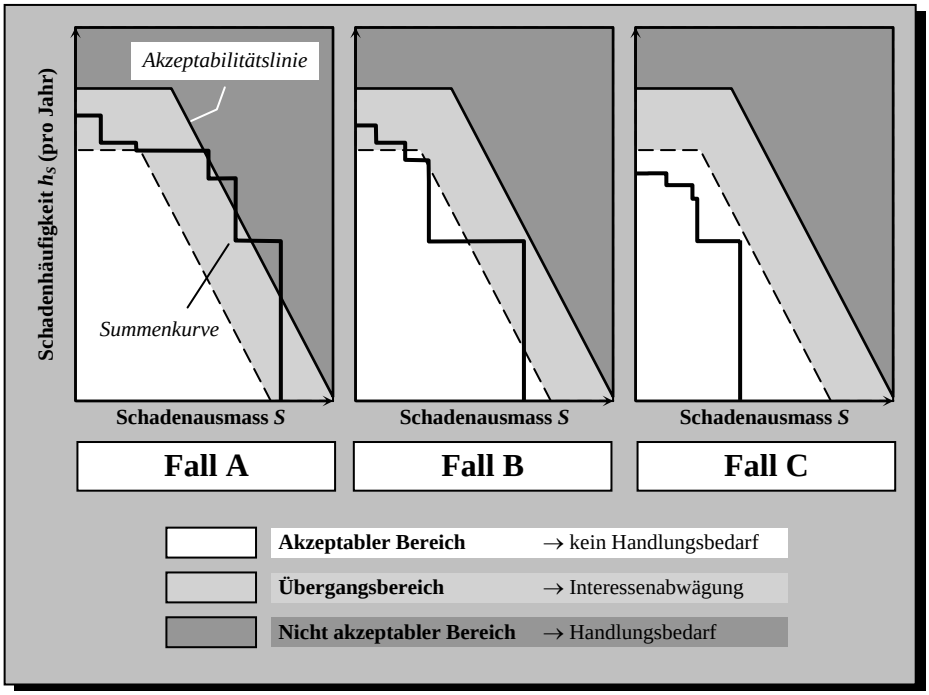


Abbildung 44: *Beurteilung der Tragbarkeit des Kollektivrisikos R im Häufigkeits-/Ausmass-Diagramm, bezogen auf eine Gefahrenquelle einer gravitativen Naturgefahr.*

Fall A: Summenkurve (teilweise) im nicht akzeptablen Bereich:

- Das Kollektivrisiko ist nicht tragbar.
- Ziel für den Verlauf der Summenkurve vorgeben.
- (Zusätzliche) Sicherheitsmassnahmen verfügen.

Fall B: Summenkurve (teilweise) im Übergangsbereich:

Interessenabwägung zwischen der betroffenenen Bevölkerung und der Behörde:

- Fällt die Interessenabwägung negativ aus, d.h. überwiegen die Schutzbedürfnisse der Bevölkerung, dann geht man gemäss Fall A vor.
- Ist die Interessenabwägung positiv, d.h. nimmt die Bevölkerung das Kollektivrisiko gemäss Summenkurve in Kauf, so besteht kein Handlungsbedarf.

Fall C: Summenkurve im akzeptablen Bereich:

Liegt die Summenkurve für einen Schadenindikator vollständig im akzeptablen Bereich, dann ist das Kollektivrisiko tragbar und das Kontroll- und Beurteilungsverfahren ist abgeschlossen.

Anmerkungen:

- Die Beurteilung der Tragbarkeit des Kollektivrisikos im Häufigkeits-/Ausmass-Diagramm bezieht sich auf die Gefahrenquelle einer gravitativen Naturgefahr. Dies ist nicht unproblematisch, da die verschiedenenen Gefahrenprozesse ganz unterschiedliche räumliche Ausmasse erreichen und entsprechend höhere Schäden verursachen. Wir können diesem Problem begegnen, indem wir für verschiedene Gefahrenprozesse unterschiedliche Schadenausmasse (bei gleicher Schadenhäufigkeit) akzeptieren. Man könnte zum Beispiel auch die akzeptierten Schadenausmasse mit der Grösse des Wirkungsgebietes einer Gefahrenquelle korrelieren und so die Beurteilungseinheit weiter eingrenzen; zum Beispiel:
  I. Fläche des Wirkungsgebietes maximal 2 ha
  II. Fläche des Wirkungsgebietes = 2 bis 10 ha
  III. Fläche des Wirkungsgebietes > 10 ha
- Die Risikobewertung bei gravitativen Naturgefahren im Häufigkeits-/Ausmass-Diagramm unterscheidet sich in einem wichtigen Punkt von der Risikobewertung gemäss Störfallverordnung (StFV 1991, siehe BUWAL 1996): Wir untersuchen hier vor allem Schadenereignisse mit einer Schadenhäufigkeit h_S>10^{-4} pro Jahr; im Häufigkeits-/Ausmass-Diagramm zur Störfallverordnung sind Schadenereignisse mit einer Schadenhäufigkeit h_S>10^{-4} pro Jahr dem "Bereich der nicht schweren Schädigungen" zugeteilt (BUWAL 1996). Ein bewertender Vergleich der Risiken bei gravitativen Naturgefahren mit jenen bei Betrieben und Anlagen gemäss StFV (1991) ist deshalb nur bedingt und in Kenntnis der prozessspezifischen Bedingungen möglich (siehe dazu SEILER 1997, Seiten 230*f*).

7.3 Vergleich der Effizienz von Sicherheitsmassnahmen

Wir umschreiben die Effizienz von Sicherheitsmassnahmen zur Reduktion von Todesfallrisiken (=Rettungseffizienz) mit den **Rettungskosten** (=Kosten zur Rettung eines Menschenlebens). Die Effizienz von Sicherheitsmassnahmen zur Reduktion von Sachrisiken umschreiben wir mit der **Kosten-Wirksamkeit**. Rettungskosten und Kosten-Wirksamkeit errechnen sich aus dem Quotienten

$$\frac{Sicherheitskosten}{Risikoreduktion}.$$ (Die Werte beziehen sich jeweils auf ein Jahr.)

Die Sicherheitskosten sind die Kosten der Sicherheitsmassnahmen zur Risikoreduktion.

Der Quotient $\frac{Sicherheitskosten}{Risikoreduktion}$ hat die Dimension $\left[\frac{Franken}{Schadeneinheit}\right]$.

Die Schadeneinheit ist 1 gerettetes Menschenleben oder 1 Franken verhinderter Sachschaden.

Ein **Zahlenbeispiel** zur Ermittlung der **Rettungskosten**: Ein Lawinenzug quert eine Strasse und verursacht gemäss Risikoanalyse 0.05 Todesopfer pro Jahr. Durch Lawinenverbauungen im Anrissgebiet wird das Risiko auf 0.01 Todesopfer pro Jahr reduziert. Die Lawinenverbauungen kosten 5 Millionen Franken (reine Sicherheitskosten) und bringen während 50 Jahren den gewünschten Schutz. Die jährlichen Sicherheitskosten belaufen sich demnach auf rund Fr. 100'000.- (ohne Diskontierung). Die in die Verbauung investierten Rettungskosten betragen somit:

$$Rettungskosten = \frac{Sicherheitskosten}{Risikoreduktion\ in\ Anzahl\ geretteter\ Menschenleben}$$

$$= \frac{Fr.100'000.-}{(0.05-0.01) gerettete\ Menschenleben}$$

$$= Fr.\ 2'500'000.-\ pro\ gerettetes\ Menschenleben$$

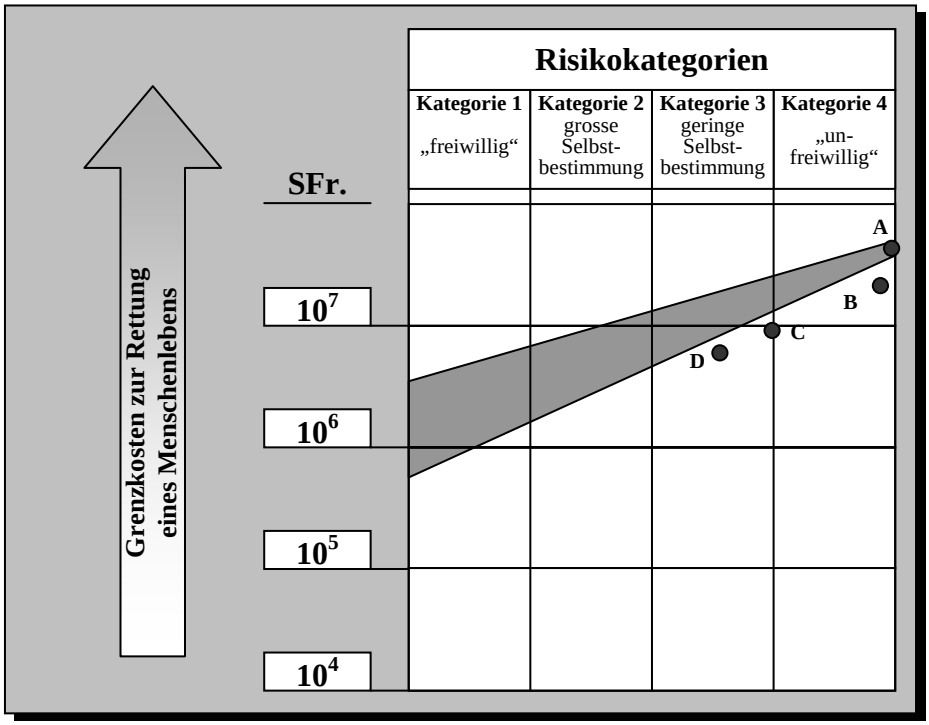
Nun kann man die Verhältnismässigkeit der Sicherheitsmassnahmen mit den Rettungskosten in der ***Tabelle 7*** (Randspalte) vergleichen. Bei den aufgeführten Beispielen fällt die grosse Bandbreite der Zahlenwerte auf. Welche dieser Rettungskosten vernünftig oder unvernünftig sind, sei offengelassen.

Die maximalen Sicherheitskosten, die man für eine zusätzliche Einheit Nutzen (hier also 1 gerettetes Menschenleben) auszugeben bereit ist, lassen sich mit dem ***Grenzkosten***-Ansatz bestimmen. In der Schweiz sind bisher noch keine Zahlenwerte für die Grenzkosten festgelegt und gesellschaftlich akzeptiert worden. MERZ et al. (1995) schlagen den in Abbildung 45 dargestellten Wertebereich (graues Band) vor, um die Grenzkosten zur Rettung eines Menschenlebens festzulegen. Sie unterscheiden wiederum vier Risiko-kategorien in Funktion der Freiwilligkeit der Risikoübernahme und der persönlichen Kontrollmöglichkeiten über das Risiko. Für die Kategorie 4 ("unfreiwillige" Risiken) schlagen sie als Grenzkosten zur Rettung eines Menschenlebens einen Wert von rund 20 Millionen Franken vor. Zum Vergleich: Bei der S-Bahn Zürich und beim Alp-Transit wurden in die Rettungskosten rund fünf Millionen Franken investiert. WILHELM (1997:250) führt Beispiele auf zu Rettungskosten bei baulichen Lawinen-Schutzprojekten an Verkehrsachsen; diese betragen bei Haupt- und Verbindungsstrassen 8.5 bis 12 Millionen Franken und bei Nationalstrassen 35 Millionen Franken pro verhinderten Todesfall. Wir erachten in Bezug auf die Rettungskosten bei gravitativen Naturgefahren einen Wert von rund 10 Millionen Franken als angemessen.

Tabelle 7: *Rettungskosten in Franken pro gerettetes Menschenleben (aus SCHNEIDER 1996).*

Rettungskosten Franken pro gerettetes Menschenleben	
100	Mehrfachimpfung 3.Welt
$2 \cdot 10^3$	Installation einer Röntgenanlage
$5 \cdot 10^3$	Tragen eines Motorradhelms
$10 \cdot 10^3$	Kardiomobil
$20 \cdot 10^3$	Tuberkulose-Überwachung
$50 \cdot 10^3$	Bereitstellen eines Helikopters
$100 \cdot 10^3$	Sicherheitsgurte in Autos
$500 \cdot 10^3$	Sicherheit von Tragwerken
$5 \cdot 10^6$	S-Bahn Zürich, Alp-Transit
$10 \cdot 10^6$	Erdbebennorm SIA
$20 \cdot 10^6$	Bergwerksicherheit in den USA
$50 \cdot 10^6$	DC 10 ausser Betrieb
$100 \cdot 10^6$	Hochhäuservorschrift GB
$1 \cdot 10^9$	Asbest-Sanierung in Schulen

Grenzkosten
Kosten für eine zusätzliche Einheit Nutzen.



Legende

A	Bergwerksicherheit in den USA
B	Erdbebennorm SIA
C	USA Luftverkehr
D	S-Bahn Zürich; Alp-Transit

Abbildung 45: *Vorschlag von MERZ et al. (1995) zur Bestimmung von Grenzkosten zur Rettung eines Menschenlebens.*

Wir beurteilen die **Kosten-Wirksamkeit** von Sicherheitsmassnahmen zur Minderung von Sachrisiken wie folgt:

$$Kostenwirksamkeit = \frac{Sicherheitskosten}{Risikoreduktion\ in\ Franken\ verhinderter\ Sachschaden}$$

Die Sicherheitsmassnahmen sind

- **kostenwirksam** (und somit angemessen), wenn der Quotient aus Sicherheitskosten und Risikoreduktion bei Sachschäden unter 1 liegt.
- **kostenneutral**, wenn der Quotient aus Sicherheitskosten und Risikoreduktion bei Sachschäden gleich 1 ist.
- **nicht kostenwirksam**, wenn der Quotient aus Sicherheitskosten und Risikoreduktion bei Sachschäden grösser als 1 ist (→Interessenabwägung).

Weitere Informationen zur Beurteilung und zur Optimierung der Rettungseffizienz und der Kosten-Wirksamkeit von Sicherheitsmassnahmen geben WILHELM (1998 und 1997), SCHNEIDER (1996) und MERZ et al. (1995).

8. AUSBLICK

Die praktischen Erfahrungen mit der Risikoanalyse bei gravitativen Naturgefahren, neue wissenschaftliche Erkenntnisse und Änderungen bei der Datenerfassung werden diese Praxishilfe weiter reifen lassen. Mehrere Probleme sind nämlich noch zu lösen:

- **Verständnis von Schadenereignissen verbessern, Datengrundlagen ergänzen:** Wegen fehlender Datengrundlagen lassen sich insbesondere die prozess- und intensitätsspezifische Letalität bei Personen und die Schadenempfindlichkeit bei Rechtsgütern nur ungenau schätzen. Daher sind die Daten zu den Risikofaktoren noch nicht ausgewogen (siehe auch Kapitel 6., Seiten 99*f*). Dieses Problem lösen wir, indem wir in Zukunft die Ereigniskataster gewissenhaft führen und die Schäden im Nachgang von Schadenereignissen detailliert analysieren und systematisch erfassen (siehe dazu HEINIMANN et al. 1998).
- **Die drei Stufen gezielt anwenden:** Wir müssen in der Praxis prüfen, wie wir in Zukunft die Risikoanalysen Stufen 1 bis 3 zielorientiert und angemessen anwenden können. Dieses Problem lösen wir, indem wir konkrete Erfahrungen mit den Risikoanalysen machen und daraus Schlüsse ziehen.
- **Risikowahrnehmung steigern:** Mit Risikokommunikation lässt sich bei den Betroffenen die Risikowahrnehmung steigern. Die Risikowahrnehmung der Betroffenen ist wichtig für die anstehenden Entscheide zur Akzeptabilität von Risiken (siehe dazu Kapitel 7., Seite 101). Wir steigern die Risikowahrnehmung, indem wir die Methode der Risikoanalyse und die Darstellungsform der Resultate auf ihre Verständlichkeit prüfen und verbessern.
- **Entscheide finden zur Akzeptabilität von Risiken:** Eine systematische Risikobewertung ist erst seit kurzem in Diskussion, weshalb es zur Zeit noch keine konkreten Entscheide gibt, welche auf die Akzeptabiliät von Naturgefahren-Risiken hinweisen. Voraussetzung für derartige Entscheide sind, eine allseitig akzeptierte, erprobte und standardisierte Methodik für die Quantifizierung der Risiken. Dabei muss Einigkeit herrschen bezüglich:
  - der Definition des zu untersuchenden Systems;
  - der wesentlichen Gefährdungsszenarien (z.B welche Extremereignisse berücksichtigen);
  - der Folgenanalyse (z.B. welche Besetzungshäufigkeiten wählen);
  - der Normierung der Risiken (z.B. pro Gebäude, pro Dorf, pro 100m Strasse, pro 100 Einwohner, pro Hektare gefährdete Fläche) und
  - der Darstellung der Risiken (Häufigkeits-Ausmassdiagramm oder kollektives Risiko als Zahl).
- **Aufwand senken beim Digitalisieren der Daten:** Das Digitalisieren der Datengrundlagen für die Intensitäts- bzw. Ereigniskarten und die Objektkategorien- bzw. Objektarten-Karten verursacht bei den Risikoanalysen Stufen 1 und 2 grossen Aufwand. Dieses Problem wird sich lösen, da man in Zukunft Nutzungspläne und Gefahrenkarten vermehrt digital erstellen wird; damit wird sich auch der Aufwand für die Risikoanalyse deutlich vermindern.

LITERATURVERZEICHNIS

ALTWEGG, D., 1989: Die Folgekosten von Waldschäden; Bewertungsansätze für die volkswirtschaftlichen Auswirkungen bei einer Beeinträchtigung der Schutzwaldfunktion von Gebirgswäldern. Forstwiss. Beiträge des FB Forstökonomie und Forstpolitik, ETH Zürich, 1989/8, 339 S.

BERG et al., 1994: Was ist ein Schaden? Zur normativen Dimension des Schadenbegriffs in der Risikowissenschaft. Polyprojekt Risiko und Sicherheit, Dokumente Nr. 2, vdf Hochschulverlag AG, Zürich, 251 S.

BEROGGI G.E.G., KRÖGER, W., 1993: Risikoanalyse technischer Systeme; Methoden, Modelle, Verfahren und Hilfsmittel. In: Schweizer Ingenieur und Architekt, 47 (877-883).

BFF/EISLF, 1984: Richtlinien zur Berücksichtigung der Lawinengefahr bei raumwirksamen Tätigkeiten. Bundesamt für Forstwesen / Eidg. Institut für Schnee- und Lawinenforschung, Bern, 21 S.

BFS, 1996: Schweizerische Strassenverkehrszählung 1995. Bundesamt für Statistik, Bern, 494 S. (erscheint fünfjährlich).

BORG, E., GRUNWALD, A., 1996: Bodenschutz – eine Herausforderung für probleminduzierte Technikfolgenabschätzung. In: GAIA 5, 1 (12-21).

BUWAL, 1991: Handbuch I zur Störfallverordnung StFV; Richtlinien für Betriebe mit Stoffen, Erzeugnissen und Sonderabfällen. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern, 74 S.

BUWAL, 1996: Beurteilungskriterien I zur Störfallverordnung StFV; Richtlinien für Betriebe mit Stoffen, Erzeugnissen oder Sonderabfällen. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern, 13 S.

BUWAL/BWW/BRP, 1997: Berücksichtigung der Massenbewegungsgefahren bei raumwirksamen Tätigkeiten (Empfehlungen). Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft / Bundesamt für Wasserwirtschaft / Bundesamt für Raumplanung, Bern, 42 S.

BWW/BRP/BUWAL, 1997: Berücksichtigung der Hochwassergefahren bei raumwirksamen Tätigkeiten (Empfehlungen). Bundesamt für Wasserwirtschaft / Bundesamt für Raumplanung / Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern, 32 S.

BWW/BUWAL, 1995: Symbolbaukasten zur Kartierung der Phänomene (Empfehlungen). Bundesamt für Wasserwirtschaft / Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Mitteilung des BWW 7/1995, Bern, 20 S.

EGLI, TH., 1996: Hochwasserschutz und Raumplanung. ORL-Bericht 100/1996, vdf Hochschulverlag AG, Zürich, 166 S.

FELL, R., 1994: Landslide risk assessment and acceptable risk. In: Canadian Geotechnical Journal, 31, 2 (261-272).

FRITZSCHE, A.F., 1992: Wie gefährlich leben wir? Der Risikokatalog. Verlag TÜF Rheinland, Köln, 258 S.

GÜNTER, R., PFISTER, F., 1989: Sicherheitsplanung in Schutzwaldprojekten. Eidg. Anstalt für das forstliche Versuchswesen, Bericht Nr. 312, Birmensdorf, 40 S.

HEINIMANN, 1998: Der Umgang mit Naturrisiken aus ingenieurwissenschaftlicher Sicht. In: Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen, 149/9 (691-705).

HEINIMANN, H.R. et al., 1998: Methoden zur Analyse und Bewertung von Naturgefahren. Umwelt-Materialien Nr. 85, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL), Bern, 247 S.

HOLLENSTEIN, K., 1997: Analyse, Bewertung und Management von Naturrisiken. Diss. ETH Nr. 11878, vdf Hochschulverlag AG, Zürich, 220 S.

KIRCKHOFF, M., 1997: Mind Mapping; Einführung in eine kreative Arbeitsmethode. 11. Aufl., Gabal, Offenbach, 112 S.

MERZ, H.A., SCHNEIDER, TH., BOHNENBLUST, H., 1995: Bewertung von technischen Risiken. Polyprojekt Risiko und Sicherheit, Dokumente Nr. 3, vdf Hochschulverlag AG, Zürich, 174 S.

SATW/SUVA, 1994: Risikoakzeptanz aus technischer und soziologischer Sicht; Ein Einstieg in den Risikodialog. Schrift 1/94 des SUVA-Fonds, Schrift 19 der Schweizerischen Akademie der technischen Wissenschaften (SATW), Luzern, 135 S.

SBB, 1997: Sicherheitsmassnahmen für das Personal bei Arbeiten in und neben Geleisen.

SBV, 1997: Richtzahlen zur "Handbuchhaltung" 1997; Bewertung des Tierbestandes. Schweizerischer Bauernverband, Brugg (erscheint jährlich).

SCHNEIDER, J., 1996: Sicherheit und Zuverlässigkeit im Bauwesen: Grundwissen für Ingenieure. 2., überarb. Aufl., vdf Hochschulverlag AG, Zürich, 188 S.

SCHNEIDER, TH., 1981: Grundgedanken und Methodik moderner Sicherheitsplanung. In: Der Sicherheitsingenieur, 8 (26-39) und 9 (18-29).

SCHNEIDER, TH., 1985: Ein quantitatives Entscheidungsmodell für Sicherheitsprobleme im nicht-nuklearen Bereich. In: Yadigaroglu, G., Chakraborty, S., Risikountersuchungen als Entscheidungsinstrument. Verlag TÜF Rheinland, Köln, 113-143.

SCHWEIZERISCHE ARMEE, 1990: Technische Vorschriften für die Lagerung von Munition (TLM 75). Teil II: Sicherheitsbeurteilung von Munitionslagern. Gruppe für Rüstung, Bern.

SEILER, H., 1997: Recht und technische Risiken; Grundzüge des technischen Sicherheitsrechts. Polyprojekt Risiko und Sicherheit, Dokumente Nr. 18. vdf Hochschulverlag AG, Zürich, 375 S.

TROXLER, CH., GUENTER, R., BOHNENBLUST, H., 1989: Sicherheit und Risiko; Schutz vor Naturgefahren. In: Schweizer Ingenieur und Architekt, 39 (1035-1040).

WILHELM, CH., 1997: Wirtschaftlichkeit im Lawinenschutz; Methodik und Erhebungen zur Beurteilung von Schutzmassnahmen mittels quantitativer Risikoanalyse und ökonomischer Bewertung. Mitt. Eidg. Institut für Schnee- und Lawinenforschung, Nr. 54, 309 S.

WILHELM, CH., 1998: Beurteilung der Kosten-Wirksamkeit von Lawinenschutz-Massnahmen an Verkehrsachsen; Vorgehen, Beispiele und Grundlagen der Projektevaluation. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Vollzug Umwelt, Praxishilfe, Bern (in Bearbeitung).

WÜEST & PARTNER, 1996: Immobilienmarkt Schweiz – Monitoring 1997. Verlag W&P, Zürich (erscheint jährlich).

VERZEICHNIS DER VERWENDETEN RECHTSGRUNDLAGEN

StFV, 1991: Verordnung vom 27. Februar 1991 über den Schutz vor Störfällen (Störfallverordnung, StFV 1991, SR 814.012).

SuG, 1990: Bundesgesetz vom 5. Oktober 1990 über Finanzhilfen und Abgeltungen (Subventionsgesetz, SuG 1990, SR 616.1).

WaG, 1991: Bundesgesetz vom 4. Oktober 1991 über den Wald (Waldgesetz, WaG 1991, SR 921.0).

WaV, 1992: Verordnung vom 30. November 1992 über den Wald (Waldverordnung, WaV 1992, SR 921.01).

VERZEICHNIS DER ABBILDUNGEN UND TABELLEN

Abbildung 1: *Das Risikokonzept: Schritte des Umgangs mit Risiken.* 13

Abbildung 2: *Generelles Vorgehen bei einer Risikoanalyse.* 15

Abbildung 3: *Beispiel einer vereinfachten Systembeschreibung, dargestellt als 'Mind-Map'.* .. 21

Abbildung 4: *Szenarienbildung bei gravitativen Naturgefahren und Darstellung der Szenarien in Intensitäts- oder Ereigniskarten.* 24

Abbildung 5: *Das Drei-Stufen-Modell der Risikoanalyse.* 27

Abbildung 6: *Festlegen der Ziele und Wahl der Methode der Risikoanalyse.* 28

Abbildung 7: *Vorgehen bei der Risikoanalyse Stufe 1.* 30

Abbildung 8: *Bewertung des Schutzdefizites.* 33

Abbildung 9: *Risikoanalyse Stufe 2: Objektarten und Schadenindikatoren.* 36

Abbildung 10: *Schema zum generellen Vorgehen bei der Risikoanalyse Stufe 2.* 37

Abbildung 11: *Risikofaktoren zur Ermittlung des Todesfallrisikos für Personen in Siedlungs-, Gewerbe- oder Industrieflächen.* 41

Abbildung 12: *Verknüpfung der Risikofaktoren zum Todesfallrisiko $r_{i,j}$ für Personen in Siedlungs-, Gewerbe- oder Industrieflächen.* 41

Abbildung 13: *Schätzung der Überbauungsziffer.* 43

Abbildung 14: *Risikofaktoren zur Ermittlung des Todefallrisikos für Personen auf Strassen.* 45

Abbildung 15: *Verknüpfung der Risikofaktoren zum Todesfallrisiko $r_{i,j}$ für Personen auf Strassen.* 45

Abbildung 16: *Risikofaktoren zur Ermittlung des monetären Objektrisikos für flächige, linienförmige oder punktartige Raumelemente einer Objektart.* 48

Abbildung 17: *Verknüpfung der Risikofaktoren zum monetären Objektrisiko $r_{i,j}$ für flächige, linienförmige oder punktartige Raumelemente einer Objektart.* 49

Abbildung 18: *Risikomatrizen: Zusammenfassung der szenarienspezifischen Objektrisiken $r_{i,j} = [h_S;S]$ (Objektrisiken pro Schadenereignis) zum Kollektivrisiko $R_{k,j}$ eines Szenarios SZ_j bezogen auf die Objektgruppe OG_k.* 53

Abbildung 19: *Schema zum generellen Vorgehen bei der Risikoanalyse Stufe 3.* 57

Abbildung 20: *Beispiel eines quantitativen Ereignisbaumes zur Herleitung der räumlichen Auftretenswahrscheinlichkeit.* 59

Abbildung 21: *Saisonales Auftreten und Schwellenwert α.* 60

Abbildung 22: *Risikofaktoren zur Ermittlung des Todesfallrisikos für Personen in Gebäuden oder im Freien.* 62

Abbildung 23: *Verknüpfung der Risikofaktoren zum Todesfallrisiko $r_{i,j}$ für Personen in Gebäuden oder im Freien.* 63

Abbildung 24: *Beispiele zur Bestimmung der saisonalen Koinzidenzwahrscheinlichkeit.* 64

Abbildung 25: *Risikofaktoren zur Ermittlung des Todefallrisikos für Personen auf Strassen.* 68

Abbildung 26: *Verknüpfung der Risikofaktoren zum Todesfallrisiko $r_{i,j}$ für Personen auf Strassen.* 69

Abbildung 27: *Unfalltypen bei Bahnlinien infolge von Naturgefahren und entsprechende Risikofaktoren zur Ermittlung des Todesfallrisikos für Personen in Zügen.* 74

Abbildung 28: *Verknüpfung der Risikofaktoren zum Todesfallrisiko $r_{i,j}$ für Personen in Zügen, infolge eines Unfalls durch Direkttreffer.* 75

Abbildung 29: *Verknüpfung der Risikofaktoren zum Todesfallrisiko $r_{i,j}$ für Personen in Zügen, infolge eines Unfalls durch Kollision/Entgleisung. 79*

Abbildung 30: *Ereignisbaum zur Ermittlung der Wahrscheinlichkeit p_v (Wahrscheinlichkeit, dass der Unfall durch Kollision/Entgleisung verhindert wird). 80*

Abbildung 31: *Risikofaktoren zur Ermittlung des monetären Objektrisikos bei Gebäuden. 84*

Abbildung 32: *Verknüpfung der Risikofaktoren zum monetären Objektrisiko $r_{i,j}$ bei Gebäuden. 85*

Abbildung 33: *Risikofaktoren zur Ermittlung des monetären Objektrisikos durch Betriebsunterbruch. 90*

Abbildung 34: *Verknüpfung der Risikofaktoren zum monetären Objektrisiko $r_{i,j}$ durch Betriebsunterbruch. 90*

Abbildung 35: *Risikofaktoren zur Ermittlung des monetären Objektrisikos hinsichtlich des Nutztierbestandes in Ställen oder im Freien. 92*

Abbildung 36: *Verknüpfung der Risikofaktoren zum monetären Objektrisiko $r_{i,j}$ hinsichtlich des Nutztierbestandes in Ställen oder im Freien. 93*

Abbildung 37: *Risikomatrizen: Zusammenfassung der szenarienspezifischen Objektrisiken $r_{i,j} = h_S \times S$ (Objektrisiken pro Jahr) zum gesamten Objektrisiko r_i, zum Kollektivrisiko $R_{l,j}$ eines Szenarios SZ_j oder zum Kollektivrisiko R_l bezogen auf die Objektgruppe OG_l. 98*

Abbildung 38: *Geschätzte Grössenordnungen der Unschärfen bei der Ermittlung der Schadenhäufigkeit h_S. 99*

Abbildung 39: *Geschätzte Grössenordnungen der Unschärfen bei der Ermittlung des Schadenausmasses S. 100*

Abbildung 40: *Geschätzte Grössenordnungen der Unschärfen bei der Ermittlung von Todesfallrisiken auf Strassen und bei Bahnen. 100*

Abbildung 41: *Die Risikobewertung im Wirkungsfeld zwischen Wissenschaft und Politik. 101*

Abbildung 42: *Vorschlag von MERZ et al. (1995) zur Bestimmung von Grenzwerten für das individuelle Todesfallrisiko. 103*

Abbildung 43: *Summenkurve zur Darstellung eines Kollektivrisikos R im Häufigkeits-/Ausmass-Diagramm, bezogen auf eine Gefahrenquelle einer gravitativen Naturgefahr. Beispiele von Kollektivrisiken in der Schweiz. 105*

Abbildung 44: *Beurteilung der Tragbarkeit des Kollektivrisikos R im Häufigkeits-/Ausmass-Diagramm. 106*

Abbildung 45: *Vorschlag von MERZ et al. (1995) zur Bestimmung von Grenzkosten zur Rettung eines Menschenlebens. 109*

Tabelle 1: *Grundlagen, um gravitative Naturgefahren zu beurteilen und in Gefahrenkarten festzuhalten. 23*

Tabelle 2: *Objektkategorien mit Schutzzielen, wie sie bei den Fallbeispielen in Teil II zur Anwendung kamen. 34*

Tabelle 3: *Zuteilung der räumlichen Auftretenswahrscheinlichkeit p_{rA} zu Flächen der Intensitätskarten. 38*

Tabelle 4: *Sonderobjekte; Haupt-Untersuchungseinheiten der Risikoanalyse Stufe 3 mit den zugehörigen Schadeneinheiten. 56*

Tabelle 5: *Schätzung der Evakuationswahrscheinlichkeit. 66*

Tabelle 6: *Mittlere individuelle Todesfallrisiken pro Jahr als Vergleichsmöglichkeit. 102*

Tabelle 7: *Rettungskosten in Franken pro gerettetes Menschenleben. 108*