



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

**Bundesamt für Strassen ASTRA**

**DOKUMENTATION**

# **NATURGEFAHREN AUF DEN NATIONALSTRASSEN: RISIKOKONZEPT**

*Methodik für eine risikobasierte Beurteilung,  
Prävention und Bewältigung von gravitativen  
Naturgefahren auf Nationalstrassen*

---

*Ausgabe 2012 V2.20  
ASTRA 89001*

## Impressum

### **Autoren/Arbeitsgruppe**

Gogniat Bernard	(ASTRA N-SFS, Vorsitz)
Trocme Maillard Marguerite	(ASTRA N-SFS)
Huber Marc	(ASTRA I-ES)
Arnold Philippe	(ASTRA I-ES)
Vollmer Urs	(ASTRA I-Filiale Zofingen)
Rieder Urban	(ASTRA I-Filiale Thun)
Sandri Arthur	(BAFU Abteilung Gefahrenprävention)
Raetzo Hugo	(BAFU Abteilung Gefahrenprävention)
Dorren Luuk	(BAFU Abteilung Gefahrenprävention)
Egli Thomas	(PLANAT, Forschungscoordination c/o Egli Engineering)
Eberli Josef	(Kanton Nidwalden, Kantonsingenieur)
Knuchel Reto	(Kanton Graubünden, Strassenunterhalt)
Kienholz Hans	(Universität Bern, Geografisches Institut)
Donzel Michel	(Forschungsgruppe Kunstbauten)
Utelli Hans-Heini	(IMPULS AG, Begleitung)
Perren Bernhard	(IMPULS AG, Begleitung)

<b>Übersetzung</b>	(Originalversion in Deutsch)
<b>Sprachdienste ASTRA</b>	(französische Übersetzung und italienische Übersetzung)

### **Herausgeber**

Bundesamt für Strassen ASTRA  
Abteilung Strassennetze N  
Standards und Sicherheit der Infrastruktur SSI  
3003 Bern

### **Bezugsquelle**

Das Dokument kann kostenlos von [www.astra.admin.ch](http://www.astra.admin.ch) herunter geladen werden.

© ASTRA 2012

Abdruck – ausser für kommerzielle Nutzung – unter Angabe der Quelle gestattet.

# Inhaltsverzeichnis

	<b>Impressum .....</b>	<b>2</b>
	<b>Zusammenfassung .....</b>	<b>5</b>
<b>1</b>	<b>Einleitung .....</b>	<b>9</b>
1.1	Ausgangslage.....	9
1.2	Verwendete Grundlagen .....	9
1.3	Struktur des vorliegenden Berichtes .....	9
<b>2</b>	<b>Grundmodell der Risikoanalyse .....</b>	<b>10</b>
2.1	Ziele.....	10
2.2	Bestehende Methoden .....	10
2.3	Das Risikokzept .....	11
2.4	Risikobegriff und Risikogrößen.....	13
2.5	Allgemeines Vorgehen .....	15
2.6	Zielsetzung, Systemabgrenzung und Vorbereitungsarbeiten .....	15
2.7	Perimeter.....	16
<b>3</b>	<b>Gefahrenanalyse .....</b>	<b>17</b>
3.1	Allgemeines .....	17
3.2	Karte der Phänomene .....	21
3.3	Prozess „Sturz“.....	22
3.4	Prozess „Wasser“.....	27
3.5	Prozess „Lawinen“ .....	30
3.6	Prozess „Rutschungen“.....	32
3.7	Prozess „Einsturz / Absenkung“ .....	38
3.8	Dokumentation: Gefahrenanalyse und die zu liefernden Resultate.....	39
<b>4</b>	<b>Expositionsanalyse.....</b>	<b>41</b>
4.1	Schadensbilder .....	41
4.2	Gefährdete Objekte .....	47
<b>5</b>	<b>Folge- oder Konsequenzenanalyse.....</b>	<b>51</b>
5.1	Personenrisiken .....	51
5.2	Sachrisiken.....	51
<b>6</b>	<b>Risikoberechnung .....</b>	<b>54</b>
6.1	Allgemeines .....	54
6.2	Schadensbild a: Direkttreffer.....	54
6.3	Schadensbild b: Auffahrunfall .....	56
6.4	Schadensbild c: Verschüttung.....	57
6.5	Schadensbild d1: Verfügbarkeit – Sperrung nach Ereignis .....	59
6.6	Schadensbild d2: Verfügbarkeit – vorsorgliche Sperrung.....	60
6.7	Aufsummierung von Risiken .....	61
6.8	Dokumentation Risikoberechnung und abzugebende Produkte.....	62
<b>7</b>	<b>Risiko- und Massnahmenbewertung .....</b>	<b>63</b>
7.1	Allgemein.....	63
7.2	Überprüfungskriterien.....	63
7.3	Effizienz und Effektivität von Massnahmen .....	64
7.4	Vorgehen bei der Massnahmenplanung und -bewertung.....	65
7.5	Zusammenfassendes Vorgehen .....	70
	<b>Anhänge .....</b>	<b>71</b>
	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>93</b>
	<b>Auflistung der Änderungen.....</b>	<b>97</b>



## Zusammenfassung

### Ausgangslage

Gravitative Naturgefahren wie Lawinen, Stein- und Blockschlag, Murgänge und Überflutungen aber auch Rutschungen bedrohen immer wieder Strecken des Nationalstrassennetzes in der Schweiz. Eindrückliche Zeugen dieser Tatsache sind die jüngsten Felssturz-Ereignisse auf der N2 am Gotthard, die Unwetter 2005 oder der Lawinenwinter 1999.

In diesem Zusammenhang sind im Bundesamt für Strassen (ASTRA) in Zusammenarbeit mit dem BAFU, der PLANAT, der Kantone wie auch der Hochschulen verschiedene Projekte für den risikobasierten, gesamtschweizerischen, netzbezogenen Umgang mit Naturgefahren gestartet worden oder befinden sich in Planung. Der Nutzen dieser Projekte liegt im einheitlichen und zielgerichteten Umgang mit Risiken und in der Transparenz der dazu verwendeten Mittel.

Mit dem **Teilprojekt 3: Erarbeitung einer Methodik für das Management von gravitativen Naturgefahren** will das ASTRA die Basis legen, um gravitative Naturgefahren (Lawinen, Sturz, Hochwasser, Rutschungen und Absenkungen), welche die Nationalstrassen der Schweiz gefährden nach einheitlichen und nachvollziehbaren Kriterien zu beurteilen und Massnahmen zum Schutz vor diesen nach Kosten-Wirksamkeitskriterien planen zu können.

Das Teilprojekt 3 wird begleitet von Vertretern des ASTRA (Abteilung I und N, Filialen und Gebietseinheiten), des Bundesamt für Umwelt (BAFU, Abteilung Gefahrenprävention), der PLANAT, der Hochschulen und der Kantone.

Die Methodik basiert auf den gängigen Richtlinien und Empfehlungen des Bundes für die Gefahrenbeurteilung, den neu entwickelten Methoden zur Risikoanalyse und -bewertung der PLANAT sowie den Erkenntnissen aus den Forschungspaketen AGB1. Um den Netzbezug sicherzustellen wurden diese Grundlagen auf die Besonderheiten und Bedürfnisse der Nationalstrassen angepasst.

### Ziele

Mit der Anwendung der Methodik können folgende Ziele erreicht werden:

- Das Streckennetz der Nationalstrassen kann hinsichtlich der Gefährdung durch gravitative Naturgefahren nach einer einheitlichen Methodik hinsichtlich Art, Intensität und Wahrscheinlichkeit beurteilt werden.
- Daraus können die entstehenden Folgen (Schäden) für Strassenbenutzer und -betreiber und die daraus abgeleiteten Risiken in quantitativer Art bestimmt und verglichen werden.
- Die Resultate können in das unternehmensweite Risikomanagement eingebunden und dort mit anderen Risiken verglichen werden.
- Aus dem Vergleich der bestehenden Risiken mit den Überprüfungskriterien kann der Handlungsbedarf abgeleitet werden.
- Es können Prioritäten für die Massnahmenplanung gesetzt werden.
- Die aus Kosten-Nutzenüberlegungen optimale Massnahme oder Massnahmenkombination kann evaluiert werden.
- Es können kosteneffiziente Massnahmen priorisiert und ausgeführt werden.

## Risikokzept

Das der Methodik zu Grunde liegende Risikokzept besteht aus den Teilen

- **Risikoanalyse** – Was kann passieren? Diese setzt sich aus der Gefahren-, Expositions- und Konsequenzenanalyse zusammen.
- **Risikobewertung** – Was darf passieren?
- **Massnahmenplanung** – Was ist zu tun?

## Gefahrenanalyse

In der Gefahrenanalyse werden die Naturgefahren hinsichtlich Wahrscheinlichkeit und Ausmass beurteilt. Die Methodik stellt sicher, dass die Wahl der für die Gefährdung massgebenden Szenarien nach einheitlichen und nachvollziehbaren Kriterien erfolgt. Basis dafür bilden die Auswertung der historischen Ereignisse, die Auswertung von statistischen Daten, die Aufnahme von stummen Zeugen im Gelände, die Beurteilung der Disposition im Gelände und die Beurteilung der bestehenden Schutzmassnahmen und des Schutzwaldes. Ausgehend von den so für jede Prozessquelle festgelegten Szenarien der Gefahrenentstehung werden die Wirkungsräume unter Berücksichtigung der speziellen Verhältnisse entlang der Nationalstrassen ausgeschieden und in Form von Intensitätskarten dargestellt sowie die für die Beurteilung der entstehenden Schäden relevanten Parameter erhoben.

## Expositions- und Konsequenzenanalyse

In diesem Arbeitsschritt werden die durch Naturgefahren verursachten Schäden und Risiken quantifiziert. Berücksichtigt werden:

- **Personenrisiken**, die durch Direkttreffer oder Auffahren auf ein Hindernis auf den Nationalstrassen verursacht werden.
- **Personenrisiken**, die durch Direkttreffer auf Nebenanlagen wie Rastplätze, Werkhöfe u. a. verursacht werden.
- **Sachrisiken**, die durch die Räumungs- und Wiederherstellungsarbeiten nach einem Naturgefahrenereignis entstehen.
- **Verfügbarkeitsrisiken**, die entstehen, wenn ein Streckenabschnitt infolge eines Naturgefahrenereignis vorsorglich oder nachträglich gesperrt werden muss. Für die betroffenen Fahrzeuge entstehen längere Umfahrungswege, die mit dem Staukostenansatz des Verkehrsmodells IVT-ETH, in Wert gesetzt werden.

Alle Risiken werden separat quantitativ berechnet und zum Vergleich in einen Geldwert umgesetzt.

## Risikobewertung und Massnahmenplanung

In der Risikobewertung wird überprüft, ob die ermittelten Risiken für den Anlagenbetreiber und die Gesellschaft tragbar sind oder nicht. Weiter werden Vorgehen und Kriterien festgelegt, die es erlauben, risikomindernde Massnahmen und Massnahmenkombinationen auf ihre Kosten und Nutzen hin zu überprüfen. Ziel der Risikobewertung ist es, untragbare Risiken zu erkennen und Kriterien bereitzustellen, die optimale Entscheidungen bezüglich der zu treffenden Massnahmen erlauben.

Für **individuelle Todesfallrisiken** (z. B. Pendler, der einen bestimmten Streckenabschnitt viermal täglich befährt), wird – abgeleitet aus der allgemeinen Todesfallwahrscheinlichkeit einer Person – ein Grenzwert von  $10^{-5}$  festgelegt. Dieses Überprüfungs-kriterium bildet eine Rahmenbedingung, die es erlauben soll, Streckenabschnitte mit erhöhten individuellen Todesfallrisiken zu erkennen.

Die Bewertung der **kollektiven Risiken** erfolgt mit Hilfe des Kosten-Nutzen-Ansatzes, sofern nicht wichtigere volkswirtschaftliche und / oder politische Faktoren berücksichtigt werden müssen. Massnahmen zu Reduktion der kollektiven Risiken können so lange ergriffen werden, als der Kosten-Wirksamkeits-Quotient  $\geq 1$  ist.

Dieser Wert stellt einen Grenzwert dar. Die Methodik legt fest, wie die jährlichen Kosten und der Nutzen (= durch eine Massnahme reduziertes Risiko) berechnet werden. Um Personen- mit Sachrisiken

zu vergleichen und zu monetarisieren wird der Betrag des Grenzkostenprinzips verwendet.

Die Methodik legt zudem fest, wie unter denjenigen Massnahmen, deren Kosten-Wirksamkeits-Quotient  $\geq 1$  ist die optimale Massnahmenkombination gebildet wird.

Aus der Erfahrung gibt es sehr viele Streckenabschnitte, die von Naturgefahren betroffen sind. Aus Ressourcengründen kann nicht überall gleichzeitig mit der Massnahmenplanung begonnen werden. Die Methodik zeigt auf, aufgrund welcher Kriterien Prioritäten für die Massnahmenplanung bestimmt werden.

#### **Aktueller Stand und Aussicht**

Diese Methodik wurde im Forschungsprojekt AGB1 – AGB2007/201: Testregion Risikomethoden auf die Vergleichbarkeit Resultate mit anderen Risiken und auf die Anwendbarkeit der Resultate im Risikomanagement des ASTRA hin getestet. Weiter wurde in einem Pilotprojekt am Gotthard die praktische Anwendung der Methodik auf einem insgesamt rund 30 km langen Streckenabschnitt geprüft. Beide Projekte wurden hinsichtlich der Methodik ausgewertet. Die vorliegende Version 2.00 der Dokumentation ist aufgrund der gemachten Erfahrungen angepasst worden.

In einem nächsten Schritt wird die Methodik als interne Richtlinie für das ASTRA allgemein verbindlich.



# 1 Einleitung

## 1.1 Ausgangslage

Gravitative Naturgefahren wie Lawinen, Stein- und Blockschlag, Murgänge und Überflutungen aber auch Rutschungen bedrohen immer wieder Strecken des Nationalstrassennetzes in der Schweiz. Eindrückliche Zeugen dieser Tatsache sind die jüngsten Felssturz-Ereignisse auf der N2 am Gotthard, die Unwetter 2005 oder der Lawinenwinter 1999.

Das Bundesamt für Strassen (ASTRA) will gravitative Naturgefahren, welche die Nationalstrassen der Schweiz gefährden nach einheitlichen und nachvollziehbaren Kriterien beurteilen lassen, die Resultate aus den verschiedenen Regionen vergleichen können und den Schutz vor Naturgefahren einheitlich handhaben. Weiter soll das Risikomanagement bei Naturgefahren im Einklang mit dem unternehmensweiten Risikomanagement des ASTRA stehen.

Der vorliegende Bericht zeigt das methodische Vorgehen für eine risikobasierte Gefahrenbeurteilung, -prävention und -bewältigung bezogen auf gravitative Naturgefahren, wie es in Zukunft beim ASTRA angewendet werden soll.

## 1.2 Verwendete Grundlagen

Die Grundlage für die vorliegende Methode bildet der Leitfaden Risikokzept, welcher im Rahmen des PLANAT-Aktionsplans 2006-2008 erstellt wurde [48] und die im Rahmen des Projektes „Gefahrenbeurteilung, Risikoanalyse, Massnahmenplanung Nationalstrassen Kanton Bern“ [43] erarbeitete Methodik.

Weitere verwendete Grundlagen werden in den jeweiligen Kapiteln und Unterkapiteln aufgelistet. Alle verwendeten Grundlagen sind am Schluss in Kapitel Literaturverzeichnis zusammengestellt.

## 1.3 Struktur des vorliegenden Berichtes

Der vorliegende Bericht ist wie folgt gegliedert:

Kapitel 1	Einleitung
Kapitel 2	Grundmodell
Kapitel 3	Gefahrenanalyse
Kapitel 4	Expositionsanalyse
Kapitel 5	Folge- oder Konsequenzenanalyse
Kapitel 6	Risikoberechnung
Kapitel 7	Risiko- und Massnahmenbewertung
Kapitel 8	Anhänge

## 2 Grundmodell der Risikoanalyse

### 2.1 Ziele

Die Ziele für diese Methode sind teilweise aus [13] abgeleitet, im Bericht vom 9. Januar 2008 [41] formuliert und an der Sitzung der Begleitgruppe vom 14. Januar 2008 bereinigt worden. Mit der Anwendung der Methode sollen folgende Fragen beantwortet werden:

- Die von Naturgefahren betroffenen Streckenabschnitte des gesamten Nationalstrassennetzes in der Schweiz sind bekannt.
- Art, Intensität und Wahrscheinlichkeit des Auftretens der gefährlichen Prozesse sind bekannt.
- Die daraus entstehenden Folgen (Schäden) für Strassenbenutzer und -betreiber und die daraus abgeleiteten Risiken sind bekannt.
- Die Resultate können in das unternehmensweite Risikomanagement eingebunden und dort mit anderen Risiken verglichen werden.
- Aus dem Vergleich der bestehenden Risiken mit den Überprüfungs-kriterien kann der Handlungsbedarf abgeleitet werden.
- Es können Prioritäten für die Massnahmenplanung gesetzt werden.
- Die aus Kosten-Nutzenüberlegungen optimale Massnahme oder Massnahmenkombination kann evaluiert werden.
- Es können kosteneffiziente Massnahmen priorisiert und ausgeführt werden.
- Die Produkte, insbesondere die digitalen Daten, müssen mit anderen Anwendungen des ASTRA kompatibel, ergänz-, ausbau- und nachführbar sein (MISTRA).
- Die Produkte müssen für die Anwender und Entscheidungsträger auf den verschiedenen Stufen leicht verständlich und handhabbar sein.

### 2.2 Bestehende Methoden

In der Schweiz bestehen verschiedene methodische Ansätze, Risiken verursacht durch Naturgefahren entlang von Verkehrswegen zu analysieren. Diese basieren alle mehr oder weniger auf den Publikationen des BUWAL [23] und C. Wilhelm ([59] resp. [60]), welche sich explizit mit dem Thema Risikoanalysen bei Naturgefahren auseinandersetzen.

Die Unterschiede in den verschiedenen Ansätzen bestehen weniger in dem zu Grunde liegenden Risikokzept als vielmehr in der unterschiedlichen Bearbeitungstiefe und der expliziten Quantifizierung von Risiken. Es bestehen vor allem Unterschiede darin, wie viele und welche Szenarien der Gefahrenbeurteilung berücksichtigt werden sollen und welche Schadensbilder betrachtet werden. Im Bericht der PLANAT, 2004 [52] werden verschiedene methodische Ansätze zum Risikomanagement von Naturgefahren erläutert.

Im Rahmen des Projektes „Gefahrenbeurteilung, Risikoanalyse, Massnahmenplanung Naturgefahren Nationalstrassen Kanton Bern“ [43] wurden die oben erwähnten Grundlagen zur Erarbeitung eines methodischen Vorgehens verwendet.

Parallel zur Erarbeitung dieser Methodik wurde im Rahmen des Projektes AGB2005/102 „Methodik zur vergleichenden Risikobeurteilung“ Vorgaben entwickelt [10], welche die methodische Basis für Risikobetrachtungen über die verschiedenen Sicherheitsbereiche des ASTRA bilden. Die Einhaltung dieser Vorgaben soll die Vergleichbarkeit der Risiken über verschiedene Sicherheitsbereiche hinweg garantieren, die Entscheidungsfindung unterstützen und verbessern und damit eine effiziente und gesellschaftlich akzeptierbare Verteilung der Ressourcen ermöglichen. Im gleichen Zeitraum wurde auch der Bericht „Beurteilung von Risiken und Kriterien zur Festlegung akzeptierter Risiken in Folge aussergewöhnlicher Einwirkungen bei Kunstbauten“ im Rahmen des Forschungsauftrages AGB2002/020 verfasst [12].

Die Nationale Plattform Naturgefahren (PLANAT) hat zwischen 2006 und 2008 den Leitfaden Risikokzept Naturgefahren (RIKO) entwickelt [48]. Dieser Leitfaden soll eine Grundlage für den Umgang mit Naturgefahren darstellen und damit zu einem einheitlichen Umgang mit Naturgefahren beitragen. Im gleichen Zeitrahmen wurde auch das Projekt „Beurteilung der Wirkung von Schutzmassnahmen gegen Naturgefahren als Grundlage für die Raumplanung (PROTECT)“ [49] durchgeführt, in welchem einheitliche Grundsätze für die Beurteilung der Wirkung von Schutzmassnahmen bei der Beurteilung von gravitativen Naturgefahren erarbeitet wurden.

Die vorliegende Methode baut auf den bestehenden Methoden auf und wird ergänzt bezüglich der spezifischen Anforderungen der Nationalstrassen und des ASTRA. Die Methode soll sicherstellen, dass bei der Beurteilung, Bewertung und beim Management von Naturgefahren entlang der Nationalstrassen nach einem über alle Prozesse einheitlichen und nachvollziehbaren Verfahren vorgegangen wird. Sie geht auf die speziellen Bedürfnisse und Bedingungen entlang der Nationalstrassen ein und stellt den Streckenbezug sicher.

Sie stellt die Schnittstellen zu den im gleichen Zeitraum verfassten Berichte, Vorgaben und methodischen Grundlagen sicher.

Weiter bestehen verschiedene, meist prozess- oder sogar massnahmenspezifische Vorgaben des ASTRA wie die Richtlinie zur Einwirkung infolge Steinschlag auf Schutzgalerien [1] oder die Dokumentation „Steinschlag: Naturgefahr für die Nationalstrassen. Überprüfung der bestehenden Galerien.“ [3]. Die Hierarchie der verschiedenen Dokumente innerhalb des ASTRA ist wie folgt geregelt:

- Weisung
- Richtlinie
- Fachhandbuch
- Dokumentation

## 2.3 Das Risikokzept

Die Grundidee des dieser Methode zu Grunde liegenden Risikokzeptes besteht aus den folgenden Teilen (siehe auch Risikoanalyse (Was kann passieren?))

- Risikobewertung (Was darf passieren?)
- Risiken bewerten
- Massnahmenplanung (Was ist zu tun?)

Dieses Modell ist aus der Analyse, Bewertung und der damit einhergehenden Massnahmenplanung von komplexen, technischen Sicherheitsproblemen abgeleitet worden. Wie jedes Modell gibt es die Realität nur beschränkt wieder. Es stellt in diesem Sinne eine Konvention dar, mit welcher ein einheitlicher und damit auch vergleichbarer Umgang mit Sicherheitsproblemen möglich ist. Ziel des Konzeptes ist es, Risiken so weit wie möglich zu quantifizieren, darauf aufbauend Aussagen über die Vertretbarkeit dieser Risiken sowie über die Zweckmässigkeit und Zuverlässigkeit von Sicherheitssystemen machen zu können.

Auf der nachfolgenden Seite ist das Schema der Sicherheitsplanung für Naturgefahren dargestellt, welches als Basis für die Methodik dient (angepasst nach [49]).

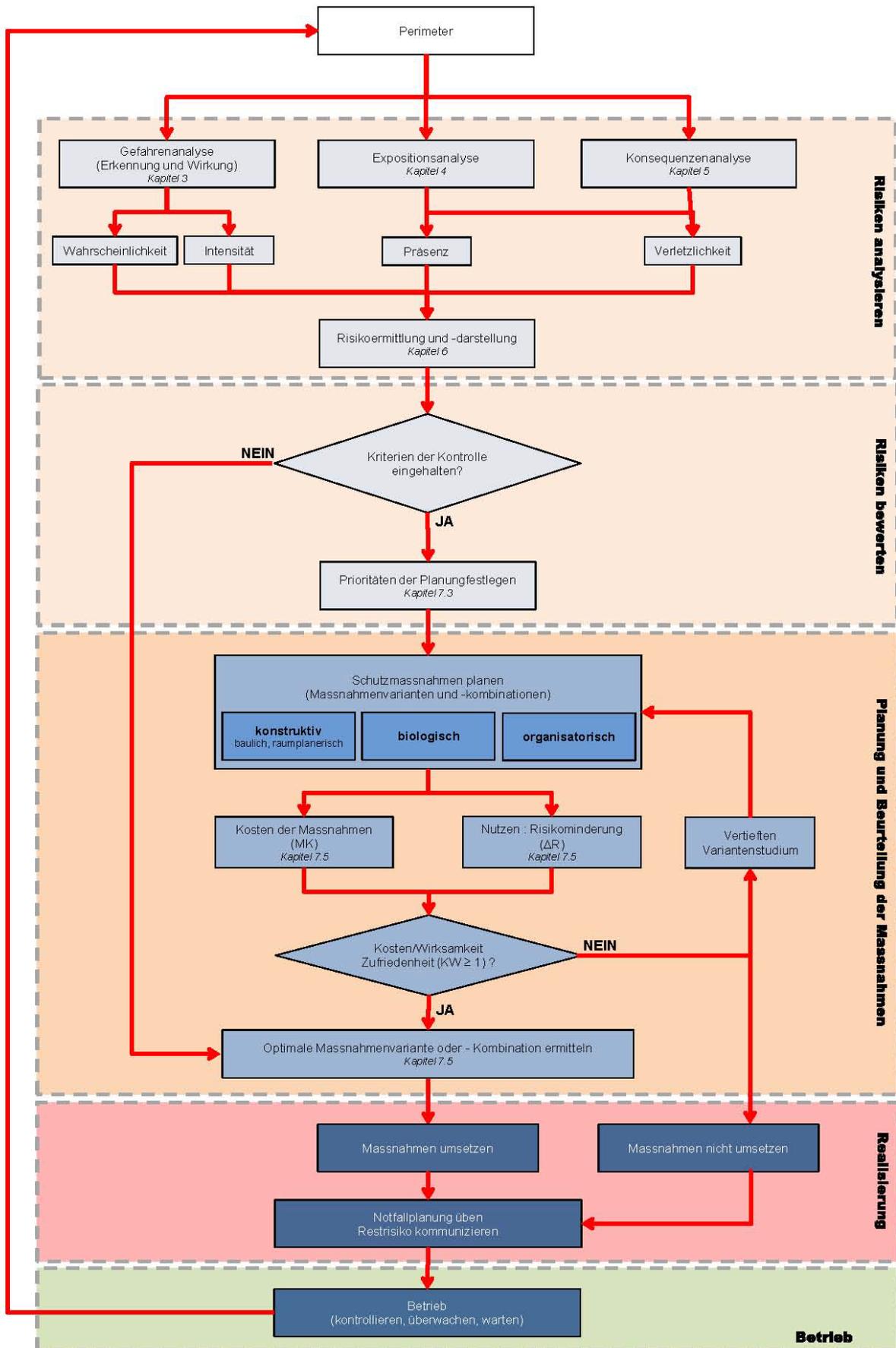


Abb. 2.1 Schema der Sicherheitsplanung für Naturgefahren (angepasst nach [48]).

**Risikoanalyse – Was kann passieren?** Die Risikoanalyse besteht aus Gefahrenanalyse, Expositionsanalyse, Konsequenzenanalyse sowie der eigentlichen Risikoermittlung. Anhand von definierten Szenarien wird bestimmt, welche Faktoren und Umstände zum Gesamtrisiko beitragen.

**Risikobewertung – Was darf passieren?** Die Risikobewertung zeigt auf, ob die ermittelten Risiken über oder unterhalb von festgelegten Bewertungskriterien (Schutzziele) liegen und ob ein Schutzdefizit besteht.

**Massnahmenplanung und -bewertung – Was ist zu tun?** Sie zeigt auf, mit welchen Massnahmen und Mitteln welche Risikoreduktion möglich ist und welches das optimale Massnahmenpaket ist, um die Schutzziele zu erreichen.

## 2.4 Risikobegriff und Risikogrössen

### Risikobegriff und -formel

Allgemein betrachtet bezeichnet das Risiko die Möglichkeit, dass eine unerwünschte Folge, d.h. ein Schaden, eintreten kann. Ein Risiko besteht dann, wenn Objekte gefährlichen Wirkungen ausgesetzt sind und als Folge ihrer Schadensempfindlichkeit Schaden nehmen können. Die Risikoformel zur Darstellung dieser Zusammenhänge lässt sich wie folgt formulieren:

$$\text{Risiko } R = \text{Schadenausmass } S \times \text{Schadenwahrscheinlichkeit } p_S$$

ausgedrückt als (statistischer) Schadenerwartungswert pro Jahr oder Schadenerwartungswert pro Ereignis.

- Das Schadenausmass wird bestimmt durch:
  - die Anzahl Personen sowie Anzahl und Wert von Objekten, die einem gefährlichen Ereignis zum Zeitpunkt seines tatsächlichen Eintrittes ausgesetzt sind,
  - die physikalische Wirkung (=Intensität) dieses Ereignisses und
  - die Schadenempfindlichkeit der betroffenen Personen, Objekte oder eines Systems gegenüber diesem Ereignis.
- Die Schadenwahrscheinlichkeit wird bestimmt durch:
  - die Wahrscheinlichkeit eines gefährlichen Ereignisses und
  - die Wahrscheinlichkeit, dass sich Personen oder Werte im gefährdeten Raum aufhalten.

### Schadensbilder

Bei einem Naturereignis können entweder Personen, Objekte oder Systeme betroffen sein:

- **Direkte Schäden:**
  - Personen können infolge eines Naturereignisses getötet oder verletzt werden.
  - Gefährdete Objekte (z. B. Gebäude, Infrastruktur wie Strasse und Schiene, Leitungen, Grünanlagen u. v. m.) werden durch Naturereignisse überführt, beschädigt oder gar zerstört. Der Schaden entspricht in der Regel dem Geldbetrag, der notwendig ist um das Objekt wieder in den Zustand wie vor dem Ereignis zu versetzen. Direkte Schäden können meist direkt in Geldeinheiten quantifiziert werden.
- **Indirekte Schäden (Folgeschäden):**
  - Dazu sind insbesondere Kosten infolge Betriebsunterbruch oder Verdiensteinbussen zu rechnen.
  - Schäden an Natur und Umwelt z. B. durch das Austreten von umweltgefährdenden Stoffen aus einem Tanklastwagen.
  - Neben diesen Schäden, denen mehr oder weniger ein Wert zugeordnet werden kann, können auch Objekte betroffen sein, denen nicht ohne Weiteres ein ökonomischer Wert zugeordnet werden kann. Dazu sind vor allem Kulturobjekte zu

zählen, die bei einem Schaden nicht oder unvollständig ersetzt werden können.

Das in den Risikoanalysen für die Nationalstrassen zu berücksichtigende Schadenpotenzial wird in folgende Gruppen unterteilt (siehe auch. Abb. 4.1, Seite 42):

- **Personen:** Dazu gehören alle Personen, die sich auf der Fahrbahn oder auf Nebenanlagen aufhalten, die unter der Verantwortung des ASTRA stehen. Als Schadenindikator werden Todesopfer genommen, Verletzte werden nicht separat berücksichtigt.<sup>1</sup>
- **Objekte:** Dazu gehören die Fahrbahn und die dazugehörenden Kunstbauten sowie alle Nebenanlagen, welche unter der Verantwortung des ASTRA stehen (UH-Peri). Andere Schäden an Objekten wie Fahrzeuge oder transportierte Güter werden nicht berücksichtigt.
- **Verfügbarkeit:** Durch Naturereignisse vorsorglich oder nachfolgend gesperrte Strassenabschnitte sind für den Strassenbenutzer nicht mehr verfügbar. Es entstehen Folgeschäden durch Umfahungskosten.

Abb. 2.2 Mögliche Kategorisierung von Schäden (*kursiv: in der Methodik berücksichtigt, normal: in der Methodik nicht berücksichtigt*).

	Direkte Schäden	Indirekte Schäden
<b>Interne Schäden</b>	Todesfälle Mitarbeiter ASTRA <i>Sachschäden an der Infrastruktur</i>	Imageschäden
<b>Externe Schäden</b>	<i>Todesfälle Strassenbenutzer allgemein</i> Sachschäden an Fahrzeugen und transportierten Gütern Schäden an Natur und Umwelt	<i>Umfahrungskosten infolge gesperrter Strasse (Verfügbarkeit)</i>

### Risikogrössen

Ein Risiko kann qualitativ wie auch quantitativ bestimmt werden. Wird das Risiko qualitativ bestimmt, so ist die Grösse für das Risiko einheitslos und relativ.

Wird das Risiko quantifiziert so kann zwischen dem Personen- und dem Sachrisiko einerseits und zwischen kollektiven und individuellen Risiken andererseits unterschieden werden:

- Wird das Risiko nur für ein mögliches Schadenobjekt berechnet, so spricht man vom Objektrisiko, wird das Risiko für alle gefährdeten Objekte in dem als Kollektiv geltenden System betrachtet so spricht man vom kollektiven Risiko. Das **Kollektive Risiko** gibt den Erwartungswert der Gesamtheit aller Schäden einer Bezugseinheit wieder:
  - Das Sachrisiko wird hier als Risiko pro Jahr (oder jährlicher statistischer Schadenerwartungswert) berechnet und in [Franken / Jahr] ausgedrückt.
  - Das Personenrisiko wird hier als Risiko pro Jahr berechnet und in [Anzahl Todesfälle / Jahr] ausgedrückt. Daraus kann abgeleitet werden, in wie vielen Jahren dass statistisch gesehen mit einem Todesopfer gerechnet werden muss.
  - Um das Personenrisiko direkt mit dem Sachrisiko vergleichen zu können und um diese beiden Risiken zu addieren, kann das Personenrisiko monetarisiert werden. Dafür können verschiedene Beträge eingesetzt werden:
    - Grenzkosten gemäss Risikokzept der PLANAT [48]
    - Soziale Unfallkosten gemäss [5] (entspricht CHF 1.8 Mio.).
    - Unfallkosten gemäss [14] (entspricht rund CHF 3.4 Mio.).
  - Die Grenzkosten werden vom Bundesamt für Raumentwicklung ARE bestimmt (*Value of statistical life (VOSL) : empfohlener Wert der Zahlungsbereitschaft für die Verminderung des Unfall- und Gesundheitsrisikos in der Schweiz*).

<sup>1</sup> Die Folgekosten, die durch Verletzte bei einem Unfall verursacht werden, können sehr gross sein. Weil aber im Bereich Naturgefahren Erfahrungswerte fehlen, um Anzahl und Ausmass von Verletzten bestimmen zu können, wird zur Vereinfachung der zu berücksichtigenden Konsequenzen bei Personen nur die Todesopfer berücksichtigt.

- Aus dem kollektiven Personenrisiko kann rechnerisch abgeleitet werden, wie gross das Risiko für das Individuum ist, das sich in einem gefährdeten Gebiet aufhält. Man spricht vom **individuellen Todesfallrisiko**, die Einheit des individuellen Risikos ist in der Regel die Sterbewahrscheinlichkeit pro Jahr oder auch pro Einheit einer bestimmten Tätigkeit (z.B. pro km Autofahren)<sup>2</sup>.

## 2.5 Allgemeines Vorgehen

Die Risikoanalyse wird in folgende Schritte unterteilt (siehe auch Abb. 2.1):

- **Zielsetzung, Systemabgrenzung und Vorbereitungsarbeiten:** Definition der Ziele der Risikoanalyse, Abgrenzung des zu beurteilenden Systems.
- **Gefahrenanalyse:** Gefahrenerkennung (Festlegung der massgebenden Szenarien und ihrer Eintretenswahrscheinlichkeit) und Wirkungsanalyse (Bestimmung von Art, Ausdehnung und physikalischer Wirkung des Prozesses).
- **Expositionsanalyse:** Identifikation von Art und Ort der gefährdeten Objekte sowie ihrer zeitlichen und örtlichen Präsenz.
- **Konsequenzenanalyse:** Ermittlung der Schadenempfindlichkeit (Verletzlichkeit) und des Schadenausmasses an einem Objekt in Abhängigkeit der Prozessintensität.
- **Risikoermittlung und -darstellung:** Berechnung der massgebenden Risikogrössen und ihre Darstellung auf Karten, Tabellen und Diagrammen.

Die konkrete Ausgestaltung der Risikoanalyse, insbesondere der Detaillierungs- und Quantifizierungsgrad, hängen in erster Linie von den Zielen ab, die damit verfolgt werden. Ein wichtiger limitierender Faktor im Detaillierungs- und Quantifizierungsgrad ist die Qualität und der Quantifizierungsgrad der zur Verfügung stehenden Daten. Unabhängig von den Ansprüchen an eine Risikoanalyse ist der dargelegten Systematik zu folgen.

## 2.6 Zielsetzung, Systemabgrenzung und Vorbereitungsarbeiten

Zu Beginn der Arbeiten sind zusammen mit den verantwortlichen Stellen folgende Punkte zu klären:

- Was ist die Problemstellung?
- Wer ist involviert?
- Welche Ziele werden mit der Risikoanalyse verfolgt?
- Inhaltliche wie geographische Abgrenzung der Beurteilung?
- Welche Grundlagen sind bei den verantwortlichen Stellen vorhanden?
- Erwartete Schlussergebnisse?

Aufgrund dieser Situationsanalyse kann der notwendige Detaillierungsgrad resp. der Aufwand festgelegt werden.

Zu den Vorbereitungsarbeiten gehört, wie in anderen ähnlich gelagerten Untersuchungen, die Beschaffung der notwendigen Grundlagen (siehe auch folgende Kapitel) und die Kontaktierung von involvierten Stellen, Fach- und Gebietsspezialisten sowie lokalen Kennern des Gebietes.

Weiter sind die Projektorganisation, die Zuständigkeiten, die erwarteten Zwischenresultate, Terminpläne usw. festzulegen.

---

<sup>2</sup> In der Realität bilden alle Individuen zusammen das Kollektiv, das Kollektive Risiko wird aus der Summe aller individuellen Risiken gebildet. Rechnerisch wird der umgekehrte Weg gegangen, da die gefährdeten Personen in einem Raum als Kollektiv (z. B. über den durchschnittlichen täglichen Verkehr (DTV)) erfasst werden.

## 2.7 Perimeter

Die Gefahren- und Risikoanalyse wie auch die Massnahmenplanung haben bezogen auf das Streckennetz der Nationalstrassen unter Berücksichtigung anderer allfälliger Schadenobjekte zu erfolgen. Als massgebendes Schadenpotenzial gelten in erster Linie die in der Fach-Applikation UH-Peri des ASTRA bezeichneten Bereiche und Objekte (siehe auch Kap. 4.2). Die Prozessquellen sind ihrem objektrelevanten Gefahrenpotenzial entsprechend zu untersuchen. Der genaue Untersuchungsperimeter ist abhängig von der jeweiligen Fragestellung. Er ist durch den oder zusammen mit dem Auftraggeber vorgängig zu definieren.

Unabhängig davon kann der Perimeter eines zu untersuchenden Streckenabschnitts oder Objektes folgendermassen unterteilt werden (siehe auch Abb. 2.3):

- „Perimeter Schadenpotenzial“: Dieser umfasst in der Regel die Objekte im UH-Peri plus tal- und bergseitig ca. 10 m. Bei Bedarf kann der „Perimeter Schadenpotenzial“ aber erweitert werden (z. B. für die Beurteilung der Wirkung von Schutzbauten u. a.). Er ist ein Teilbereich des „Perimeter Gefahrenbeurteilung“. Es ist zu berücksichtigen, dass Naturgefahrenprozesse:
  - über dem möglichen Schadensobjekt verlaufen können (z. B. Gerinne verläuft über Galeriedach),
  - auf das Schadensobjekt direkt einwirken können (z. B. Prozess tangiert Fahrbahn) oder
  - unter dem eigentlichen Schadensobjekt verlaufen können (z. B. Gerinne oder Lawine verläuft unterhalb einer Brücke).
 Es ist zu beachten, dass durch einen Gefahrenprozess oder Folgen davon (z.B. Böschungs-rutschung) Elemente der Konstruktion (z. B. Brückenpfeiler, Stützmauern, Galeriedächer) tangiert werden können. Somit gehört dieser Bereich auch zum „Perimeter Schadenpotenzial“, auch wenn die Fahrbahn oder andere Objekte selber nicht direkt von diesem Prozess betroffen sind. Es ist in jedem Fall abzuklären, ob eine Gefährdung besteht. Der Entscheid muss vom Gefahrengutachter dokumentiert werden. Wird die Konstruktion tangiert, so sind mögliche Schäden dort abzuschätzen (siehe Kapitel 5).
- „Perimeter Gefahrenbeurteilung“: Dieser umfasst alle Prozessquellen, die auf den untersuchten Streckenabschnitt oder das untersuchte Objekt (= Perimeter Schadenpotenzial) einwirken können. Dieser Perimeter ist vom Auftragnehmer abzugrenzen. Innerhalb des „Perimeter Gefahrenbeurteilung“ gibt es Prozessräume, die den „Perimeter Schadenpotenzial“ betreffen und Prozessräume, die den Perimeter Schadenpotenzial nicht betreffen. Beurteilte, aber für den Perimeter Schadenpotenzial nicht relevante Prozessquellen müssen dokumentiert werden (siehe Abb. 3.2).

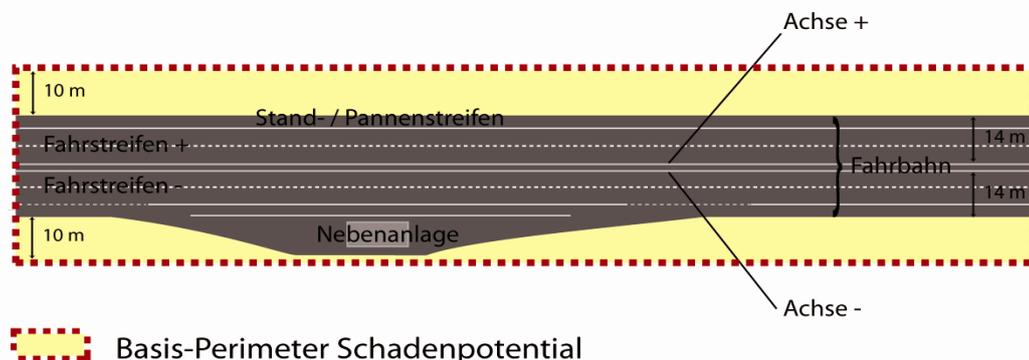


Abb. 2.3 Schematische Darstellung des Perimeter-Begriffes.

## 3 Gefahrenanalyse

### 3.1 Allgemeines

#### Betrachtete Naturgefahrenprozesse

Es wird das Vorgehen für folgende Naturgefahrenprozesse beschrieben:

*Abb. 3.1 In der vorliegenden Methode behandelte Naturgefahrenprozesse*

Hauptprozess	Gefahrenprozesse
Sturz	Steinschlag / Blockschlag
	Felssturz
	Eisschlag
Wasser	Übersarung, Überflutung
	Übermürung
	Ufererosion / Unterkolkung
Lawinen	Fliesslawine
	Staublawine
	Gleitschnee
Rutschungen	Permanente Rutschungen und Sackungen
	Spontane Rutschungen
	Hangmuren
Einsturz / Absenkung	Einsturz / Absenkung

#### Beurteilung pro Prozessquelle

Die Gefahrenerkennung wie auch die Wirkungsanalyse haben auf eine Prozessquelle bezogen zu erfolgen. Als Prozessquelle wird ein Gebiet verstanden, das über eine einheitliche Disposition zur Gefahrenentstehung verfügt (siehe Abb. 3.2). Das ist bei den Lawinen in der Regel der Lawinenzug mit Anrissgebiet, bei den Wassergefahren das Gerinne und sein Einzugsgebiet. Bei den Hangmuren, Sturzprozessen, Rutschungen und Gebieten mit Einsturz / Absenkung müssen diese Gebiete aufgrund von klar dokumentierten Kriterien und Ereignissen abgegrenzt werden (siehe Kapitel 3.3).

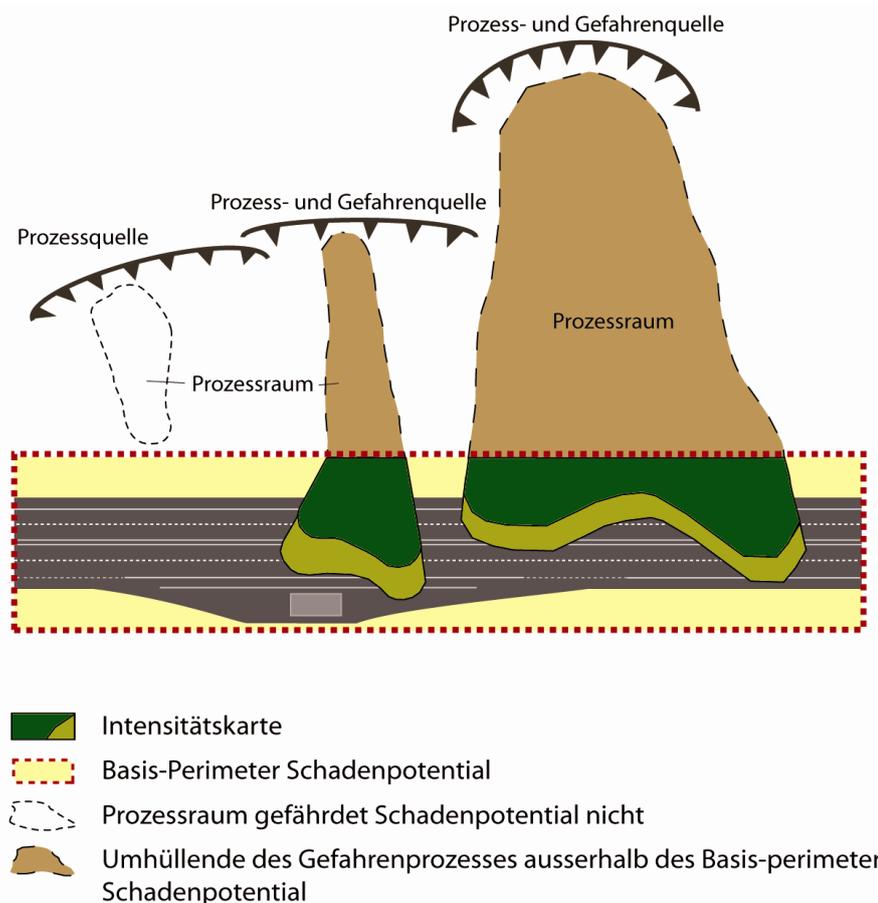


Abb. 3.2 Konzept der Gefahrenbeurteilung pro Prozessquelle.

### Wiederkehrperioden der Gefahrenanalyse

Die möglichen Ereignisgrössen werden mit Hilfe von Wiederkehrperioden bestimmter Jährlichkeit kategorisiert. Die Grundszenarien (sog. Szenarien der Gefahrenentstehung) werden pro Prozessquelle für folgende Wiederkehrperioden formuliert:

Abb. 3.3 In der Gefahrenanalyse zu berücksichtigende Wiederkehrperioden

Wahrscheinlichkeit in Worten	Auftreten in Worten	Wiederkehrperiode / Jährlichkeit	Bemerkungen
sehr hoch	sehr häufig	> 0 bis und mit 10 Jahre	Konkreter Wert ist gestützt auf den Ereigniskataster festzulegen.
hoch	häufig	> 10 bis und mit 30 Jahre	
mittel	selten	> 30 bis und mit 100 Jahre	
gering	sehr selten	> 100 bis und mit 300 Jahre	
sehr gering	extrem selten	> 300 Jahre	Siehe Bemerkungen unten.

- Die Wiederkehrperiode eines Ereignisses wird an der Prozessquelle bestimmt.
- Insbesondere sehr häufige Ereignisse sind mit Katasterdaten zu belegen, für die sehr seltenen und extrem seltenen Ereignisse sind Extrapolationen gemäss den einschlägigen Publikationen vorzunehmen.
- Es ist möglich, dass Wiederkehrperioden wegfallen. Nichtberücksichtigte Wiederkehrperioden sind zu erwähnen und zu begründen.

- Ereignisse mit Wiederkehrperioden grösser als 300 Jahre werden als Restgefährdung bezeichnet. Sie entsprechen bei den Wassergefahren dem Extremhochwasser (EHQ). Die Restgefährdung wird bei den Talflüssen in der Gefahrenanalyse so weit als möglich bestimmt (Ausdehnung mit Intensitätsabstufung). Bei den anderen Prozessen ist diese nur anzugeben, wenn spezielle Gefährdungssituationen bestehen wie z. B. eine bekannt Bergsturzgefahr oder bei einem Wildbach eine spezielle Situation im Einzugsgebiet. Dieser Sachverhalt soll im Technischen Bericht diskutiert werden. Für Jährlichkeiten > 300 Jahre wird keine Risikobestimmung durchgeführt.

### Grundsätzliches Vorgehen

Das hier dargestellte Vorgehen stellt den heutigen Stand der Technik der Gefahrenbeurteilung dar und ist in den entsprechenden Bundespublikationen dokumentiert.

Abb. 3.4 Arbeitsschritte der Gefahrenbeurteilung

Schritt	Bemerkungen
<b>Gefahrenerkennung</b>	
1. Beschaffung, Durchsicht und Auswertung bestehender Grundlagen	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Vorhandene Unterlagen gemäss Angaben Auftraggeber und Kenntnis Auftragnehmer.</li> <li>- Gefahrenhinweiskarten.</li> <li>- Gefahrenkarten und andere naturgefahrenbezogene Untersuchungen und Berichte.</li> <li>- Ereigniskataster, Ereignisdokumentationen und Ereignisanalysen.</li> <li>- Schutzbautenkataster.</li> <li>- Pläne bestehender Bauwerke.</li> </ul>
2. Auswertung historischer Ereignisse	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Angabe zu Ereignissen, deren Ursachen und Schadenwirkung.</li> <li>- Die Ereignisse sind wenn möglich Prozessquellen zuzuordnen.</li> <li>- Neben dem Ereigniskataster des ASTRA sind allenfalls weitere Quellen wie andere bestehende Kataster (z. B. Gemeinden, Kraftwerke, Bahnen) und Datenbanken (z. B. BAFU, WSL), Projektakten (Auftraggeber wie Auftragnehmer), lokale Gebietskenner, Ereignisdienste, historische Dokumente, Archive und auch Medien (Zeitungen, Internet) zu konsultieren.</li> </ul>
3. Geologische-geomorphologische-hydrogeologische Zustandsanalyse	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Karte der Phänomene gemäss Kapitel 3.2.</li> <li>- Dispositionsanalyse (Aktivität, Auslösemechanismen, Wirkungsweisen) von Prozessen.</li> <li>- Unterteilung der Gefahrenquellen in homogene Bereiche mit einheitlicher Disposition (sog. Prozessquelle).</li> <li>- Die durchzuführenden Abklärungen und Analysen im Start-, Transit- und Ablagerungsgebiet sind in den prozessspezifischen Kapiteln festgelegt.</li> </ul>
4. Formulierung der Grundszenarien (sog. Szenarien der Gefahrenentstehung)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Die möglichen Ereignisgrössen werden mit Hilfe der Szenarien gemäss Abb. 3.3 kategorisiert. Bestehende Massnahmen (in Anlehnung an [49]<sup>3</sup>, und der aktuelle Waldzustand sind szenarienbezogen zu berücksichtigen. Die Wirkung bestehender Schutzmassnahmen ist szenarienbezogen lückenlos und nachvollziehbar zu dokumentieren.</li> </ul>
5. Beurteilung bestehender Schutzmassnahmen und / oder Schwachstellenanalyse	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Projektakten.</li> <li>- Beurteilung der Zuverlässigkeit aufgrund von Tragsicherheit, Gebrauchstauglichkeit und Dauerhaftigkeit für jedes Grundszenario und verschiedene Gefährdungsbilder siehe Fussnote<sup>3</sup>.</li> <li>- Neben dem Schutzbautenkataster sind weitere Quellen wie Kontroll- und Unterhaltsplan, Pläne des ausgeführten Bauwerkes und / oder Beurteilungen vor Ort zur Beurteilung der Zuverlässigkeit notwendig.</li> </ul>

<sup>3</sup> Da dieses Dokument mit Fokus auf die Gefahrenkarten und die Raumplanung erstellt wurde, müssen die darin verwendeten konkreten Werte und Kriterien im Hinblick auf die Gefahrenbeurteilung für das ASTRA noch diskutiert werden.

<b>Wirkungsanalyse</b>	
6. Wirkungsanalyse	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Aufgrund aller zur Verfügung stehenden Grundlagen werden pro Prozessquelle und Szenario das Ausmass und die räumliche Auftretenswahrscheinlichkeit möglicher Ereignisse beurteilt.</li> <li>- Die Beurteilung erfolgt unter Berücksichtigung der aktuellen Situation (Wald, bestehende Bauten usw.).</li> <li>- Die Wirkungsanalyse hat derart zu erfolgen, dass die spezifischen Bedingungen entlang von Nationalstrassen berücksichtigt werden (siehe unten).</li> <li>- Im „Perimeter Schadenpotenzial“ (siehe <i>Abb. 2.1</i>) muss der Wirkungsraum mit Abstufung nach Intensitäten abgegrenzt werden. Zusätzlich zu erhebende prozessspezifische Parameter sind in den entsprechenden Kapiteln definiert. Im „Perimeter Gefahrenbeurteilung“ muss nur die Umhüllende des Wirkungsraumes abgegrenzt werden (siehe <i>Abb. 2.1</i>).</li> <li>- Die Intensitätskriterien werden gemäss den einschlägigen Publikationen definiert. Sie sind in den prozessspezifischen Kapiteln genauer beschrieben.</li> <li>- Die zusätzlich zu erhebenden Parameter für die nachfolgende Risikoberechnung sind in den prozessspezifischen Kapiteln beschrieben.</li> <li>- Die zu verwendenden Modelle und Methoden sind in den prozessspezifischen Kapiteln beschrieben.</li> </ul>
7. Darstellung der Wirkungsanalyse: Intensitätskarten	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Intensitätskarten für den Perimeter Schadenpotenzial pro Prozessquelle für alle ausgewählten Wiederkehrperioden.</li> <li>- Das Minimum der abzugebenden Produkte ist in Kapitel 3.8 beschrieben.</li> <li>- Das Datenmodell wird in einem separaten Dokument beschrieben.</li> </ul>

Die Ausarbeitung hat nach den Grundsätzen, Methoden und Kriterien zeitgemässer Naturgefahrenbeurteilung zu erfolgen. Sie muss folgende drei Minimalanforderungen erfüllen:

- Fachliche Richtigkeit nach dem Stand der Fachkunde.
- Nachvollziehbarkeit der Beurteilung und Transparenz bezüglich Vorgehen, Methoden und Unsicherheiten.
- Umsetzung der gesetzlichen Grundlagen, einschlägigen Normen, Richtlinien, Empfehlungen und vorliegender Methodik.

Fakten, Berechnungen und Interpretationen müssen klar voneinander unterscheidbar sein, Unsicherheiten und Annahmen müssen deklariert werden.

#### **Lagegenauigkeit der Wirkungsanalyse**

- Die Wirkungsanalyse muss auf die spezifischen Bedingungen im Bereich des Schadenpotenzials (z. B. Fahrbahn) Rücksicht nehmen. Die Fahrbahn (eine 4-spurige Nationalstrasse ist rund 25 m breit) muss als prozessbeeinflussendes Element berücksichtigt werden.
- Die Auflösung in der Wirkungsanalyse muss so genau sein, dass Aussagen dazu gemacht werden können, ob die ganze Fahrbahnbreite, die der Fahrstreifen einer Richtung oder nur der randliche Bereich der Fahrbahn (Standstreifen) tangiert wird.
- In der Wirkungsanalyse muss unterschieden werden, ob der Prozess:
  - über der Fahrbahn (sprich Galerie- oder Tunnelportaldach) verläuft und somit die Fahrbahn selber nicht tangiert,
  - die Fahrbahn selber tangiert oder
  - unter der Fahrbahn verläuft (z. B. Gerinne unter einer Brücke).
- Es sind auch Kombinationen von Intensitätsflächen über, auf und unter der Fahrbahn möglich.
- Die Wirkungsbereiche der verschiedenen Prozessquelle können sich überlappen (siehe *Abb. 3.2*).

### Beurteilung der Wirkung von Schutzmassnahmen

Die Beurteilung der Wirkung von Schutzmassnahmen hat in Anlehnung an [49]<sup>4</sup> zu erfolgen. Bestehen objektspezifischere Vorgaben bezüglich Einwirkung und Dimensionierung (z. B. Galerien oder Tunnelportale), so sind diese nach diesen Vorgaben zu beurteilen.

Das in [49] beschriebene Vorgehen bezieht sich nur auf Massnahmen, die eine klar erkennbare und bestimmbare Wirkung auf den Prozess ausüben. Temporäre Massnahmen wie künstliche Lawinenauslösungen oder Felsreinigungen und auch Massnahmen, die einen Einfluss auf das Schadenpotenzial oder die Schadenempfindlichkeit haben, werden im Schritt „Gefahrenanalyse“ nicht berücksichtigt. Sie werden in den nachfolgenden Arbeitsschritten der Risikoanalyse mit einbezogen.

Die Wirkung bestehender Schutzmassnahmen ist für jede Wiederkehrperiode lückenlos und nachvollziehbar zu dokumentieren.

## 3.2 Karte der Phänomene

### Ziel

Die „Karte der Phänomene“ ist eine der Grundlagen, die für die Gefahrenerkennung bei Massenbewegungen (Sturz, Rutschungen und Einsturz / Absenkung) sowie beim Prozess Murgang / Wildbach bereitgestellt werden müssen. Diese stellt Spuren vergangener Ereignisse und Erscheinungen geologischer, geomorphologischer oder hydrologischer Art dar. Daneben werden auch künstliche Eingriffe des Menschen erfasst, sofern diese einen Einfluss auf den Ablauf der Prozesse haben können, was insbesondere für Schutzbauwerke gilt. Sie dient:

- der Geländeanalyse: Beobachtung und Interpretation von Geländeformen („stumme Zeugen“).
- der Erkennung und der Abschätzung möglicher Prozesse (Disposition, Auslösemechanismen, Wirkungsweise).
- der Nachvollziehbarkeit der Gefahrenbeurteilung und der Transparenz.

### Methodische Grundlagen

- BUWAL, BWW, 1995: Symbolbaukasten zur Kartierung der Phänomene [27].
- BWG, 2002: EDV-Legende für die digitale Kartographie (ArcGis, MapInfo, MicroStation und AutoCad) [29].
- PLANAT, BWG, BUWAL, 2000: Vom Gelände zur Karte der Phänomene – Kompendium [54].

### Perimeter

Die Karte der Phänomene wird für den „Perimeter Gefahrenbeurteilung“ gemäss Kapitel 2.7 erstellt. Davon abweichende Perimeter sind mit dem Auftraggeber abzusprechen.

### Prozessart

Karten der Phänomene sind für die Prozesse „Sturz“, „Wasser“, „Rutschungen“ und „Einsturz / Absenkung“ zu erstellen.

Hydrologische Phänomene (z. B. Quellen) sowie anthropogene Erscheinungen (insbesondere Schutzbauten) sind prozessartenspezifisch aufzunehmen und auf der Karte darzustellen.

### Bearbeitungstiefe

Die Bearbeitungstiefe ist der Fragestellung anzupassen. Sie ist vom Auftraggeber vorzugeben oder mit diesem abzusprechen.

<sup>4</sup> Da dieses Dokument mit Fokus auf die Gefahrenkarten und die Raumplanung erstellt wurde, müssen die darin verwendeten konkreten Werte und Kriterien im Hinblick auf die Gefahrenbeurteilung für das ASTRA noch diskutiert werden.

### Art der Datenerhebung

Die Karte der Phänomene ist in erster Linie eine Feldkartierung. Die Interpretation von Luftbildern, Höhenmodellen und anderen Daten kann – wo sie angewendet wird – ebenfalls in die Darstellung auf der Karte der Phänomene einfließen.

### Produkte

Folgende Produkte sind dem Auftraggeber abzugeben:

- Karte der Phänomene: Symbolik gemäss oben genannter Grundlagen, geplottet oder handgezeichnet. Der Massstab ist von der konkreten Fragestellung abhängig und vorgängig mit dem Auftraggeber festzulegen.
- Erläuternder Bericht zur Karte der Phänomene mit einer Beschreibung der Phänomene (z. B. in Tabellenform). Es ist insbesondere auf die für die jeweilige Fragestellung relevanten Gebiete und Prozesse einzugehen und falls notwendig mit Fotos zu ergänzen.

## 3.3 Prozess „Sturz“

### Einleitung / Ziel

Für die Beurteilung der Sturzgefahr sind die Startgebiete in Prozessquellen gleicher Disposition einzuteilen, Sturzmodellierungen für jede Prozessquelle auszuführen und die Resultate der Wirkungsanalyse szenarienbezogenen pro Prozessquelle darzustellen. Die Beurteilung hat pro Gefahrenprozess zu erfolgen. Zum Hauptprozess „Sturz“ gehören folgende Gefahrenprozesse:

- Stein- und Blockschlag
- Felssturz
- Eisschlag

Bergsturz wird nicht systematisch abgeklärt. Sollten sich im Rahmen der Gefahrenbeurteilung Hinweise auf konkrete Gefährdungsszenarien ergeben, so ist das weitere Vorgehen mit dem Auftraggeber abzusprechen.

### Methodische Grundlagen

- Bundesamt für Strassen (ASTRA), 2004: Überprüfung der bestehenden Galerien – Generelle Überprüfung. Dokumentation [3].
- Bundesamt für Strassen (ASTRA), 2008: Einwirkungen infolge Steinschlag auf Schutzgalerien. Richtlinie, 2008, V2.01 [1].
- BWW, BRP, BUWAL, 1997: Berücksichtigung der Massenbewegungsgefahren bei raumwirksamen Tätigkeiten. Empfehlungen [17].
- Gerber, W., 1994: Beurteilung des Prozesses Steinschlag. Kursunterlagen der Forstlichen Arbeitsgruppe Naturgefahren, Poschiavo. Forschungsanstalt für Wald Schnee und Landschaft (WSL), Birmensdorf [34].

### Perimeter

Unterteilung des Perimeters gemäss Kapitel 2.7

## Inhalt

Die Beurteilung der Sturzgefahr beinhaltet folgende Arbeitsschritte:

Abb. 3.5 Arbeitsschritte der Gefahrenanalyse, Hauptprozess „Sturz“

<b>Gefahrenerkennung</b>	
1. Beschaffung, Durchsicht und Auswertung bestehender Grundlagen	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Topographische Karten, Höhenmodell.</li> <li>- Geologische, geotechnische, geomorphologische und hydrogeologische Karten.</li> <li>- Bodenbedeckung, insbesondere Wald.</li> <li>- Gefahrenkarten und andere bestehende geologische und naturgefahrenbezogene Untersuchungen und Berichte.</li> <li>- Luftbilder.</li> <li>- Ereignisdokumentationen und –analysen.</li> <li>- Schutzbautenkataster und Pläne bestehender Schutzbauten.</li> <li>- Pläne bestehender Bauwerke.</li> <li>- Weitere vorhandene Grundlagen gemäss Angaben Auftraggeber.</li> </ul>
2. Auswertung historischer Ereignisse	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Siehe Kapitel 3.1</li> </ul>
3. Geologische-geomorphologische-hydrogeologische Zustandsanalyse	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Karte der Phänomene (siehe Kapitel 3.2).</li> <li>- Trennflächenerfassung gemäss Abb. 3.6.</li> <li>- Dispositionsanalyse (Aktivität, Auslösemechanismen, Wirkungsweise).</li> <li>- Unterteilung der Startgebiete in homogene Bereiche einheitlicher Disposition (= Prozessquellen). Die Prozessquellen sind mit einem eindeutigen Namen zu bezeichnen.</li> <li>- Kartographische Darstellung der Disposition der Prozessquellen in geeigneter Form auf der Karte der Phänomene.</li> <li>- Beurteilung Transit- und Ablagerungsbereich (Rauhigkeit, Dämpfung, Wald).</li> <li>- Eisschlag: Es sind diejenigen Gebiete auszuweisen, in denen nach Ereigniskataster oder nach Auskunft der Unterhaltsverantwortlichen Eisschlag bekannt ist oder wo aufgrund von Plausibilitätsüberlegungen damit gerechnet werden muss.</li> </ul>
4. Formulierung der Grundscenarien (sog. Szenarien der Gefahrenentstehung)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Steinschlag / Blockschlag: Definition von Szenarien pro Prozessquelle unter Berücksichtigung der Trennflächenverhältnisse und unter Berücksichtigung der vorhandenen Ereignisdokumentation und der bestehenden Schutzbauten in Form von Blockgrösse resp. Abbruchvolumen pro Wiederkehrperiode.</li> <li>- Felssturz: Definition von Szenarien pro Prozessquelle unter Berücksichtigung der Trennflächenverhältnisse und unter Berücksichtigung der vorhandenen Ereignisdokumentation und der bestehenden Schutzbauten in Form von Abbruchvolumen pro Wiederkehrperiode. Weitergehende geologische Analysen zur Beurteilung der Felssturzgefährdung werden in Absprache mit dem Auftraggeber festgelegt.</li> <li>- Eisschlag: Festlegen der massgebenden Volumen und Fallhöhen aufgrund der historischen Ereignisse und Beobachtungen im Feld sowie aufgrund von Plausibilitätsüberlegungen für die relevanten Wiederkehrperioden.</li> </ul>
5. Beurteilung bestehender Schutzmassnahmen	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Siehe Kapitel 3.1</li> </ul>

<b>Wirkungsanalyse</b>	
<p>6. Wahrscheinlichkeit und Ausmass möglicher Ereignisse</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Es sind szenarienbezogene Sturzmodellierungen pro Prozessquelle entlang repräsentativer Hangprofile auszuführen. Die Hangprofile sind so auszuwählen, dass eine Interpolation der Resultate auf die Ablagerungsgebiete daneben möglich ist. Die Kennwerte „Sturzenergie“ und „Sprunghöhen“ müssen über das ganze Profil, oder mindestens für folgende Stellen verfügbar sein: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Niveau Fahrbahn resp. anderes Schadenpotenzial gemäss Kap. 2.7.</li> <li>- Niveau bestehende Schutzbauten.</li> <li>- Stellen im Gelände, an denen geeignete Schutzmassnahmen realisiert werden können.</li> </ul> </li> <li>- In begründeten Fällen kann auf Sturzmodellierung einer Prozessquelle verzichtet werden (z. B. sehr einfache Verhältnisse wie kurze und mehr oder weniger homogene Transit- und Ablagerungsgebiete). Dann soll die Pauschalgefällemethode nach Gerber (1994) zur Abschätzung von Sprunghöhen, Sturzenergie und Reichweite verwendet werden.</li> <li>- Die Wirkung des aktuellen Waldzustandes muss bei der Sturzmodellierung berücksichtigt werden.</li> <li>- Schutzbauten werden gemäss Kapitel 3.1 berücksichtigt.</li> <li>- Galerien: Bei mittlerer Bearbeitungstiefe wird die Wirkung bestehender Galerien gemäss der Dokumentation des ASTRA, 2004, Phase F bis J beurteilt. Die Phasen A bis E werden gemäss dem in der hier vorliegenden Methodik beschriebenen Vorgehen durchgeführt. Ist eine objektspezifische Untersuchung einer Galerie notwendig, so ist diese nach der entsprechenden Richtlinie des ASTRA durchzuführen.</li> <li>- Die Berechnungen sind auf ihre Plausibilität hin zu prüfen (z. B. anhand der dokumentierten Ereignisse).</li> <li>- Eisschlag: Die Wirkung von Eisschlag wird mit <math>E = m \times g \times h</math> berechnet, die Reichweiten müssen aufgrund der historischen Ereignisse und aufgrund von Plausibilitätsüberlegungen abgeschätzt werden.</li> <li>- Die Lagegenauigkeit der Wirkungsanalyse erfolgt gemäss Kapitel 3.1.</li> <li>- Die Abstufung der Intensitätsklassen erfolgt gemäss <i>Abb. 3.7</i>.</li> </ul> <p>Zusätzlich sind folgende Parameter im Perimeter Schadenpotenzial zu erheben:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Blockgrösse (= relevante Blockgrösse an der Prozessquelle),</li> <li>- räumliche Auftretenswahrscheinlichkeit gemäss Seite 26,</li> <li>- Sturzenergie (Es ist anzugeben, welcher statistische Kennwert der Modellierung verwendet wurde, z. B. 90 %-Vertrauensintervall. Welcher statistische Kennwert verwendet wird ist modellabhängig.).</li> </ul>
<p>7. Darstellung der Resultate und Produkte</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Intensitätskarten für den Perimeter Schadenpotenzial pro Gefahrenprozess und pro Prozessquelle für alle ausgewählten Wiederkehrperioden.</li> <li>- Prozessumhüllende für den Perimeter Gefahrenbeurteilung pro Gefahrenprozess und pro Prozessquelle für alle ausgewählten Wiederkehrperioden.</li> <li>- Das Minimum der abzugebenden Produkte ist in Kapitel 3.8 beschrieben. Zusätzlich sind folgende Produkte abzugeben: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Beschreibung der einzelnen Prozessquellen gemäss <i>Abb. 3.6</i>, mit Foto pro Prozessquelle und zusätzlichen fotografischen Aufnahmen derjenigen Bereiche mit grosser Disposition.</li> <li>- Kartographische Darstellung der Disposition der Prozessquellen auf der Karte der Phänomene.</li> <li>- Resultate der Sturzmodellierungen.</li> <li>- Darstellung der Sturzprofile auf einer Karte.</li> </ul> </li> <li>- Das Datenmodell ist in einem separaten Dokument beschrieben.</li> </ul>

### Trennflächen und Szenarienbildung mit Beispielen

**Sturz-Liefergebiet** Luusig Flue  
**Dokumentation** Übersichtsfoto 9, Karte der Phänomene (Beilage 3c)  
**Ereigniskataster Nr.** 17,33  
**Bestehende Schutzbauten** Verweis auf Schutzbautenkataster  
 Bearbeiter  
 Datum der Geländeaufnahmen

Ereignisfrequenz ca. in Jahren		Relevante Trennflächen						Max. Bruch-/Sturzkörper			Ausbruch	Bemerkungen	Dok
Szenario		S	J1	J2	J3	J4	Blockform	m³	Masse t				
Sehr Häufig	1 - 10 Jahre	---	X	---	---	X	kubisch	0.006	0.015	ES			
Häufig	10 - 30 Jahre	---	X	X	---	X	kubisch	0.15	0.375	EB			
Selten	30 - 100 Jahre	X	X	X	---	---		3.6	9	EB	Wandbereich W Wasserfall	Foto 34	
Sehr selten	100 - 300 Jahre	---	---	---	X	X		27	68	EB aus FS 500 m³	Felsnase bei P. 1035	Foto 29	

**Bemerkungen**

**Einfluss auf Bruchkörperbildung** X vorhanden      Ausbruch ES Einzelstein  
 --- irrelevant / unbedeutend      EB Einzelblock  
 FS Felssturz (>100 m³)

**Relevanter Sturz-/Bruchkörper** Es ist der für die Sturzberechnungen verwendete Sturzkörper zu definieren

**Sturzkörperdimensionen:**

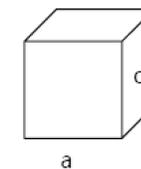


Abb. 3.6 Erfassung der Trennflächen und Szenarienbildung.

### Abstufung der Intensität

Aufgrund der Erfahrung mit historischen Ereignissen entlang von Verkehrswegen können die Energien im Falle eines Ereignisses weit über 300 kJ hinausgehen. Dabei ist zu beobachten, dass das Schadenausmass bei der betroffenen Infrastruktur stark davon abhängt, ob 300 kJ oder ob 10 bis 100 mal so grosse Werte auftreten. Deswegen ist die Angabe der Ereignisenergie in kJ neben der Intensitätsklasse ein weiteres wichtiges zu erfassendes Attribut. Diese Angabe ist zudem hilfreich bei der Dimensionierung möglicher Schutzmassnahmen.

Abb. 3.7 Intensitätskriterien für den Prozess „Sturz“

Gefahrenprozess	schwache Intensität	mittlere Intensität	starke Intensität
Block-/Steinschlag (Steinschlag $\varnothing < 50$ cm Blockschlag $\varnothing > 50$ cm)	$E < 30$ kJ	$30 < E < 300$ kJ	$E > 300$ kJ
Fels- und Bergsturz (Vol. $100 - 100'000$ m <sup>3</sup> )	-----	-----	$E > 300$ kJ

E = kinetische Energie

### Räumliche Auftretenswahrscheinlichkeit

Die räumliche Auftretenswahrscheinlichkeit  $p_{rA}$  kann wie folgt berechnet werden:

$$p_{rA} = ET \times \frac{\text{Blockdurchmesser [m]}}{\text{Breite des vom Prozess bestrichenen Abschnitts [m]}}$$

ET = Ereignistyp: Dieser Faktor berücksichtigt, dass beim Losbrechen von mehreren Sturzkörpern gleichzeitig oder von Felsmassen im Verband (Felssturz) mit einer Streuwirkung und einer Ablagerung in der Breite zu rechnen ist.

ET = 1 für Einzelsteine und Blöcke

ET = 5 für mehrere Blöcke gleichzeitig

ET = 10 für kleine Felsstürze

ET = 20 bis 50 für Felsstürze

In Abb. 3.8 ist ohne Berücksichtigung des Ereignistyps im Fall A  $p_{rA} = 1/50 = 0.02$  im Fall B  $p_{rA} = 1/100 = 0.01$ .

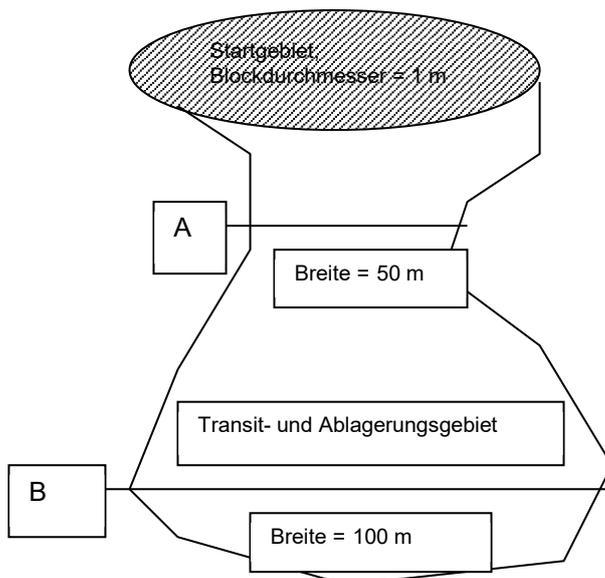


Abb. 3.8 Herleitung der räumlichen Auftretenswahrscheinlichkeit für den Prozess „Sturz“.

### 3.4 Prozess „Wasser“

#### Einleitung / Ziel

Zum Hauptprozess „Wasser“ gehören folgende Gefahrenprozesse:

- Übersarung, Überflutung
- Übermürung
- Ufererosion und Unterkolkung

Diese Gefahrenprozesse lassen sich nicht immer scharf gegeneinander abgrenzen.

Uferabbrüche, die den Perimeter Schadenpotenzial betreffen sind nach der Methodik Rutschungen (Kapitel 3.6) zu beurteilen.

#### Methodische Grundlagen

- ASTRA, BAV, BWW, SBB; 1998: Sicherheit von Bauwerken im Wasser. Empfehlung für die Überwachung und Hinweise für den Neubau [9].
- BWW, BRP, BUWAL, 1997: Berücksichtigung der Hochwassergefahren bei raumwirksamen Tätigkeiten. Empfehlungen [18].
- Bundesamt für Wasser und Geologie BWG, 2001: Hochwasserschutz an Fließgewässern, Wegleitung [28].

#### Perimeter

Unterteilung des Perimeters gemäss Kapitel 2.7.

#### Inhalt

Die Beurteilung der Wassergefahren beinhaltet folgende Arbeitsschritte:

Abb. 3.9 Arbeitsschritte der Gefahrenanalyse, Hauptprozess Hochwasser / Murgang

Gefahrenerkennung	
1. Beschaffung, Durchsicht und Auswertung bestehender Grundlagen	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Topographische Karten, Höhenmodell.</li> <li>- Alte topografische Karten.</li> <li>- Geologische, geotechnische, geomorphologische, hydrogeologische und hydrologische Karten und Grundlagen.</li> <li>- Bodenbedeckung, insbesondere Wald.</li> <li>- bestehende auf Wassergefahren bezogene Untersuchungen und Berichte (Wasserbauprojekte, hydrologische Studien, bestehende Gefahrenkarten u. a.).</li> <li>- Luftbilder.</li> <li>- Ereignisdokumentationen und –analysen.</li> <li>- Schutzbautenkataster und Pläne bestehender Schutzbauten.</li> <li>- Brückenpläne und Pläne anderer bestehender Bauwerke.</li> <li>- Weitere vorhandene Grundlagen gemäss Angaben Auftraggeber.</li> </ul>
2. Auswertung historischer Ereignisse	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Siehe Kapitel 3.1.</li> </ul>
3. Geologische-geomorphologische-hydrogeologische-hydrologische Zustandsanalyse	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Morphologische Zustandsanalyse des Gerinnes: Einzugsgebiet, Gerinneform, Längengefälle, Gerinnequerschnitte, Untergrund / Geologie.</li> <li>- Karte der Phänomene für den Gefahrenprozess Übermürung / Wildbach.</li> <li>- Dispositionsanalyse in den Gewässereinzugsgebieten: Abfluss, Wasserabflusswege (Karst), Geschiebepotenzial, Schwemmholzpotenzial, Stabilität der Seiteneinhänge.</li> <li>- Beurteilungen und Aufnahmen im Transit- und Ablagerungsbereich (Erosions- und Ablagerungsstrecken, Schwachstellen oder limitierende Strecken wie Durchlässe und Brücken, Querprofile, Sohlenbeschaffenheit, Prozessspuren).</li> <li>- Es ist zu berücksichtigen, dass Prozesse auch unterhalb der Fahrbahn diese beeinträchtigen können (z. B. Sohlen- und Seitenerosion u. a.).</li> <li>- Die Wildbäche und Gerinne sind mit einer eindeutigen Beschriftung zu bezeichnen.</li> </ul>

<p>4. Formulierung der Grundszenarien (sog. Szenarien der Gefahrenentstehung)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Definition von Szenarien pro Gerinne oder relevanten Gerinneabschnitt. Unterszenarien (z. B. Damnbrüche sind an verschiedenen Stellen bei gegebener Wiederkehrperiode möglich) sind via die räumliche Auftretenswahrscheinlichkeit zu berücksichtigen.</li> <li>- Die Hochwasserabflussmengen werden aus allfälligen Abflussmessreihen ermittelt oder, je nach Einzugsgebietsgrösse, mit Hilfe der einschlägigen Methoden gemäss der Praxishilfe des BWG 2003 [22] abgeschätzt. Dabei sind die Erkenntnisse aus den Ereignisanalysen 2005 und 2007 bezüglich Niederschlagsintensität und Ereignisdauer zu berücksichtigen.</li> <li>- Festlegen der beim jeweiligen Ereignis mobilisierbaren Geschiebemenge oder Murenfracht in Anlehnung an die Empfehlung zur Abschätzung der Feststofffrachten in Wildbächen [46] oder gemäss der Methode SEDEX [36]. Welches Verfahren angewendet wird ist abhängig von der Bachgrösse und der konkreten Fragestellung und ist vorgängig mit dem Auftraggeber zu vereinbaren.</li> <li>- Beurteilen der Murfähigkeit des Gerinnes.</li> <li>- Sowohl bei Wildbächen wie auch bei Flüssen müssen plausible Annahmen zur erwarteten Schwemmholzmenge getroffen werden.</li> </ul>
<p>5. Beurteilung des Gerinnes und der bestehenden Massnahmen</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Siehe Kapitel 3.1</li> <li>- Bestimmen der Abflusskapazität unter Berücksichtigung von Sedimenttransport, Geschiebeablagerungen und Verkläusung von Engstellen.</li> <li>- Identifikation von potenziellen Stellen mit Seitenerosion.</li> </ul>
<p><b>Wirkungsanalyse</b></p>	
<p>6. Wahrscheinlichkeit und Ausmass möglicher Ereignisse</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Die Wirkungsszenarien beschreiben Ort, Zeitpunkt, Dauer und Menge von austretendem Wasser und Geschiebe, das Ausmass von Seitenerosion und das Ausmass der Unterkolkung von Bauwerksteilen im Wasser.</li> <li>- Bei Gerinnen rechtwinklig zur Fahrbahn sind insbesondere die Gefahrenprozesse Unterkolkung, Überflutung, Übersarung und Übermuring zu berücksichtigen.</li> <li>- Bei Gerinneprozessen parallel zur Fahrbahn sind insbesondere Ufererosion und Überflutung zu berücksichtigen.</li> <li>- Die zu verwendenden Modelle oder Methoden sind vorgängig mit dem Auftraggeber abzusprechen.</li> <li>- Die Reichweite von reinen Wasserprozessen auf der Fahrbahn ist in Absprache mit der Abteilung Betrieb (Werkhöfe) gutachtlich festzulegen.</li> <li>- Die Berechnungen sind auf ihre Plausibilität hin zu prüfen (z. B. anhand der dokumentierten Ereignisse).</li> <li>- Die Lagegenauigkeit der Wirkungsanalyse erfolgt gemäss Kapitel 3.1.</li> <li>- Die Abstufung der Intensitätsklassen erfolgt gemäss <i>Abb. 3.10</i>.</li> <li>- Im Perimeter Schadenpotenzial sind weiter folgende Parameter zu erheben:             <ul style="list-style-type: none"> <li>- räumliche Auftretenswahrscheinlichkeit gemäss untenstehender Beschreibung,</li> <li>- Fliessgeschwindigkeiten,</li> <li>- Fliesshöhen (Wasser / Murgang) und Ablagerungsmächtigkeiten.</li> <li>- Bei Überschwemmung ist zudem anzugeben, ob sie statisch (<math>v &lt; 1</math> m/s) oder dynamisch (<math>v &gt; 1</math> m/s) ist.</li> </ul> </li> <li>- Bestimmung der Kolkentiefe im Bezug zur Foundationstiefe des Bauwerkteils.</li> </ul>

7. Darstellung der Resultate und Produkte	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Intensitätskarten für den Perimeter Schadenpotenzial pro Prozessquelle für alle ausgewählten Wiederkehrperioden.</li> <li>- Prozessumhüllende für den Perimeter Gefahrenbeurteilung pro Prozessquelle für alle ausgewählten Wiederkehrperioden.</li> <li>- Das Minimum der abzugebenden Produkte ist in Kapitel 3.8 beschrieben. Zusätzlich abzugebende Produkte sind:             <ul style="list-style-type: none"> <li>- Beschreibung der einzelnen Gerinne resp. Gerinneabschnitte, evtl. mit Foto.</li> <li>- Beschreibung der schadenpotenzialrelevanten Bauwerksteile im Wasser und Hinweise zur Unterkolkung (Kolktiefe unter resp. über der Fundationstiefe).</li> </ul> </li> <li>- Das Datenmodell ist in einem separaten Dokument beschrieben.</li> </ul>
---	--

Abb. 3.10 Intensitätskriterien für den Hauptprozess „Wasser“

Gefahrenprozess	schwache Intensität	mittlere Intensität	starke Intensität
Überflutung	h < 0.5 m oder v x h < 0.5 m <sup>2</sup> /s	0.5 < h < 2 m oder 0.5 < v x h < 2m <sup>2</sup> /s	h > 2 m oder v x h > 2 m <sup>2</sup> /s
Übermurgung	-----	h < 1 m oder v < 1 m/s	h > 1 m und v > 1 m/s
Ufererosion			d > 2 m

Überschwemmung und Übermurgung:

h = Wassertiefe oder Ablagerungsmächtigkeit

v = Fließgeschwindigkeit des Wassers

Ufererosion:

d = mittlere Mächtigkeit der Abtragung

Im Hinblick auf die zu erwartenden Schäden an den möglichen Schadenobjekten (Konsequenzenanalyse) ist beim Gefahrenprozess Überschwemmung zu unterscheiden, ob dieser dynamisch (v > 1 m / s) oder statisch (v < 1 m / s) verläuft.

### Räumliche Auftretenswahrscheinlichkeit

Die räumliche Auftretenswahrscheinlichkeit  $p_{rA}$  wird für jede Prozessquelle, jede Wiederkehrperiode und jedes Feld der Intensitätskarte fallspezifisch bestimmt. Sie kann innerhalb eines Wirkungsraumes unterschiedlich sein und wird wie folgt bestimmt:

$$p_{rA} = \frac{\text{Breite resp. Fläche der Ablagerung im Ereignisfall [m resp. m}^2 \text{]}}{\text{Maximale Breite resp. Fläche die vom Prozess bestrichen werden kann [m resp. m}^2 \text{]}}$$

Die Breite der Ablagerung kann z. B. aus den historischen Ereignissen oder Analogieschlüssen aus ähnlichen Geländebeziehungen abgeleitet werden.

Können im Falle von Unterszenarien (siehe Punkt 4, Abb. 3.10) verschiedene Teilflächen von Hochwasserprozessen betroffen sein, so ist die Wahrscheinlichkeit, dass eine Teilfläche von diesem Unterszenario betroffen ist via die räumliche Auftretenswahrscheinlichkeit zu berücksichtigen.

Die räumliche Auftretenswahrscheinlichkeit  $p_{rA}$  bezeichnet die Fläche (b) bzw., die Breite (x2) die vom Prozess im Ereignisfall bestrichen wird, dividiert durch des potentiell möglichen Prozessraumes (a für Flächenobjekte oder x1 für linienförmige Elemente) für ein bestimmtes Szenario.

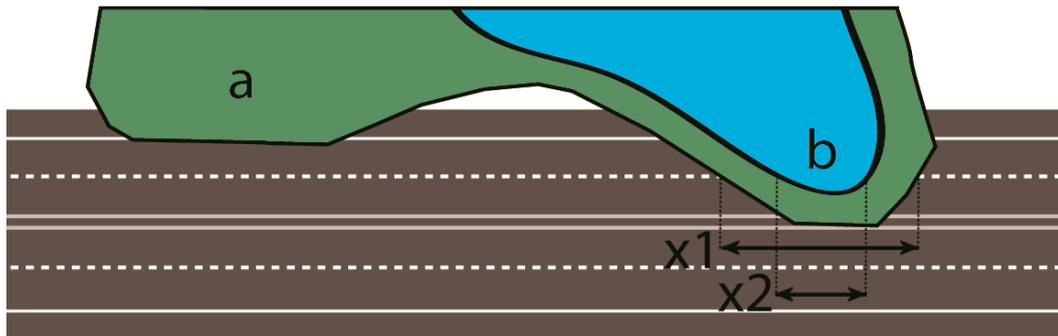


Abb. 3.11 Räumliche Auftretenswahrscheinlichkeit.  $p_{rA}$ .

### 3.5 Prozess „Lawinen“

#### Einleitung / Ziel

Bei der Beurteilung der Lawinengefahr sind für die grösseren möglichen Ereignisse Modellierungen durchzuführen. Die kleineren Ereignisse, für die keine Berechnungsmodelle verfügbar sind, können mit Hilfe des Pauschalgefälles und der Katasteraufzeichnungen beurteilt werden. Zum Prozess Lawinen gehören folgende Gefahrenprozesse:

- Fließlawine
- Staublawine
- Schneerutsche und Gleitschnee

#### Methodische Grundlagen

- Bundesamt für Forstwesen, Eidgenössisches Institut für Schnee- und Lawinenforschung, 1984: Richtlinien zur Berücksichtigung der Lawinengefahr bei raumwirksamen Tätigkeiten [19].
- Eidgenössisches Institut für Schnee- und Lawinenforschung, 1999: Neue Berechnungsmethoden in der Lawinengefahrenkartierung [32].
- Eidgenössisches Institut für Schnee- und Lawinenforschung, Mitteilungen, 1990: Berechnung von Fließlawinen, eine Anleitung für Praktiker [33].
- Bundesamt für Strassen (ASTRA), SBB AG, 1998: Planung, Bau und Unterhalt von Schutzgalerien gegen Steinschlag- und Lawineneinwirkungen – Ausgabe 1998. Dokumentation [4].
- Bundesamt für Strassen (ASTRA), SBB AG, 2007: Einwirkungen infolge Lawinen auf Schutzgalerien. Richtlinie. Ausgabe 2007 V2.00 [2].

#### Perimeter

Unterteilung des Perimeters gemäss Kapitel 2.7.

#### Inhalt

Die Beurteilung der Lawinengefahr beinhaltet folgende Arbeitsschritte:

Abb. 3.12 Arbeitsschritte der Gefahrenanalyse, Hauptprozess „Lawinen“

Gefahrenerkennung	
1. Beschaffung, Durchsicht und Auswertung bestehender Grundlagen	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Topographische Karten, Höhenmodell.</li> <li>- hydrologische Grundlagen (Niederschlagsmessreihen).</li> <li>- Bodenbedeckung, insbesondere Wald.</li> <li>- Gefahrenkarten und weitere bestehende lawinenbezogene Untersuchungen und Berichte.</li> <li>- Luftbilder.</li> <li>- Ereignisdokumentationen und –analysen.</li> <li>- Schutzbautenkataster und Pläne bestehender Schutzbauten.</li> <li>- Pläne bestehender Bauwerke.</li> <li>- Weitere vorhandene Grundlagen gemäss Angaben Auftraggeber.</li> </ul>

2. Auswertung historischer Ereignisse	- Gemäss Kapitel 3.1.
3. Topografische Zustandsanalyse	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Dispositionsanalyse Prozessquellen (Hangneigung Exposition, Oberflächenrauigkeit, Vegetation, Wächtenbildung, Triebsschnee).</li> <li>- Beurteilung Transit- und Ablagerungsbereich (Rauhigkeit, Vegetation, Hindernisse, lenkende Strukturen).</li> <li>- Kartografische Darstellung der Prozessquellen 1:10'000.</li> <li>- Die Prozessquellen sind mit einer eindeutigen Beschriftung zu bezeichnen.</li> </ul>
4. Formulierung der Grundszenarien (sog. Szenarien der Gefahrenentstehung)	- Bestimmung der massgebenden Prozessquellen und der Anrissmächtigkeit unter Berücksichtigung der vorhandenen Ereignisdokumentation und der bestehenden Schutzbauten für die relevanten Wiederkehrperioden. Für die Klasse sehr häufige Ereignisse (Frequenzen $\leq 10$ Jahre) kann, nach Absprache mit dem Auftraggeber, auf die Formulierung der Grundszenarien und die nachfolgende Modellierung verzichtet werden. In diesen Fällen wird lediglich auf den Ereigniskataster abgestellt.
5. Inventar und Beurteilung bestehender Schutzmassnahmen	- Siehe Kapitel 3.1.
<b>Wirkungsanalyse</b>	
6. Wahrscheinlichkeit und Ausmass möglicher Ereignisse	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Es sind szenarienbezogene 1-dimensionale Lawinenmodellierungen pro Prozessquelle entlang der Lawinenbahn auszuführen. Die Modellierungen erfolgen gemäss den Anleitungen des SLF von 1999 und 1990.</li> <li>- Bei Prozessquellen, die lediglich zu kleinen Ereignissen führen (Schneerutsche, Gleitschnee, Anrissmasse <math>&lt; 5'000\text{m}^3</math>) wird die Reichweite mit Hilfe eines Pauschalgefälles zwischen 40% und 45% und die Intensitäten nach Erfahrungswerten abgeschätzt.</li> <li>- Die Wirkung des aktuellen Waldzustandes muss bei der Lawinenbeurteilung berücksichtigt werden.</li> <li>- Schutzbauten werden gemäss Kapitel 3.1 berücksichtigt.</li> <li>- Bestehende Lawinengalerien: Ist eine objektspezifische Untersuchung einer Galerie notwendig, so ist diese nach der entsprechenden Richtlinie des ASTRA durchzuführen. Dabei werden die massgebenden Einwirkungen für die verschiedenen Fälle soweit definiert gemäss vorliegender Methodik ermittelt. Die Überprüfung der Tragsicherheit und Gebrauchstauglichkeit erfolgt nach der Richtlinie des ASTRA.</li> <li>- Die Berechnungen sind auf ihre Plausibilität hin zu prüfen (z. B. anhand der dokumentierten Ereignisse).</li> <li>- Die Abstufung der Intensitätsklassen erfolgt gemäss: Abb. 3.13</li> <li>- Die seitliche Ausbreitung der Lawinen ist gutachtlich nach Gelände und topografischer Karte abzuschätzen.</li> <li>- Im Perimeter Schadenpotenzial sind weiter folgende Parameter zu erheben: <ul style="list-style-type: none"> <li>- räumliche Auftretenswahrscheinlichkeit gemäss untenstehender Beschreibung,</li> <li>- Angabe ob Fliess- oder Staubanteil massgebend,</li> <li>- Fliessgeschwindigkeiten,</li> <li>- Fliesshöhe,</li> <li>- massgebender Lawinendruck senkrecht zur Strömungsrichtung.</li> </ul> </li> </ul>
7. Darstellung der Resultate und Produkte	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Intensitätskarten für den Perimeter Schadenpotenzial pro Prozessquelle für alle ausgewählten Wiederkehrperioden.</li> <li>- Prozessumhüllende für den Perimeter Gefahrenbeurteilung pro Prozessquelle für alle ausgewählten Wiederkehrperioden.</li> <li>- Das Minimum der abzugebenden Produkte ist in Kapitel 3.8 beschrieben. Zusätzlich abzugebende Produkte sind: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Beschreibung der einzelnen Anrissgebiete, evtl. mit Foto.</li> <li>- Kartographische Darstellung der Anrissgebiete (Gesamt und für die Berechnung massgebend) auf einer Karte 1:10'000.</li> </ul> </li> <li>- Das Datenmodell ist in einem separaten Dokument beschrieben.</li> </ul>

Abb. 3.13 Intensitätskriterien für den Hauptprozess „Lawinen“

Gefahrenprozess	schwache Intensität	mittlere Intensität	starke Intensität
Staublawinen	$q < 3 \text{ kN/m}^2$	$3 < q < 30 \text{ kN/m}^2$	$q > 30 \text{ kN/m}^2$
Fliesslawinen und Gleitschnee	---	$3 < q < 30 \text{ kN/m}^2$	$q > 30 \text{ kN/m}^2$

q = Druck

### Räumliche Auftretenswahrscheinlichkeit

Die räumliche Auftretenswahrscheinlichkeit  $p_{rA}$  wird für jede Prozessquelle, jede Wiederkehrperiode und jedes Feld der Intensitätskarte fallspezifisch bestimmt. Sie kann innerhalb eines Wirkungsraumes unterschiedlich sein und wird wie folgt bestimmt:

$$P_{rA} = \frac{\text{Breite der Ablagerungen im Ereignisfall [m]}}{\text{Maximale Breite die vom Prozess bestrichen werden kann [m]}}$$

Die Breite der Ablagerung kann z. B. aus den historischen Ereignissen oder Analogieschlüssen aus ähnlichen Geländebeziehungen abgeleitet werden.

## 3.6 Prozess „Rutschungen“

### Einleitung / Ziel

Zum Hauptprozess „Rutschungen“ gehören folgende Gefahrenprozesse:

- Permanente Rutschungen und Setzungen
- Spontane Rutschungen
- Hangmuren

Die Beurteilung hat pro Gefahrenprozess zu erfolgen.

Für permanente Rutschungen und Sackungen ist es bei einer mittleren Bearbeitungstiefe nicht möglich, Intensitätskarten für unterschiedliche Wiederkehrperioden zu erarbeiten. Für diesen Prozess soll die Gefahrenbeurteilung zumindest die Beurteilung der Disposition, der räumlichen Abgrenzung der Prozesse sowie des Ausmasses beinhalten.

Die Beurteilung von permanenten Rutschungen, spontanen Rutschungen und Hangmuren hat gestützt auf den im Auftrag des Bundesamtes für Wasser und Geologie (BWG) durch die Arbeitsgruppe Geologie und Naturgefahren (AGN) erarbeiteten Entwurf für die Gefahreinstufung von Rutschungen i. w. S. zu erfolgen. Uferrutschungen stellen einen Spezialfall der spontanen Rutschungen dar.

### Methodische Grundlagen

- Arbeitsgruppe Geologie und Naturgefahren (AGN), 2004: Gefahreinstufung Rutschungen i.w.S. Entwurf [7].
- BWG, WSL, 2003: Oberflächennahe Rutschungen, ausgelöst durch die Unwetter vom 15.-16.7.2002 im Napfgebiet und vom 31.8.-1.9.2002 im Gebiet Appenzell. Projektbericht [26].
- BWW, BRP, BUWAL, 1997: Berücksichtigung der Massenbewegungsgefahren bei raumwirksamen Tätigkeiten. Empfehlungen [17].
- Gamma, P. 1999: dfwalk – Ein Murgangsimulationsprogramm zur Gefahrenzonierung. Inauguraldissertation Universität Bern [37].
- Rickli, C., Zürcher, K., Frey, W., Lüscher, P., 2002: Wirkung des Waldes auf oberflächennahe Rutschprozesse. Schweiz. Z. Forstwes. 153 (2002) 11: 437-445 [54].

### Perimeter

Unterteilung des Perimeters gemäss Kapitel 2.7

**Inhalt**

Die Beurteilung der Rutschungsgefahr beinhaltet folgende Arbeitsschritte:

*Abb. 3.14 Arbeitsschritte der Gefahrenanalyse, Hauptprozess „Rutschung“*

<b>Gefahrenerkennung</b>														
1. Beschaffung, Durchsicht und Auswertung bestehender Grundlagen	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Topographische Karten, Höhenmodell.</li> <li>- Geologische, geotechnische, geomorphologische und hydrogeologische Karten.</li> <li>- Regen- und Schneedaten, Abflussmessungen.</li> <li>- Bodenbedeckung.</li> <li>- Gefahrenkarten und andere bestehende geologische und naturgefahrenbezogene Untersuchungen und Berichte.</li> <li>- Auswertung von Messresultaten und qualitativen Aussagen zu Bewegungen.</li> <li>- Luftbilder.</li> <li>- Ereignisdokumentationen und –analysen.</li> <li>- Schutzbautenkataster und Pläne bestehender Schutzbauten.</li> <li>- Pläne bestehender Bauwerke.</li> <li>- Weitere vorhandene Grundlagen gemäss Angaben Auftraggeber.</li> </ul>													
2. Auswertung historischer Ereignisse	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Gemäss Kapitel 3.1.</li> </ul>													
3. Geologische-geomorphologische-hydrogeologische Zustandsanalyse (Grundlagenerhebung im Gelände)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Karte der Phänomene (gemäss Kapitel 3.2).</li> <li>- Dispositionsanalyse (Aktivität, Auslösemechanismen, Wirkungsweise) für die drei Gefahrenprozesse: permanente Rutschungen, spontane Rutschungen, Hangmuren.</li> <li>- Hangmuren: Unterteilung des Untersuchungsgebietes in homogene Bereiche einheitlicher Disposition (= Prozessquellen) gemäss Flussdiagramm (AGN, 2004) und Abb. 3.15 Dabei gilt folgende Konvention:</li> </ul> <table border="1" style="margin-left: 20px;"> <thead> <tr> <th>Wahrscheinlichkeit in Worten gemäss AGN, 2004</th> <th>Disposition der Prozessquelle</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>hoch</td> <td>gross</td> </tr> <tr> <td>mittel</td> <td>mittel</td> </tr> <tr> <td>gering</td> <td>klein</td> </tr> </tbody> </table> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Es ist zu berücksichtigen, dass Prozesse auch unterhalb der Fahrbahn diese beeinträchtigen können (z. B. Rutschungen in der talseitigen Böschung u. a.).</li> <li>- Die Prozessquellen sind mit einer eindeutigen Beschriftung zu bezeichnen.</li> <li>- Beurteilung des Transit- und Ablagerungsbereich (für Hangmuren und spontane Rutschungen).</li> </ul>	Wahrscheinlichkeit in Worten gemäss AGN, 2004	Disposition der Prozessquelle	hoch	gross	mittel	mittel	gering	klein					
Wahrscheinlichkeit in Worten gemäss AGN, 2004	Disposition der Prozessquelle													
hoch	gross													
mittel	mittel													
gering	klein													
4. Formulierung der Grundscenarien (sog. Scenarien der Gefahrenentstehung)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Definition von Scenarien pro Prozessquelle unter Berücksichtigung der vorhandenen Ereignisdokumentation, anthropogener Einflüsse und der bestehenden Schutzbauten:</li> </ul> <p><b>permanente Rutschungen und Setzungen:</b> Es wird nur ein Szenario diskutiert.</p> <p><b>spontane Rutschungen:</b> Die Scenarien werden aufgrund der Faktoren historische Ereignisse, stumme Zeugen, innere Reibung, Kohäsion, Wasserdruckverhältnisse sowie Geometrie / Topographie diskutiert. Dabei sind insbesondere die Beschleunigungsszenarien zu beurteilen.</p> <p><b>Hangmuren:</b></p> <table border="1" style="margin-left: 20px;"> <thead> <tr> <th>Wahrscheinlichkeit in Worten gemäss vorliegender Methodik</th> <th>Frequenz [Jahre]</th> <th>Enthält die Prozessquellen mit folgender Disposition</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>sehr häufig</td> <td rowspan="2">0 – 30</td> <td rowspan="2">gross</td> </tr> <tr> <td>häufig</td> </tr> <tr> <td>selten</td> <td>30 – 100</td> <td>gross und mittel</td> </tr> <tr> <td>sehr selten</td> <td>100 – 300</td> <td>gross, mittel und klein</td> </tr> </tbody> </table>	Wahrscheinlichkeit in Worten gemäss vorliegender Methodik	Frequenz [Jahre]	Enthält die Prozessquellen mit folgender Disposition	sehr häufig	0 – 30	gross	häufig	selten	30 – 100	gross und mittel	sehr selten	100 – 300	gross, mittel und klein
Wahrscheinlichkeit in Worten gemäss vorliegender Methodik	Frequenz [Jahre]	Enthält die Prozessquellen mit folgender Disposition												
sehr häufig	0 – 30	gross												
häufig														
selten	30 – 100	gross und mittel												
sehr selten	100 – 300	gross, mittel und klein												

5. Inventar und Beurteilung bestehender Schutzmassnahmen	- gemäss Kapitel 3.1.
<b>Wirkungsanalyse</b>	
6. Wahrscheinlichkeit und Ausmass möglicher Ereignisse	<p><b>permanente Rutschungen:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Die Abgrenzung des Wirkungsbereiches erfolgt aufgrund von Geländebefunden; die Klassierung der Intensität erfolgt gemäss (AGN, 2004) nach den Kriterien (siehe auch Abb. 3.16):             <ul style="list-style-type: none"> <li>- Intensität,</li> <li>- Reaktivierungspotenzial,</li> <li>- Disposition zu Differentialbewegungen und</li> <li>- Tiefgang.</li> </ul> </li> </ul>
	<p><b>spontane Rutschungen:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Die Abgrenzung des Wirkungsbereiches erfolgt aufgrund historischer Ereignisse und Vergleichswerten aus der Literatur.</li> <li>- Die Intensität von spontanen Rutschungen ist in der Regel stark (<math>E &gt; 300</math> kJ).</li> </ul>
	<p><b>Hangmuren:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Die Abgrenzung des Wirkungsbereiches (Reichweite) erfolgt aufgrund von vergleichbaren historischen Ereignissen:             <ul style="list-style-type: none"> <li>- Pauschalgefälle i.d.R. <math>20^\circ</math> bis <math>40^\circ</math> (Ausnahmefälle bis <math>15^\circ</math>).</li> <li>- max. Auslaufstrecke 100 m, wenn <math>\pm</math> gleichmässiges Hanggefälle und Vol. <math>&lt; 1'000</math> m<sup>3</sup>.</li> <li>- Bei abruptem Übergang in eine sehr flachen Boden Auslauf auf kurzer Strecke (wenige Meter bis ca. 20 m, wenn Vol. <math>&lt; 1'000</math> m<sup>3</sup>).</li> <li>- Berücksichtigung von Geländestrukturen.</li> <li>- Berücksichtigung von anthropogenen Elementen.</li> </ul> </li> <li>- Die Abschätzung der Intensität erfolgt gemäss Abb. 3.16.</li> <li>- Für objektbezogene Analysen wird die Intensität nach dem Staudruckkriterium gemäss der Empfehlung AGN (2004) berechnet. Ist mit eingelagerten Blöcken zu rechnen, so ist die Staudruckformel gemäss [31] zu verwenden.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Im Perimeter Schadenpotenzial sind zusätzlich folgende Parameter zu erheben:             <ul style="list-style-type: none"> <li>- Räumliche Auftretenswahrscheinlichkeit gemäss untenstehender Beschreibung.</li> <li>- Bei Hangmuren und spontane Rutschungen: Ablagerungshöhe,</li> <li>- Bei Permanente Rutschung: durchschnittliche Rutschgeschwindigkeit, Reaktivierungspotenzial, Differenzialbewegung, Tiefgang.</li> </ul> </li> </ul>
7. Darstellung der Resultate und Produkte	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Intensitätskarten für den Perimeter Schadenpotenzial pro Gefahrenprozess und pro Prozessquelle für alle ausgewählten Wiederkehrperioden.</li> <li>- Prozessumhüllende für den Perimeter Gefahrenbeurteilung pro Gefahrenprozess und pro Prozessquelle für alle ausgewählten Wiederkehrperioden.</li> <li>- Das Minimum der abzugebenden Produkte ist in Kapitel 3.8 beschrieben. Zusätzlich abzugebende Produkte sind:             <ul style="list-style-type: none"> <li>- Hangmuren: Beschreibung der einzelnen Prozessquellen gemäss Abb. 3.15 mit Foto.</li> <li>- Kartographische Darstellung der Prozessquellen auf der Karte der Phänomene.</li> </ul> </li> <li>- Das Datenmodell ist in einem separaten Dokument beschrieben.</li> </ul>

**Liefergebiet** Name  
**Dokumentation** Übersichtsfoto x, Karte der Phänomene (Beilage xy)  
**Ereigniskataster Nr.** a, b  
**Bestehende Schutzbauten** Verweis auf Schutzbautenkataster  
 Bearbeiter  
 Datum der Geländeaufnahmen

Faktor		Wert	Einfluss auf Disposition *)
Hangneigung	[°]		
stumme Zeugen	[J/N]		
∅ Hangneigung der hist. HM (Kataster oder stumme Zeugen)	[°]		
Existenz oberflächennaher Durchlässigkeitsdiskontinuitäten	[J/N]		
	Tiefe in [m]		
Geländeform	[Kante, konvex, konkav, gleichmässig, unregelmässig coupiert]		
hydrolog.-hydregeol. Einzugsgebiet: Wasserzuflüsse	[gross, mittel, klein, unsicher, irrelevant]		
Oberflächenbeschaffenheit / Landnutzung	Freiland: [offene Erosionsflächen / -stellen, Trittschäden, Viehgangeln, Wiesland] Wald: [Schadenflächen, strukturell ungünstige Bestockung, mangelnde Verjüngung]		
Anthropogene Einflüsse	Bspe: Ableitungen, Überläufe, Drainagen, übersteile Hanganschnitte u.s.w.		
<b>Gesamtbeurteilung Disposition</b>	[gross, mittel, klein]		

Bemerkungen

\*) Einfluss auf Disposition zu Hangmuren

XXX gross  
 XX klein  
 X kein

Abb. 3.15 Beurteilung der Disposition von Hangmuren.

Abb. 3.16 Intensitätskriterien für den Prozess Rutschung

Prozess	schwache Intensität	mittlere Intensität	starke Intensität
<b>1. Gleitprozesse</b>			
1.1 Aktive, kontinuierliche, permanente Rutschungen	$v \leq 2 \text{ cm/Jahr}$	$2 \text{ cm/Jahr} < v < 10 \text{ cm/Jahr}$	$v > 10 \text{ cm/Jahr};$ (oder 1 m Verschiebung pro Ereignis)
1.2 Spontane Rutschungen	$M < 0.5 \text{ m}$	$0.5 \text{ m} < M < 2 \text{ m}$ $h < 1 \text{ m}$	$M > 2 \text{ m}$ $h > 1 \text{ m}$
<b>2. Fliessprozesse</b>			
Hangmuren	$M < 0.5 \text{ m};$ Übersarung (h) im Dezimeterbereich	$0.5 \text{ m} < M < 2 \text{ m}$ $h < 1 \text{ m}$	$M > 2 \text{ m}$ $h > 1 \text{ m}$

Kriterien zur Bestimmung der Intensität. Abkürzungen, Erklärungen und Hinweise in den darauf folgenden Inforahmen:

- $v$  = durchschnittliche (langjährige) Rutschgeschwindigkeit [cm/Jahr]
- $v_{max}$  = Maximale Rutschgeschwindigkeit [cm/Jahr]
- D = Differentialbewegungen innerhalb einer Gebäudenutzungsdauer [cm/10 m]
- T = Tiefe der Gleitfläche, Gründigkeit der Rutschung [m]
- M = Mächtigkeit der mobilisierbaren Masse (potentiell) [m]
- h = Höhe der Ablagerung durch Hangmuren, bzw. Rutschungen (Murganghöhe) [m]

**$v_{max}$  = Maximale Rutschgeschwindigkeit [cm/Jahr];**

Eine Beschleunigung von Rutschungen hat eine höhere Gefährdung und folgedessen eine höhere Gefahrenstufe zur Folge.  $v_{max}$  wird definiert über die maximale Geschwindigkeit während einer Beschleunigungsphase oder nach einer Reaktivierung. Definition:  $v_{max30}$  steht für ein Ereignis mit einer dreissigjährigen Wiederkehrperiode;  $v_{max100}$  steht für ein hundertjährliches Ereignis, bzw. eine Wiederkehrperiode von 100 Jahren;  $v_{max300}$  steht für ein Ereignis mit einer Wiederkehrperiode von 300 Jahren.

- Rutschgeschwindigkeitsänderung ( $v_{max}$ ) für den Wechsel von einer Intensitätsstufe, bzw. von schwacher zu mittlerer Intensität (kurzer Pfeil):  $v_{max30} > \text{ca. } 30 \text{ cm/Jahr}$  oder  $v_{max100} > \text{ca. } 50 \text{ cm/Jahr}$  oder  $v_{max300} > \text{ca. } 60 \text{ cm/Jahr}$ .
- Rutschgeschwindigkeitsänderung ( $v_{max}$ ) für den Wechsel von einer Intensitätsstufe, bzw. von mittlerer zu starker Intensität (kurzer Pfeil):  $v_{max30} > \text{ca. } 20 \text{ cm/Jahr}$  oder  $v_{max100} > \text{ca. } 40 \text{ cm/Jahr}$  oder  $v_{max300} > \text{ca. } 50 \text{ cm/Jahr}$ .
- Rutschgeschwindigkeitsänderung ( $v_{max}$ ) für den Wechsel von zwei Intensitätsstufen, d.h. von schwacher direkt in die starke Intensität (langer Pfeil, „hohe  $v_{max}$ “):  $v_{max30} > \text{ca. } 50 \text{ cm/Jahr}$  oder  $v_{max100} > \text{ca. } 70 \text{ cm/Jahr}$  oder  $v_{max300} > \text{ca. } 80 \text{ cm/Jahr}$ .

Wird eine Beschleunigung innerhalb eines Quartals gemessen, so soll die entsprechende Jahresgeschwindigkeit berechnet werden: gemessene Verschiebung im Quartal multipliziert mit 4 ergibt die äquivalente Jahresgeschwindigkeit. Diese Methodik ist analog für ein Semester oder drei Quartale anzuwenden.

Die genauen Vermessungswerte von  $v$  und  $v_{\max}$  liegen bei einer flächendeckenden Gefahrenkartierung (M2) häufig nicht vor. Zudem sind geodätische Messdaten und entsprechende Angaben bei detaillierten Studien (Stufe M3) oder bekannten Rutschungen oftmals verfügbar und sollen berücksichtigt werden. Kantonale und eidgenössische Behörden sowie Geometer können möglicherweise geodätische Daten und Geschwindigkeiten zur Verfügung stellen (s. auch INSAR-Daten des BAFU (indikativ), Erläuterungen im Teil 3). In Anbetracht möglicher Entwicklungen und einer Beeinflussung durch die Klimaänderung können mögliche Beschleunigungen auch als entsprechende Szenarien ohne vorliegende Messdaten definiert werden.

### **D = Differentialbewegungen.**

Differentialbewegungen werden gemessen an der absoluten differentiellen Verschiebung in Zentimetern bezogen auf eine einheitliche Breite von 10 Metern [cm/10 m]. Der Differentialwert bezieht sich auf eine Nutzungsdauer des betroffenen Gebäudes und steht in Beziehung zur Tragsicherheit sowie zur Gebrauchstauglichkeit (z.B. über 50 Jahre).

- Differentialbewegung für den Wechsel von einer Intensitätsstufe (kurzer Pfeil):  $D=2-10$  cm/10m
- Differentialbewegung für den Wechsel von zwei Intensitätsstufen (langer Pfeil, „grosse D“ oder „DD“):  $D>10$  cm/10m.

### **T = Tiefe der Gleitfläche, Gründigkeit der Rutschung.**

Die relevante (oberste) Gleitfläche muss für eine Rückstufung mindestens 30 m unter Boden liegen. Eine Entschärfung (Rückstufung um eine Intensitätsstufe) kann nur dann erfolgen, wenn folgende drei Bedingungen gleichzeitig erfüllt werden:

1. Grössere, sehr tiefgründige, zusammenhängende Rutschmasse.
2. Phänomenologisch homogene Bereiche ohne Sekundärgleitflächen.
3. Mit geodätischen Messungen belegte, zeitlich gleichförmige Bewegungsdynamik.

Eine Rückstufung der Intensität mit der Tiefe der Gleitfläche kann für Geschwindigkeiten von maximal 20 cm/Jahr erfolgen, wenn die Bedingungen 1-3 erfüllt sind.

### **Räumliche Auftretenswahrscheinlichkeit**

Die räumliche Auftretenswahrscheinlichkeit  $p_{rA}$  wird für jede Prozessquelle, jede Wiederkehrperiode und jedes Feld der Intensitätskarte fallspezifisch bestimmt. Sie kann innerhalb eines Wirkungsraumes unterschiedlich sein und wird wie folgt bestimmt:

$$p_{rA} = \frac{\text{Breite der Ablagerungen im Ereignisfall [m]}}{\text{Maximale Breite die vom Prozess bestrichen werden kann [m]}}$$

Die Breite der Ablagerung kann z. B. aus den historischen Ereignissen oder Analogieschlüssen aus ähnlichen Geländeverhältnissen abgeleitet werden<sup>5</sup>.

<sup>5</sup> Das 75%-Quantil der Breite der Hangmuren aus den Ereignisanalysen 2002 beträgt 15 m (Wald) resp 20 m (Freiland). Die durchschnittliche Rutschaktivität (und somit räumliche Auftretenswahrscheinlichkeit) aus diesen Untersuchungen liegt bei rund 0.1.

### 3.7 Prozess „Einsturz / Absenkung“

**Einleitung / Ziel**

Die Beurteilung der Hauptprozesse „Einsturz und Absenkung“ erfolgen auf der Basis der Bundesempfehlung von 1997.

Für den Prozess „Einsturz / Absenkung“ ist es bei einer mittleren Bearbeitungstiefe nicht möglich, Intensitätskarten für unterschiedliche Wiederkehrperioden zu erarbeiten. Für diesen Prozess soll die Gefahrenbeurteilung zumindest die Beurteilung der Disposition, der räumlichen Abgrenzung der Prozesse sowie des Ausmasses beinhalten.

**Methodische Grundlagen**

- BWW, BRP, BUWAL, 1997: Berücksichtigung der Massenbewegungsgefahren bei raumwirksamen Tätigkeiten. Empfehlungen [17].

**Perimeter**

Unterteilung des Perimeters gemäss Kapitel 2.6.

**Inhalt**

Die Beurteilung des Prozess Einsturz / Absenkung beinhaltet folgende Arbeitsschritte:

*Abb. 3.17 Arbeitsschritte der Gefahrenanalyse, Hauptprozess Prozess „Einsturz / Absenkung“*

<b>Gefahrenerkennung</b>	
1. Beschaffung, Durchsicht und Auswertung bestehender Grundlagen	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Topographische Karten, Höhenmodell.</li> <li>- Geologische, geotechnische, geomorphologische und hydrogeologische Karten.</li> <li>- Gefahrenkarten und weitere bestehende geologische und naturgefahrenbezogene Untersuchungen und Berichte.</li> <li>- Auswertung von Messwerte und qualitativen Aussagen zu Absenkungsphänomenen von Unterhaltsverantwortlichen.</li> <li>- Luftbilder.</li> <li>- Ereignisdokumentationen und –analysen.</li> <li>- Schutzbautenkataster und Pläne bestehender Schutzbauten.</li> <li>- Pläne bestehender Bauwerke.</li> <li>- Vorhandene Grundlagen gemäss Angaben Auftraggeber.</li> </ul>
2. Auswertung historischer Ereignisse	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Gemäss Kapitel 3.1.</li> </ul>
3. Geologische-geomorphologische-hydrogeologische Zustandsanalyse (Grundlagenerhebung im Gelände) und Formulierung der Grundszenarien (sog. Szenarien der Gefahrenentstehung)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Karte der Phänomene (gemäss Kapitel 3.2).</li> <li>- Dispositionsanalyse: Es sind diejenigen Gebiete auszuscheiden, die Anzeichen für Absenkungs- und Karstphänomene aufweisen. Weiter sind jene Gebiete auszuscheiden, welche eine Disposition dafür aufweisen. Gebiete mit einheitlicher Disposition sind als Prozessquellen auszuscheiden.</li> <li>- Die Prozessquellen sind mit einer eindeutigen Beschriftung zu bezeichnen.</li> <li>- Dem Prozess Einsturz / Absenkung wird keine Eintretenswahrscheinlichkeit zugeordnet.</li> </ul>
4. Inventar und Beurteilung bestehender Schutzmassnahmen	<ul style="list-style-type: none"> <li>- gemäss Kapitel 3.1.</li> </ul>

Wirkungsanalyse	
5. Wahrscheinlichkeit und Ausmass möglicher Ereignisse	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Die Abgrenzung des Wirkungsbereiches erfolgt aufgrund von geologischen Kartierungen und Geländeuntersuchungen.</li> <li>- Die Einstufung der Intensität geschieht wie folgt (siehe Abb. 3.18):                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- Schwache Intensität: Potentiell karstfähiger Untergrund; die Bedeckung des karstfähigen Untergrundes lässt Absenkungen an der Geländeoberfläche zu.</li> <li>- Mittlere Intensität: Karstfähiger Untergrund; Dolinen / Einsturzerscheinungen sind in der näheren Umgebung vorhanden.</li> </ul> </li> <li>- Im Perimeter Schadenpotenzial sind zusätzlich folgende Parameter zu erheben:                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- Räumliche Auftretenswahrscheinlichkeit gemäss untenstehender Beschreibung.</li> </ul> </li> </ul>
6. Darstellung der Resultate und Produkte	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Intensitätskarten für den Perimeter Schadenpotenzial pro Prozessquelle für alle ausgewählten Wiederkehrperioden.</li> <li>- Prozessumhüllende für den Perimeter Gefahrenbeurteilung.</li> <li>- Das Minimum der abzugebenden Produkte ist in Kapitel 3.8 beschrieben. Zusätzlich abzugebende Produkte sind:                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- Beschreibung der einzelnen Prozessquellen mit Foto.</li> <li>- Kartographische Darstellung der Prozessquellen auf der Karte der Phänomene.</li> </ul> </li> <li>- Das Datenmodell ist in einem separaten Dokument beschrieben.</li> </ul>

Abb. 3.18 Intensitätskriterien für den Prozess „Einsturz / Absenkung“

Gefahrenprozess	schwache Intensität	mittlere Intensität	starke Intensität
Absenkung, Einsturz	Disposition vorhanden	Dolinen vorhanden oder Ereignisse bekannt	-----

#### Räumliche Auftretenswahrscheinlichkeit

Die räumliche Auftretenswahrscheinlichkeit  $p_{rA}$  wird für jede Prozessquelle und jedes Feld der Intensitätskarte fallspezifisch bestimmt. Sie kann innerhalb eines Wirkungsraumes unterschiedlich sein und wird wie folgt bestimmt:

$$p_{rA} = \frac{\text{Von Einsturzerscheinungen effektiv betroffene Fläche [a]}}{\text{Ausgeschiedene Prozessfläche [a]}}$$

Die Fläche der Einsturzerscheinungen kann z. B. aus den historischen Ereignissen oder Analogieschlüssen aus ähnlichen Geländebeziehungen abgeleitet werden.

### 3.8 Dokumentation: Gefahrenanalyse und die zu liefernden Resultate

#### Intensitätskarten auf Papier

Die Intensitätskarten pro Gefahrenprozess und pro Wiederkehrperiode werden synoptisch dargestellt. Der geeignete Massstab ist dem Problem anzupassen und mit dem Auftraggeber abzusprechen:

- Wo sich Prozessräume überlagern, wird die jeweils höchste Intensität angegeben.
- Wo Prozesse gleichzeitig über, auf und unter der Fahrbahn zu erwarten sind, sind auf den Karten die Verhältnisse auf der Fahrbahn darzustellen.
- Prozessräume der sehr seltenen Ereignisse werden als Prozessumhüllende ebenfalls auf Karten dargestellt und digital abgegeben.

Die digitalen Daten der synoptischen Darstellung sind auch abzugeben.

Weiter ist eine Karte mit allen beurteilten Prozessquellen zu erstellen, auf welchen ersichtlich ist, ob eine detaillierte Gefahrenanalyse gemäss Methodik durchgeführt wurde oder nicht und ob sie den Perimeter Schadenpotenzial erreichen oder nicht.

### **Daten digital**

Gemäss Datenmodell.

### **Technischer Bericht**

Der Technische Bericht dient insbesondere der Nachvollziehbarkeit der Beurteilung und der Transparenz bezüglich Vorgehen, Methoden und Unsicherheiten. Fakten, Berechnungen und Interpretationen müssen klar voneinander unterscheidbar sein, Unsicherheiten und Annahmen müssen deklariert werden. Weiter soll er die für die nächsten Phasen (Risikoanalyse, Massnahmenplanung) nötigen Grundlagen und Informationen bereitstellen.

Der Inhalt des Technischen Berichtes zur Gefahrenbeurteilung soll folgende Punkte umfassen und nach folgendem Grundraster gegliedert werden:

1. Einleitung
2. Verwendete Grundlagen
3. Allgemeine Angaben zum Untersuchungsperimeter
4. Untersuchungsmethodik
5. Gefahrenbeurteilung Pro Prozess und pro Prozessquelle nach folgender Gliederung:
  - Name der Prozessquelle
  - Abgrenzung des Prozessraums
  - Historische Ereignisse und Ereignisspuren
  - Relevante Geländebefunde und Beurteilung der Disposition
  - Grundscenarien der verschiedenen Wiederkehrperioden
  - Schwachstellenanalyse und Wirkungsszenarien
  - Beschreibung der bestehenden Schutzbauten und Beurteilung von deren Wirkung pro Szenario
  - Ausmass und Wirkung der Prozesse
  - Fotodokumentation
6. Schlussbemerkungen (spezielle Eindrücke, falls vorhanden)

Zusätzliche mit dem Bericht abzugebende Anhänge und Karten sind in den entsprechenden Kapiteln spezifiziert.

Alle Papierprodukte sind auch in geeigneter Form digital abzugeben.

## 4 Expositionsanalyse

### 4.1 Schadensbilder

Die zu berücksichtigenden Schadensbilder sind zu definieren. Damit erfolgt eine erste Bewertung der Risiken, die berücksichtigt werden sollen und solchen, die nicht weiter berücksichtigt werden. Die für die Risikoberechnung gemäss vorliegender Methodik massgebenden Szenarien der Schadenentstehung (= massgebende Schadensbilder) sind in Abb. 4.1 für die Fahrbahn und Abb. 4.2 für die Nebenanlagen dargestellt.

**Bereich Fahrbahn**

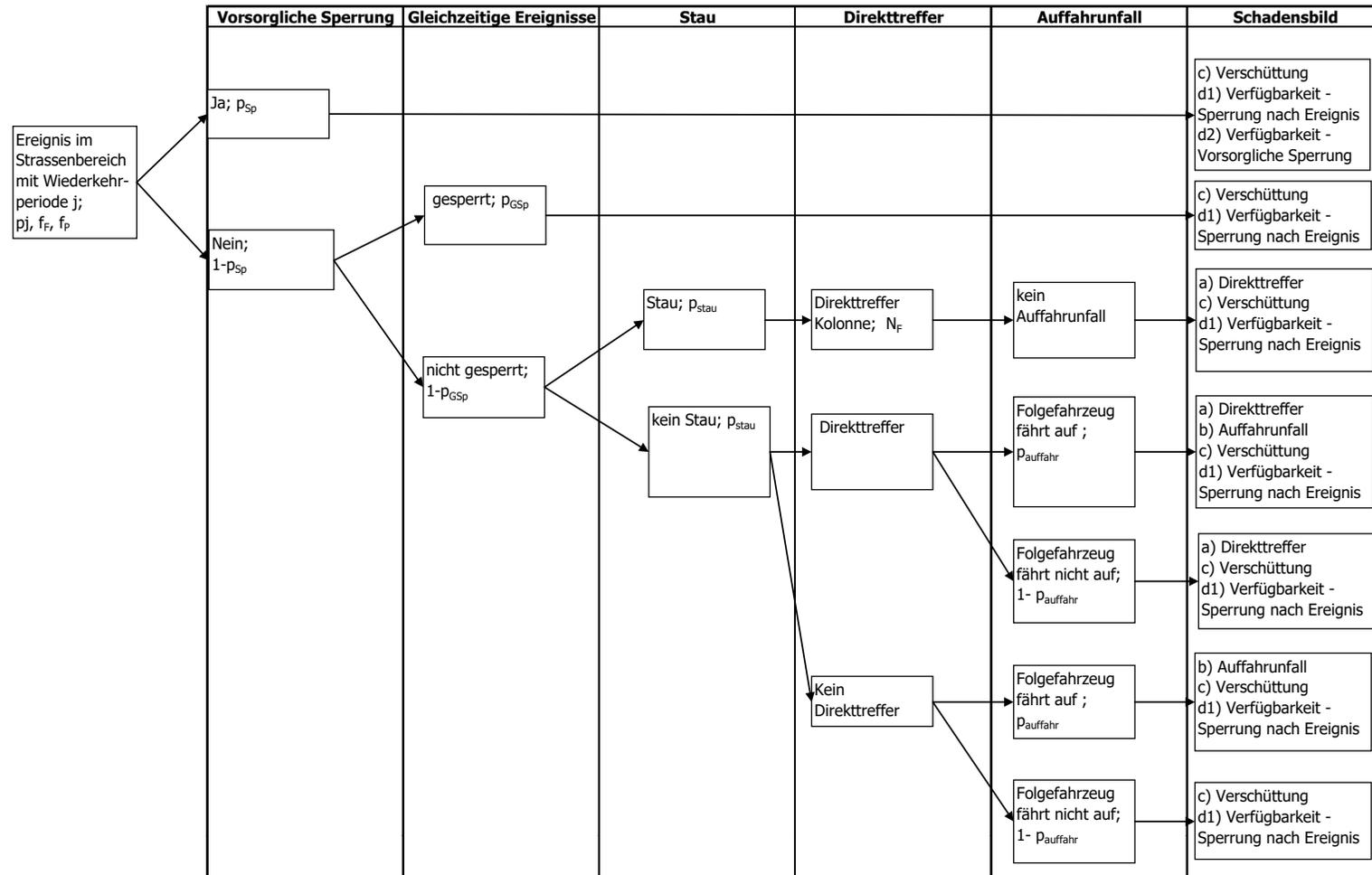


Abb. 4.1 Massgebende Szenarien der Schadenentstehung Bereich Fahrbahn.

- a) **„Direkttreffer“:**  
 Personen auf der Verkehrsachse werden direkt durch den Prozess getroffen und getötet ⇒ Personenschäden (Tote; Verletzte werden nicht separat berücksichtigt<sup>6</sup>).
- b) **„Auffahrunfall“:**  
 Personen kommen nach einem Naturereignis infolge eines Aufpralls ihres Fahrzeuges auf ein Unfallfahrzeug oder Ablagerungen eines Prozesses oder auf Teile von beschädigten Bauwerken zu Schaden resp. sie verunfallen mit ihrem Fahrzeug infolge Fehlens von Fahrbahn- oder Bauwerksteilen (durch einen Prozess weggetragen oder erodiert) ⇒ Personenschäden (Tote; Verletzte werden nicht separat berücksichtigt <sup>siehe Fussnote 6</sup>).
- c) **„Verschüttung“:**  
 Verschüttung einer Verkehrsachse durch Ablagerungen eines Prozesses, Beschädigung oder Zerstörung der Verkehrsachse durch die physikalische Wirkung des Prozesses ⇒ Räumungs- und Wiederherstellungskosten.
- d) **„Verfügbarkeit“:** Eine Streckenabschnitt kann aus folgenden Gründen nicht verfügbar sein:
  - d1) **„Sperrung nach Ereignis“** für Räumungs- und Wiederherstellungsarbeiten oder wegen andauernder Gefahr ⇒ Kosten wegen nicht verfügbarer Strecke (Umfahrungskosten).
  - d2) **„Vorsorgliche Sperrung“** eines Verkehrsweges infolge drohender Gefahr ⇒ Kosten wegen nicht verfügbarer Strecke (Umfahrungskosten).

**Bereich Nebenanlagen**

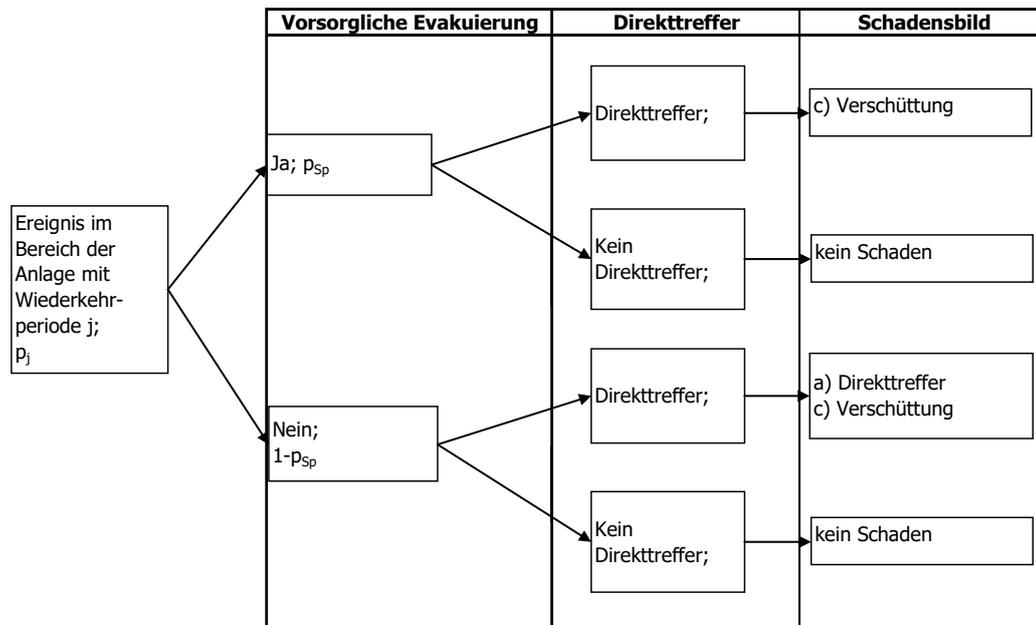


Abb. 4.2 Massgebende Szenarien der Schadenentstehung Bereich Nebenanlagen.

- a) **„Direkttreffer“:**  
 Personen auf Nebenanlagen werden direkt durch den Prozess getroffen ⇒ Personenschäden (Tote; Verletzte werden nicht separat berücksichtigt <sup>siehe Fussnote 6</sup>).
- c) **„Verschüttung“:**  
 Verschüttung einer Nebenanlage durch einen Prozess, Beschädigung oder Zerstörung der Nebenanlage durch die physikalische Wirkung des Prozesses ⇒ Räumungs- und Wiederherstellungskosten.

<sup>6</sup> Die Folgekosten, die durch Verletzte bei einem Unfall verursacht werden, können sehr gross sein. Weil aber im Bereich Naturgefahren Erfahrungswerte fehlen, um Anzahl und Ausmass von Verletzten bestimmen zu können, wird zur Vereinfachung der zu berücksichtigenden Konsequenzen bei Personen nur die Todesopfer berücksichtigt.

**Präzisierung**

Für die Gefahrenprozesse „Permanente Rutschung“, „statische Überflutung“ und „Einsturz / Absenkung“ entfällt das Szenario „Direkttreffer“ sowohl im Bereich „Fahrbahn“ wie im Bereich „Nebenanlagen“.

Das Szenario „Auffahrunfall“ entfällt, wenn die Ablagerungs- / Hindernishöhe < 15 cm und die Ereignisintensität gleichzeitig „schwach“ ist.

**Erläuterung der Parameter**

**$p_j$  = Eintretenswahrscheinlichkeit des Ereignis im Szenario j**

Dieser Wert ergibt sich aus der Wiederkehrperiode eines Szenarios, welche durch die Naturgefahrenfachperson in der Gefahrenanalyse zugewiesen wurde.

Die Wahrscheinlichkeit  $p_j$  des Szenarios mit Wiederkehrperiode j ist die Wahrscheinlichkeit, dass der Wert der Wiederkehrperiode j zwar erreicht oder überschritten wird, derjenige der Wiederkehrperiode j+1 aber nicht überschritten wird. Dementsprechend kann die Wahrscheinlichkeit  $p_j$  des Szenario j wie folgt beschrieben werden:

$$p_j = h_j - h_{j+1}$$

Wahrscheinlichkeit	Auftreten	Wiederkehrperiode j / Jährlichkeit	$p_j$	Bemerkungen
sehr hoch	sehr häufig	> 0 bis und mit 10 Jahre	$= \frac{1}{j} - \frac{1}{30}$	Konkreter Wert für j ist gestützt auf den Ereigniskataster festzulegen
hoch	häufig	> 10 bis und mit 30 Jahre	$= \frac{1}{30} - \frac{1}{100} = 0.0233$	
mittel	selten	> 30 bis und mit 100 Jahre	$= \frac{1}{100} - \frac{1}{300} = 0.0067$	
gering	sehr selten	> 100 bis und mit 300 Jahre	$= \frac{1}{300} = 0.0033$	
sehr gering	extrem selten	> 300 Jahre		Entspricht einem noch selteneren vorstellbaren Ereignis (z. B. EHQ); Gefahrenanalyse nur für Hochwasser, keine Risikobestimmung

**f<sub>f</sub> = Fahrbahnfaktor**

Naturgefahrenprozesse betreffen nicht immer die ganze Breite der Fahrbahn, sie kommen je nach Situation schon auf dem Standstreifen oder in der Fahrbahnmittle zum Stillstand. Dies hat folgenden Einfluss auf die verschiedenen Schadensbilder:

*Abb. 4.3 Einfluss des Fahrbahnfaktors auf die verschiedenen Schadensbilder*

Schadensbild gemäss Abbildung 4.1	Prozess betrifft	Auswirkungen auf das Schadensbild
A- Direkttreffer	Ganze Fahrbahn	Gesamter durchschnittlicher täglicher Verkehr (DTV) der beiden Fahrstreifen betroffen.
	Fahrstreifen einer Richtung	Normalsituation: DTV des Fahrstreifens (= halber DTV der Fahrbahn) ist betroffen. Stausituation: 140 Fahrzeuge / km sind betroffen
	Standstreifen	Kein Direkttreffer.
B – Auffahrunfall	Ganze Fahrbahn	Wahrscheinlichkeit Auffahrunfall gemäss Abb. 4.10 .
	Fahrstreifen einer Richtung	Wahrscheinlichkeit Auffahrunfall halb so gross wie in Abb. 4.10
	Standstreifen	Kein Auffahrunfall.
C – Verschüttung	Ganze Fahrbahn	Schadenausmass gemäss Anhang I.
	Fahrstreifen einer Richtung	Schadenausmass halb so gross wie in Anhang I.
	Standstreifen	Schadenausmass ein Viertel des Wertes in Anhang I
D1 – Verfügbarkeit Sperrung nach Ereignis	Ganze Fahrbahn	Zusätzliche Umfahrungszeit und durchschnittliche Sperrdauer gemäss Abb. 5.2
	Fahrstreifen einer Richtung	Wechselverkehr ⇒ zusätzliche Wartezeit (=zusätzliche Umfahrungszeit) = 15 Minuten.
	Standstreifen	Verfügbarkeit wird nicht beeinträchtigt.
D2 – Verfügbarkeit vorsorgliche Sperrung		Keinen Einfluss auf das Schadenausmass in diesem Schadensbild.

**f<sub>p</sub> = Positionsfaktor**

Ein Naturgefahrenprozess kann sowohl neben der Fahrbahn, auf der Fahrbahn, über der Fahrbahn (z. B. Galeriedach) und unter der Fahrbahn verlaufen (z. B. Brücken).

Dies hat folgenden Einfluss auf die Schadensbilder.

*Abb. 4.4 Relevanz der Position des Naturgefahrenprozess bezüglich der Fahrbahn auf die verschiedenen Schadensbilder*

Position des Naturgefahrenprozess bezüglich Fahrbahn	Relevanz für folgende Schadensbilder
Neben der Fahrbahn	Schadensbilder A, B, C, D1: Keine Relevanz. Schadensbild D2: Relevanz ist objektspezifisch abzuklären.
Auf der Fahrbahn	Relevanz gemäss vorliegender Methodik.
Über der Fahrbahn	Schadensbilder A, B und D1: Relevant, wenn Konstruktion einstürzen kann. Schadensbild C: Relevant, wenn Konstruktion beschädigt wird oder einstürzen kann. Schadensbild D2: Relevanz ist objektspezifisch abzuklären.
Unter der Fahrbahn	Schadensbilder A, B und D1: Relevant, wenn Konstruktion einstürzen kann. Schadensbild C: Relevant, wenn Konstruktion beschädigt wird oder einstürzen kann. Schadensbild D2: Relevanz ist objektspezifisch abzuklären.

**p<sub>Sp</sub> = Vorsorgliche Sperrung (Sperrungswahrscheinlichkeit p<sub>Sp</sub>)**

Damit wird berücksichtigt, dass ein gefährdeter Streckenabschnitt vor dem Eintreffen des Gefahrenprozesses vorsorglich gesperrt wird, resp. dass Personen rechtzeitig aus den entsprechenden Nebenanlagen evakuiert werden können. Für Prozessquellen mit automatischem Messdispositiv und / oder für meteorologisch gesteuerte Prozesse (Schnee, Wasser und Hangmuren) ist die Sperrungswahrscheinlichkeit für jede Prozessquelle und jedes Szenario festzulegen. Für alle anderen Fälle ist p<sub>Sp</sub> = 0 zu setzen. Die Sperrungswahrscheinlichkeiten sind zusammen mit den verantwortlichen Stellen abzuschätzen. Dabei soll folgende Einstufung in Anlehnung an Abb. 4.5 dienen:

Abb. 4.5 Abschätzung der Sperrungswahrscheinlichkeit p<sub>Sp</sub>

Sperrungswahrscheinlichkeit p <sub>Sp</sub>	Streckensperrung ist
0.9	ziemlich sicher
0.5	wahrscheinlich
0.1	wenig wahrscheinlich
0	nicht wahrscheinlich

Liegen aufgrund der historischen Erfahrungen genauere Werte vor, so sind diese einzusetzen.

**p<sub>GSp</sub> = Sperrung infolge gleichzeitiger Ereignisse:** Es wird berücksichtigt, dass ein Autobahnstreckenabschnitt infolge eines ersten Ereignisses des selben Ereignistyps für Folgeereignisse bereits oder noch gesperrt ist, resp. dass eine Nebenanlage bereits durch einen auf die selbe Nebenanlage wirkenden Prozess vom selben Ereignistyp betroffen ist. Dazu werden für jedes Szenario die Anzahl Gefahrenstellen n zwischen zwei Autobahnausfahrten berücksichtigt, die durch dasselbe meteorologische Ereignis ausgelöst werden können (Schnee, Wasser und Hangmuren). Die Sperrungswahrscheinlichkeit infolge gleichzeitiger Ereignisse p<sub>GSp</sub> wird wie folgt berechnet<sup>7</sup>:

$$p_{GSp} = a \times \left(1 - \frac{1}{n}\right)$$

Abb. 4.6 Faktoren zur Bestimmung der Sperrungswahrscheinlichkeit infolge gleichzeitiger Ereignisse

Abkürzung	Erklärung	Masseinheit	Wert und Datenherkunft
a	Der Reduktionsfaktor berücksichtigt, dass in der Realität selten alle Prozessquellen auf einer Strecke durch ein und das selbe meteorologische Ereignis ausgelöst werden, oder dass die Ereignisse so gleichzeitig geschehen, dass zwischendurch eine Sperrung nicht mehr möglich ist.	[ ]	Ist zusammen mit den Verantwortlichen für die Gefahrenbeurteilung und den verantwortlichen Stellen aus den historischen Ereignissen abzuleiten. Ist dies nicht möglich, so wird a = 0.75 gesetzt. Je kleiner die Korrelation zwischen den einzelnen Gefahrenstellen, desto kleiner wird a gewählt.
n	Anzahl Prozessquellen, welche durch das selbe meteorologische Ereignis ausgelöst werden können und welche die Ursache der vorsorglichen Schliessung eines Strassenabschnitts sind. Als Strassenabschnitt versteht man die Strecke zwischen zwei Anschlüssen, welche in Betrieb sind.	[ ]	Gefahrenbeurteilung.

<sup>7</sup> Beispiel: Queren 5 Wildbachgerinne zwischen 2 Autobahnausfahrten die Strasse, so ist p<sub>GSp</sub> für jedes Gerinne = 0.75 x (1-1/5) = 0.6.

Der Faktor  $p_{GSp}$  muss für jede Prozessquelle und jedes Szenario separat bestimmt werden. Kann aufgrund der Ereignisdokumentation eine andere Verteilung der Erstverschüttung rekonstruiert werden, so sind diese Werte entsprechend anzupassen.

Für Sturzprozesse, permanente und „spontane Rutschungen“ sowie „Einsturz / Absenkung“ wird der Faktor  $p_{GSp} = 0$  gesetzt.

### Unterscheidung von Expositionssituationen

Für die Personenrisiken sind verschiedene Expositionssituationen auszuscheiden. Es werden zwei unterschiedliche Expositionssituationen unterschieden: Normalsituation und Stausituation.

Die Wahrscheinlichkeit der verschiedenen Expositionssituation  $p_{expo}$  lässt sich wie folgt berechnen:

Stausituation:

$$p_{Stau} = \left( \frac{\text{Anzahl Staus pro Jahr}}{365} \right) \times \left( \frac{\text{Durchschnittliche Dauer pro Stau [h]}}{24} \right)$$

Normalsituation:

$$p_{Norm} = 1 - p_{Stau}$$

## 4.2 Gefährdete Objekte

### Art der Objekte

Es sind grundsätzlich drei Arten von Objekten betroffen, wenn Nationalstrassen durch Naturgefahren betroffen sind:

Abb. 4.7 Gefährdete Objektarten und die möglichen Schadensarten

Objektart	Schadensart
<ul style="list-style-type: none"> <li>· Personen, die sich im Ereignisfall im betroffenen Streckenabschnitt befinden oder in diesen hineinfahren können</li> <li>· Personen, die sich im Ereignisfall in einer der Nebenanlagen aufhalten</li> </ul>	Tod der Person
<ul style="list-style-type: none"> <li>· Fahrbahn und die dazugehörenden Kunstbauten gemäss UHPeri</li> </ul>	Räumung- und Wiederherstellungskosten Kosten infolge Unterbruch (Umfahrungskosten) wegen einem Ereignis oder wegen der vorsorglichen Sperrung in Erwartung eines Ereignisses
<ul style="list-style-type: none"> <li>· Nebenanlagen gemäss UHPeri</li> </ul>	Räumung- und Wiederherstellungskosten

### Anzahl und Präsenzwahrscheinlichkeit gefährdeter Personen

#### Direkttreffer Fahrbahn

Anzahl der betroffenen Fahrzeuge  $N_F$  errechnet sich aus dem durchschnittlichen täglichen Verkehr (DTV). Dabei sind die saisonalen DTV-Werte entsprechend dem saisonalen Auftreten der Prozesse zu wählen.

Gefahrenprozess gemäss Abb. 3.1	DTV folgender Monate ist massgebend
Fließ- und Staublawinen, Gleitschnee, Eisschlag	Dezember bis April
Hangmuren, Übersarung, Überflutung, Übermürung, Ufererosion / Unterkolkung	März bis November
Steinschlag, Blockschlag, Felssturz, permanente Rutschung,	Januar bis Dezember

spontane Rutschung, Einsturz / Absenkung

---

Damit kann die Anzahl sich im Prozessraum aufhaltender Fahrzeuge  $N_F$  für das Szenario Direkttreffer wie folgt berechnet werden:

Normalsituation:

$$N_{FNorm} = \frac{DTV \times g}{v \times 24'000}$$

Formel Stausituation:

$$N_{FStau} = \frac{(\rho_{max} \times g)}{1000}$$

Abb. 4.8 Faktoren zur Bestimmung der Anzahl Fahrzeuge im Gefahrenbereich

Abkürzung	Erklärung	Masseinheit	Datenherkunft
g	Länge des gefährdeten Streckenabschnittes auf der Strasse pro Intensitätszone	[m]	Intensitätskarte gemäss Kapitel 3.
v	signalisierte Höchstgeschwindigkeit	[km/h]	Gemäss Angaben MISTRA resp. Gebietsverantwortliche.
DTV	Durchschnittlicher täglicher Verkehr	[Fahrzeuge/Tag]	Automatische Strassenverkehrs-Zählstellen.
$\rho_{max}$	Maximale Fahrzeugdichte in Stausituationen = 140 Fzg. / km und pro Fahrstreifen.	[Fahrzeuge / km]	Hoffmann und Nielsen, 1993: Beschreibung von Verkehrsabläufen an signalisierten Knotenpunkten [39]. Dieser Wert geht unter Berücksichtigung eines LKW-Anteils von 10% von einer mittleren Fahrzeuglänge von 5.5 m aus.

Ergänzung zum DTV: Wo keine DTV-Werte vorliegen (z. B. Aus- und Einfahrten, Rampen u. a.) sind die Werte zusammen mit den zuständigen Stellen und aufgrund von Plausibilitätsüberlegungen festzulegen.

Mit einem durchschnittlichen Besetzungsgrad  $\beta$  kann die Anzahl gefährdeter Personen  $N_P$  wie folgt berechnet werden:

$$N_P = N_F \times \beta$$

Abb. 4.9 Faktoren zur Bestimmung der Anzahl gefährdeter Personen im Gefahrenbereich

Abkürzung	Erklärung	Masseinheit	Datenherkunft
$N_P$	Anzahl betroffene Personen	[Personen]	
$N_F$	Anzahl betroffene Fahrzeuge	[Fahrzeuge]	Herleitung siehe oben
$\beta$	Mittlerer Besetzungsgrad = 1.76	[Personen / Fahrzeug]	Unter Berücksichtigung, dass 0.5% des DTV Cars mit durchschnittlich 25 Insassen sind. Gemäss [21] und [59]

**Direkttreffer Nebenanlagen:**

Anzahl Personen  $N_P$  und Präsenzzeit  $TP$  von gefährdeten Personen, die sich zwischen 06:00 und 22:00 auf einer Nebenanlage aufhalten, sind objektspezifisch festzulegen. Dazu

müssen die Verantwortlichen bei den Werkhöfen wie auch die Betreiber von Raststätten befragt werden.

#### Auffahrunfall Fahrbahn

Ob ein Fahrzeug mit einer Ablagerung auf der Fahrbahn kollidiert resp. rechtzeitig vor einem durch einen Gefahrenprozess entstandenen Schaden auf der Fahrbahn bremsen kann, wird durch folgende äussere Faktoren beeinflusst:

- Sichtweite, Fahrgeschwindigkeit, Kurvigkeit und Kurvenradien der Strecke, Dichte des Verkehrs.

Die Auswertung der bisher in der Datenbank StorMe erfassten Naturgefahrenereignisse auf den Nationalstrassen im Kanton Bern hat ergeben, dass die Auffahrwahrscheinlichkeit im Falle eines Ereignisses rund 15% beträgt. Dies ist ein Durchschnittswert, unabhängig vom Streckentyp.

Um die Wahrscheinlichkeit eines Auffahrunfalls  $p_{\text{auffahr}}$  auf einem gegebenen Streckenabschnitt abzuschätzen sind die Auffahrunfälle und deren Verteilung auf dem Nationalstrassennetz auszuwerten. Dazu soll jeder zu untersuchende Streckenabschnitt in eine der folgenden drei Klassen eingeteilt werden (Abb. 4.10):

Abb. 4.10 Wahrscheinlichkeit Auffahrunfall

Auffahrwahrscheinlichkeit in Worten	Klassengrenzen für $p_{\text{auffahr}}$	einzusetzender Wert für $p_{\text{auffahr}}$ in der Risikoanalyse
häufig	> 0.2	0.25
mittel	0.1 bis 0.2	0.15
unwahrscheinlich	< 0.1	0.05

Die Anzahl betroffener Personen im Szenario „Auffahrunfall“ beträgt  $\beta = 1.76$  Personen.

Das Szenario „Auffahrunfall“ ist nur für die Expositionssituation „Normalsituation“ relevant. Weiter muss das Szenario „Auffahrunfall“ bei Ablagerungshöhe resp. Blockdurchmesser < 0.15 m bei gleichzeitig schwacher Ereignisintensität nicht berücksichtigt werden.

#### Lage und Grösse ortsfester Objekte

In der Risikoanalyse werden folgende Infrastrukturbauten berücksichtigt, für welche das ASTRA zuständig ist:

- Fahrbahn inkl. Rampen und Zubringer
- Brücken
- Galerien
- Tunnel inkl. Portale
- Nebenanlagen (Raststätten, Rastplätze, Werkhöfe, Polizeistützpunkte, Kontrollstellen etc.)

Massgebend ist die Lage und Grösse der ortsfesten Objekte gemäss UHPeri oder MISTRA.

Sollen objektspezifisch andere Sachwerte berücksichtigt werden, so ist dies mit dem Auftraggeber vorgängig zu klären.

#### Wert von ortsfesten Objekten

Der Wert der Objekte wurde aufgrund von Befragungen innerhalb des ASTRA und unter Berücksichtigung der Angaben in der Literatur (zum Beispiel [16], [30], [23], [45], [56], [59]) festgelegt. Sie sind in Anhang A dargestellt. Basiswerte für Kunstbauten (Brücken, Tunnel, Galerien u. ä.) sind objektspezifisch festzulegen. Die Werte in Anhang A geben Richtgrössen dafür.

### **Kosten infolge Unterbruch**

Die Verfügbarkeit einer Strecke oder eines Streckenabschnittes für den Strassenverkehr ist dessen Hauptfunktion. Ist diese nicht mehr gegeben entstehen Kosten infolge Verkehrsumleitungen und entsprechend längere Fahrzeiten. Dieser Schaden entsteht zwar nicht dem Betreiber einer Strecke, ist aber – retrospektiv betrachtet – wohl eines der wichtigsten Argumente zur Ausführung von Schutzmassnahmen entlang der Nationalstrassen. Auch die Reaktionen von verschiedenen Interessengruppen nach Naturgefahrenereignissen konzentrierten sich vor allem auf das Argument der Nicht-Verfügbarkeit oder Nicht-Erreichbarkeit und den daraus entstehenden Folgeschäden.

Die Kosten infolge Unterbruch können mit einem Modell, welches die IVT-ETH entwickelt hat, geschätzt werden [35]. Dieses Modell beinhaltet Zeitverluste aufgrund von Umwegen, wechselnde Unfallkosten sowie abgesagte Berufs- und Privatreisen.

## 5 Folge- oder Konsequenzenanalyse

### 5.1 Personenrisiken

#### Direkttreffer Fahrbahn

Mit Ausnahme der Lawinen fehlen Daten-Grundlagen, wie die Schadenempfindlichkeit bei Personen- oder Fahrzeugtreffern quantifiziert werden kann. Die Auswertung der historischen Lawinenunfälle auf Strassen ergibt gemäss [60] eine durchschnittliche Letalität von 0.18, dabei wurde aber die Ereignisintensität nicht weiter berücksichtigt.

In den in den letzten Jahren herausgegebenen methodischen Grundlagen zur Durchführung von Risikoanalysen sind unterschiedliche Werte zur Letalität von Strassenbenutzern publiziert worden, die allesamt auf Annahmen und Plausibilitätsüberlegungen beruhen. Diese Werte differieren untereinander teilweise ziemlich stark. Sie gehen teilweise auch von unterschiedlichen Grundannahmen und unterschiedlichen Schadensbildern aus (z.B. mit und ohne spezifische Berücksichtigung des Schadensbild „Auffahrunfall“). Da im Moment keine exakte Herleitung der Empfindlichkeit (Letalität) bei Personen- oder Fahrzeugtreffern besteht, werden die Werte gemäss Anhang II (in Anlehnung an [16]) verwendet<sup>8</sup>.

#### Auffahrunfall Fahrbahn

Für das Szenario „Auffahrunfall“ wurde angenommen, dass die Letalität unabhängig von der Prozessart und -intensität der Letalität eines durchschnittlichen Auffahrunfalls auf Autobahnen gleichzusetzen ist. Diese beträgt gemäss SN 640 007<sup>9</sup> 0.0066.

#### Direkttreffer Nebenanlage

Für dieses Unfallszenario gelten bezüglich Schadenempfindlichkeit im Wesentlichen die gleichen Aussagen wie für das Szenario „Direkttreffer Fahrbahn“. Es sollen auch hier aus der Literatur abgeleitete und plausibilisierte Pauschalwerte verwendet werden. Es ist zu beachten, dass sich Personen auf Nebenanlagen entweder im Freien oder in Gebäuden aufhalten können. Es sind die Werte gemäss Anhang II zu verwenden.

### 5.2 Sachrisiken

Zur Durchführung der Konsequenzenanalyse der Sachrisiken bestehen zwei Vorgehensweisen:

- Integration der Daten der Gefahrenanalyse in die Fachapplikation KUBA-DB gemäss [30]. Da die Schnittstellen zwischen diesen beiden Vorgehen in der zur Verfügung stehenden Zeit noch nicht genauer definiert werden konnten wird auf diesen Ansatz nicht mehr näher eingegangen.
- Verwendung von Pauschalansätzen analog der Letalität und wie in den bisher verwendeten Methoden.

Im Folgenden wird die zweite Möglichkeit detaillierter vorgestellt.

<sup>8</sup> Für die Gefahrenprozesse Rutschung permanent, Überflutung statisch und Einsturz / Absenkung entfällt das Szenario „Direkttreffer“.

<sup>9</sup> Dieser Wert wurde wie folgt aus den SN 640 007 (Strassenverkehrsunfälle) hergeleitet: 12.7% der Unfälle auf Autobahnen und Autostrassen haben Personenschäden zur Folge, 5.2% der Personenschäden auf Autobahnen und Autostrassen sind tödlich  $\Rightarrow$  Letalität  $\lambda = 0.127 * 0.052 = 0.0066$

### Verschüttung: Räumungs- und Wiederherstellungskosten

Auch hierzu fehlen wissenschaftlich anerkannte Grundlagen, wie das Schadenausmass für das Szenario „Verschüttung“ quantifiziert werden kann. Allerdings ist hier die Datenunsicherheit etwas weniger gross als bei der Letalität, da aufgrund wiederholter historischer Ereignisse gewisse Erfahrungswerte bestehen. Diese wurden bisher allerdings nicht systematisch ausgewertet.

Zur Bestimmung des Schadenausmasses für das Szenario „Verschüttung“ werden die Werte gemäss Anhang A verwendet. Die Schadenempfindlichkeit von Kunstbauten (Galerien, Brücken usw.) ist objektspezifisch herzuleiten. Bei permanenten Prozessen können die jährlichen Schadenerwartungswerte je nach Datenlage auch aus den periodischen Unterhaltskosten abgeleitet werden (z. B. in Gebieten mit regelmässigen Absenkungen).

### Verfügbarkeit: Kosten infolge Unterbruch

Wie in Kapitel 4. beschrieben soll das Risiko für das Schadensbild „Verfügbarkeit“ mit dem Staukostenansatz monetarisiert werden. Die Schadenempfindlichkeit setzt sich aus folgenden Elementen zusammen:

- Dauer der Sperrung
- Zusätzliche Fahrzeit infolge Umfahrung
- Kosten pro zusätzliche Stunde Fahrzeit pro Fahrzeug (=Staukostenansatz)

### Dauer der Sperrung:

Hier müssen zwei Fälle berücksichtigt werden:

- Vorsorgliche Sperrung
- Sperrung nach Ereignis

### Vorsorgliche Sperrung:

Die Sperrdauer  $d_{Spvorsch}$  [in Tagen] und die Sperrhäufigkeit  $h_{Sp}$  sind zusammen mit den verantwortlichen Stellen in Anlehnung an Abb. 5.1 für jedes Szenario und jede Prozessquelle festzulegen. Liegen objektspezifisch genauere Daten vor, sind auf alle Fälle diese einzusetzen.

Abb. 5.1 Beziehung zwischen der Sperrungswahrscheinlichkeit  $p_{Sp}$  und der dafür benötigten Sperrhäufigkeit.<sup>10</sup>

Sperrungswahrscheinlichkeit $p_{Sp}$	Streckensperrung ist	Benötigte Sperrhäufigkeit $h_{Sp}$ [ ]	Durchschnittliche Sperrdauer pro Sperrung $d_{Spvorsch}$ [Tage]
0.9	ziemlich sicher	4	Objektspezifisch zu bestimmen <sup>11</sup>
0.5	wahrscheinlich	2	
0.1	wenig wahrscheinlich	1	

Dieser Faktor muss für jede Prozessquelle und jedes Szenario separat bestimmt werden.

<sup>10</sup> Gemäss [60] muss bei Lawinen (und wohl auch Murgängen) bedacht werden, dass prospektiv betrachtet mehr Sperrtage benötigt werden als retrospektiv, das heisst die effektiv eingesetzten Sperrtage grösser sind als die Tage mit Ereignissen. Dieser Sachverhalt ist auch für automatische Messstellen plausibel, wo es zu Fehlalarmen kommen kann und die Grenzwerte für eine Alarmierung eher konservativ gesetzt werden. Dies kann im Szenario „Verfügbarkeit –vorsorgliche Sperrung“ mit der Sperrhäufigkeit  $> 1$  berücksichtigt werden.

<sup>11</sup> Aufgrund von Erfahrungen beträgt die Dauer vorsorglicher Sperrungen selten mehr als 24 Stunden. In begründeten Fällen soll aber auch ein grösserer Wert gewählt werden können.

### Sperrung nach Ereignis

Die Dauer eines Unterbruchs (=Sperrdauer  $d_{SpE}$ ) kann, gestützt auf die qualitative Beschreibung der Intensitätsstufen in [17], in Abhängigkeit der Ereignisintensität wie folgt beschrieben werden<sup>12</sup>:

Abb. 5.2 Durchschnittliche Sperrdauer  $d_{SpE}$  in Abhängigkeit der Ereignisintensität für das Szenario d1) „Verfügbarkeit – Sperrung nach Ereignis“

Ereignisintensität	Durchschnittliche Sperrdauer	Werte für $d_{SpE}$ [Tage]
1 (schwach)	1 h	1/24
2 (mittel)	1 Tag	1
3 (stark)	1 Woche	7

Massgebend ist die maximal auf der Fahrbahn auftretende Ereignisintensität pro Prozessquelle und Szenario.

### Tägliche Sperrungskosten

Zur Berechnung der Sperrungskosten wird ein Verkehrsmodell verwendet, das vom IVT-ETHZ entwickelt wurde. Dieses Modell ermöglicht es, die durch Streckensperrungen im Nationalstrassennetz verursachten Kosten zu quantifizieren. Dabei werden folgende Faktoren berücksichtigt:

1. die Umfahrkosten für Personen- und Lastwagen;
2. die zusätzlichen Kosten als Folge der steigenden Unfallgefahr;
3. die Nichtdurchführung von berufs- und freizeitbedingten Fahrten.

Für genauere Angaben siehe [refer. Erath, A. (2011) Vulnerability assessment of road transport infrastructure, Ph.D. Dissertation, ETH Zürich, Zürich [35]].

Es wurden ein Sommer- und ein Winterszenario berechnet. Letzteres Szenario geht davon aus, dass die normalerweise im Winter geschlossenen Pässe nicht zur Verfügung stehen.

Befindet sich die Kantonsstrasse in der Nähe der Nationalstrasse (Abstand = oder < 50 m), wird von der Hypothese ausgegangen, dass diese Kantonsstrasse vollständig (in beiden Richtungen) für den Verkehr gesperrt ist.

Dieses pessimistische Szenario entspricht seltenen oder schlicht unrealistischen Ereignissen. Es stellt jedoch die einzige mögliche Methode dar, um die Kosten einer Sperrung standardisiert und automatisiert für die ganze Schweiz zu berechnen (Risikokarten und Risikozonen). Denn so wird gewährleistet, dass alle möglichen – einschliesslich der sehr seltenen – Ereignisse berücksichtigt werden. Der oben beschriebene Ansatz wird systematisch für das gesamte Nationalstrassennetz zur Beurteilung von Naturgefahren angewendet.

Anschliessend erfolgt in der Phase «Risiko- und Massnahmenbewertung» eine detaillierte Analyse aller Hotspots, die aus diesem systematischen Ansatz über das gesamte Nationalstrassennetz hinweg resultieren (Plausibilitätsprüfungen). Dabei werden die realistischen örtlichen Gegebenheiten (Verkehrsumleitung, Verfügbarkeit des Netzes) berücksichtigt.

<sup>12</sup> Als Vergleich dazu: Die SBB gehen gemäss [56] von folgenden Werten aus:

Ereignisintensität	Durchschnittliche Sperrdauer
1 (schwach)	0.5 Tage
2 (mittel)	10 Tag
3 (stark)	50 Tage

## 6 Risikoberechnung

### 6.1 Allgemeines

Die Risikoberechnung erfolgt pro Prozessquelle, Wiederkehrperiode (Szenario) und Schadensbild nach der allgemein gültigen Formel:

$$R_{i,j} = ps_{i,j} \times S_{i,j}$$

$R_{i,j}$  = Risiko des Objektes i bei Szenario j

$ps_{i,j}$  = Schadenswahrscheinlichkeit beim Objekt i aufgrund von Szenario j

$S_{i,j}$  = Schadenausmass des Objektes i aufgrund von Szenario j

Mit

$$ps_{i,j} = p_j \times p_{i,j}$$

und

$$S_{i,j} = A_i \times v_{i,j}$$

kann die Risikoformel auch geschrieben werden als:

$$R_{i,j} = p_j \times p_{i,j} \times A_i \times v_{i,j}$$

$$R_j = \sum_i R_{i,j}$$

$$R = \sum_j R_j$$

$R_{i,j}$  = Risiko des Objektes i bei Szenario j

$p_j$  = Wahrscheinlichkeit des Szenario j

$p_{i,j}$  = Wahrscheinlichkeit, dass Objekt i dem Szenario j ausgesetzt ist

$A_i$  = Wert des Objektes i

$v_{i,j}$  = Schadenempfindlichkeit des Objektes i bei Szenario j

Im Folgenden sollen die Formeln für die Risikoberechnung für jedes Schadensbild nach Schadenwahrscheinlichkeit und Schadenausmass hergeleitet werden. Bei allen nachfolgenden Berechnungen muss berücksichtigt werden, ob der Gefahrenprozess den Standstreifen, den Fahrstreifen einer Fahrrihtung oder die ganze Fahrbahn tangiert (beide Fahrrihtungen). Entsprechend sind die Anzahl betroffener Personen, Umfassungsmöglichkeiten und das Schadenausmass der betroffenen Sachgüter anzupassen.

### 6.2 Schadensbild a: Direkttreffer

#### Fahrbahn

Dieses Schadensbild ist relevant für die Prozesse „Sturz“, Hangmuren, spontane Rutschungen, Lawinen, Überflutung dynamisch sowie Murgang / Übersarung, die die Fahrbahn betreffen.

Schadenwahrscheinlichkeit  $p_{S_{Dfahrbahn}}$  für die Stausituation:

$$p_{S_{DfahrbahnStau}} = p_j \times (1 - p_{Sp}) \times (1 - p_{GSp}) \times p_{Stau}$$

Resp. für die Normalsituation:

$$p_{S_{DfahrbahnNorm}} = p_j \times (1 - p_{Sp}) \times (1 - p_{GSp}) \times p_{Norm}$$

Abkürzung	Erklärung	Masseinheit	Wert und Datenherkunft
$p_j$	Wahrscheinlichkeit des Szenario j.	[1 / Jahre]	Wert gemäss Seite 44.
$p_{Sp}$	Wahrscheinlichkeit der vorsorglichen Sperrung; muss für jede Prozessquelle separat bestimmt werden.	[ ]	Wert gemäss Abbildung 4.5 Seite 46.
$p_{GSp}$	Sperrungswahrscheinlichkeit infolge gleichzeitiger Ereignisse; muss für jede Prozessquelle separat bestimmt werden.	[ ]	Siehe Formel Seite 47.
$p_{Stau}$	Wahrscheinlichkeit der Stausituation.	[ ]	Herleitung siehe Seite 47.
$p_{Norm}$	Wahrscheinlichkeit der Normalsituation.	[ ]	Herleitung siehe Seite 47.

Schadenausmass  $S_{Dfahrbahn}$ :

$$S_{Dfahrbahn} = N_P \times \lambda \times p_{rA} \times f_F$$

Abkürzung	Erklärung	Masseinheit	Wert und Datenherkunft
$N_P$	Anzahl betroffene Personen pro Szenario	[ ]	Berechnung gemäss Formel Seite 47 für jede Expositionssituation.
$p_{rA}$	Räumliche Auftretenswahrscheinlichkeit, bezogen auf die gesamte Ablagerungsbreite	[ ]	Wert wird vom Gefahrengutachter gemäss Kapitel 3 bestimmt.
$\lambda$	Letalität im Ereignisfall	[ ]	Wert in Abhängigkeit von Prozessart und Prozessintensität gemäss Anhang B.
$f_F$	Fahrbahnfaktor	[ ]	Herleitung siehe Seite 45.

Damit kann das Risiko  $R_{Dfahrbahn;Q,j}$  von Personen auf der Fahrbahn infolge Direkttreffer pro Prozessquelle Q und pro Szenario j wie folgt berechnet werden:

$$R_{Dfahrbahn;Q,j} = (S_{DfahrbahnStau} \times p_{S_{DfahrbahnStau}}) + (S_{DfahrbahnNorm} \times p_{S_{DfahrbahnNorm}})$$

### Nebenanlagen

Dieses Schadensbild ist relevant für die Prozesse „Sturz“, Hangmuren, spontane Rutschungen, Lawinen, Überflutung dynamisch sowie Murgang / Übersarung, die die auf Nebenanlagen befindlichen Personen betreffen.

Schadenwahrscheinlichkeit  $p_{S_{Dnebenanlage}}$ :

$$p_{S_{Dnebenanlage}} = p_j \times (1 - p_{Sp}) \times (1 - p_{GSp}) \times 0.67$$

Abkürzung	Erklärung	Masseinheit	Wert und Datenherkunft
$p_j$	Wahrscheinlichkeit des Szenario j	[1 / Jahre]	Wert gemäss Seite 44.
$p_{Sp}$	Wahrscheinlichkeit der vorsorglichen Evakuierung; muss für jede Prozessquelle und Szenario separat bestimmt werden.	[ ]	Siehe Abbildung 4.5 auf Seite 46.
$p_{GSp}$	Evakuierungswahrscheinlichkeit infolge gleichzeitiger Ereignisse; muss für jede Prozessquelle und Szenario separat bestimmt werden.	[ ]	Siehe Formel auf Seite 47.
0.67	Damit wird berücksichtigt, dass auf Seite 47 die durchschnittlichen Besucherzahlen zwischen 06:00 und 22:00 bestimmt wurden, weil in dieser Zeit rund 95 % des DTV stattfindet. Gleichzeitig wird angenommen, dass die Ereigniswahrscheinlichkeit keinen tageszeitlichen Schwankungen unterliegt.	[ ]	$0.95 \times \frac{16}{24} = 0.67$

Schadenausmass  $S_{DNebenanlage}$ :

$$S_{Dnebenanlage} = N_P \times \frac{F}{F_N} \times \lambda \times p_{rA}$$

Abkürzung	Erklärung	Masseinheit	Wert und Datenherkunft
$N_P$	Anzahl betroffene Personen pro Szenario	[ ]	Bestimmung gemäss Seite 48.
F	Fläche innerhalb von $F_N$ , welche vom Prozess im Szenario j bestrichen wird	[m <sup>2</sup> ]	Aus der Gefahrenbeurteilung zu bestimmen.
$F_N$	Fläche der Nebenanlage, innerhalb welcher sich $N_P$ Personen aufhalten	[m <sup>2</sup> ]	Bestimmung anlässlich der Bestimmung von $N_P$ .
$p_{rA}$	Räumliche Auftretenswahrscheinlichkeit, bezogen auf die gesamte Ablagerungsbreite	[ ]	Wert wir vom Gefahrgutachter gemäss Kapitel 3 bestimmt.
$\lambda$	Letalität im Ereignisfall	[ ]	Wert in Abhängigkeit von Prozessart und Prozessintensität gemäss Anhang II.

Damit kann das Risiko  $R_{DNebenanlage;Q,j}$  von Personen auf Nebenanlagen infolge Direkttreffer pro Prozessquelle Q und pro Szenario j wie folgt berechnet werden:

$$R_{Dnebenanlage;Q,j} = (S_{Dnebenanlage} \times p^S_{Dnebenanlage})$$

### 6.3 Schadensbild b: Auffahrunfall

Das Schadensbild „Auffahrunfall“ ist relevant für alle Prozesse, welche die Fahrbahn betreffen. Das Schadensbild „Auffahrunfall“ muss nicht berücksichtigt werden, wenn die Prozess-Intensität schwach ist und die Ablagerungshöhe resp. Blockgrösse gleichzeitig < 0.15 m ist. Das Schadensbild „Auffahrunfall“ muss bei den Prozessen permanente Rutschung und „Einsturz / Absenkung“ mit jeweils schwacher Intensität ebenfalls nicht berücksichtigt werden. Das Schadensbild „Auffahrunfall“ ist nur für die Normalsituation relevant, da davon ausgegangen wird, dass in Stausituationen auftretende Hindernisse rechtzeitig erkannt werden.

Da die Auffahrwahrscheinlichkeit gemäss Seite 49 pro Naturereignis hergeleitet wurde, wird das Risiko dieses Schadensbildes pro Prozessquelle und Szenario berechnet und nachher gleichmässig auf den von dieser Prozessquelle im Szenario j bestrichenen Streckenabschnitt verteilt.

Schadenwahrscheinlichkeit  $p_{S_{auffahr}}$ :

$$p_{S_{auffahr}} = p_j \times (1 - p_{Sp}) \times (1 - p_{GSp}) \times p_{auffahr} \times f_F \times (1 - p_{Stau})$$

Abkürzung	Erklärung	Masseinheit	Wert und Datenherkunft
$p_j$	Wahrscheinlichkeit des Szenario j	[1 / Jahre]	Wert gemäss Seite 44.
$p_{Sp}$	Wahrscheinlichkeit der vorsorglichen Sperrung; muss für jede Prozessquelle und Szenario separat bestimmt werden.	[ ]	Siehe Abb. 4.5 auf Seite 46.
$p_{GSp}$	Sperrungswahrscheinlichkeit infolge gleichzeitiger Ereignisse; muss für jede Prozessquelle und Szenario separat bestimmt werden.	[ ]	Siehe Formel auf Seite 47.
$p_{auffahr}$	Wahrscheinlichkeit für einen Auffahrunfall nach einem Naturereignis auf dem betroffenen Streckenabschnitt	[ ]	Wert gemäss Abb. 5.1
$f_F$	Fahrbahnfaktor	[ ]	Herleitung siehe Seite 45.
$p_{Stau}$	Stauwahrscheinlichkeit	[ ]	Herleitung siehe Seite 48.

Schadenausmass  $S_{auffahr}$ :

$$S_{auffahr} = N_p \times \lambda$$

Abkürzung	Erklärung	Masseinheit	Wert und Datenherkunft
$N_p$	Anzahl betroffene Personen pro Szenario	[ ]	1.76 (durchschnittlicher Besetzungsgrad eines Fahrzeuges gemäss Seite 48 )
$\lambda$	Letalität im Ereignisfall	[ ]	0.0066 gemäss Seite 51

Damit kann das Risiko  $R_{auffahr;Q,j}$  von Personen auf der Fahrbahn infolge Auffahren auf ein Hindernis pro Prozessquelle Q und pro Szenario j wie folgt berechnet werden:

$$R_{auffahr;Q,j} = (S_{auffahr} \times p_{S_{auffahr}})$$

## 6.4 Schadensbild c: Verschüttung

### Fahrbahn

Das Schadensbild „Verschüttung Fahrbahn“ ist relevant für alle in der Gefahrenanalyse betrachteten Prozesse, die die Fahrbahn selber tangieren. Weiter ist es relevant für alle in der Gefahrenanalyse betrachteten Prozesse, die über oder unter der Fahrbahn gemäss Kapitel 2.7 verlaufen und die dortigen Kunstbauten schadhaf beeinflussten.

Schadenwahrscheinlichkeit  $p_{S_{verschütt}}$ :

$$p_{S_{verschütt}} = p_j$$

Abkürzung	Erklärung	Masseinheit	Wert und Datenherkunft
$p_j$	Wahrscheinlichkeit des Szenario j	[1 / Jahre]	Wert gemäss Seite 44

Schadenausmass  $S_{Verschütt}$ :

$$S_{Verschütt} = g \times W \times SE \times p_{rA} \times f_F$$

Abkürzung	Erklärung	Masseinheit	Wert und Datenherkunft
g	Länge des effektiv betroffenen Streckenabschnittes pro Intensitätszone	[m]	Intensitätskarte der Gefahrenbeurteilung
W	Basiswert eines betroffenen Objektes (betroffenen Streckenabschnittes, Kunstbaute)	[CHF / m]	Wert gemäss Anhang A
SE	Schadenempfindlichkeit eines betroffenen Objektes (betroffenen Streckenabschnittes, Kunstbaute)	[ ]	Wert in Abhängigkeit von Objektart, Prozessart und Prozessintensität gemäss Anhang A
$p_{rA}$	Räumliche Auftretenswahrscheinlichkeit eines Prozesses	[ ]	Wert wir vom Gefahrengutachter gemäss Kapitel 3 bestimmt
$f_F$	Fahrbahnfaktor	[ ]	Herleitung siehe Seite 45.

Damit kann das Risiko  $R_{Verschütt;Q,j}$  der Fahrbahn infolge Räumung und Wiederherstellung pro Prozessquelle Q und pro Szenario j wie folgt berechnet werden:

$$R_{Verschütt;Q,j} = (S_{Verschütt} \times p_{S_{Verschütt}})$$

### Nebenanlagen

Das Schadensbild „Verschüttung Nebenanlagen“ ist relevant für alle in der Gefahrenanalyse betrachteten Prozesse, die Nebenanlagen gemäss Seite 49 tangieren.

Schadenwahrscheinlichkeit  $p_{S_{Verschütt}}$ :

$$p_{S_{Verschütt}} = p_j$$

Abkürzung	Erklärung	Masseinheit	Wert und Datenherkunft
$p_j$	Wahrscheinlichkeit des Szenario j	[1 / Jahre]	Wert gemäss Seite 44

Schadenausmass  $S_{Verschütt}$ :

$$S_{Verschütt} = F \times W \times SE \times p_{rA}$$

Abkürzung	Erklärung	Masseinheit	Wert und Datenherkunft
F	Fläche des effektiv betroffenen Objektes pro Intensitätszone	[m <sup>2</sup> ]	Intensitätskarte der Gefahrenbeurteilung.
W	Basiswert eines betroffenen Objektes (Gebäude, Parkplatz oder ähnliches)	[CHF / m <sup>2</sup> ]	Wert gemäss Anhang I.
SE	Schadenempfindlichkeit eines betroffenen Objektes (Gebäude, Parkplatz oder ähnliches)	[ ]	Wert in Abhängigkeit von Objektart, Prozessart und Prozessintensität gemäss Anhang I.
$p_{rA}$	Räumliche Auftretenswahrscheinlichkeit eines Prozesses	[ ]	Wert wir vom Gefahrengutachter gemäss Kapitel 3 bestimmt.

Damit kann das Risiko  $R_{\text{verschütt};Q,j}$  von Nebenanlagen infolge Räumung und Wiederherstellung pro Prozessquelle Q und pro Szenario j wie folgt berechnet werden:

$$R_{\text{verschütt};Q,j} = (S_{\text{verschütt}} \times p_{\text{verschütt}})$$

## 6.5 Schadensbild d1: Verfügbarkeit – Sperrung nach Ereignis

Das Schadensbild „Verfügbarkeit – Sperrung nach Ereignis“ ist relevant für alle in der Gefahrenanalyse betrachteten Prozesse, die die Fahrbahn selber tangieren. Weiter ist es relevant für alle in der Gefahrenanalyse betrachteten Prozesse, die über oder unter der Fahrbahn gemäss Kapitel 2.7 verlaufen und die dortigen Kunstbauten schadhaf beeinflussen. Objektspezifisch ist festzulegen, ob die Wiederherstellung der betroffenen Kunstbauten zu einem Unterbruch der Fahrbahn führt oder nicht (z. B. unterspülte Brückenpfeiler, beschädigte Galeriedächer). Sind Kunstbauten betroffen, so ist objektspezifisch abzuklären, ob dadurch längere Sperrungsdauern zu erwarten sind.

Da pro Prozessquelle und Szenario nur die maximal zu erwartende Ereignisintensität massgebend ist, wird das Risiko infolge „Verfügbarkeit – Sperrung nach Ereignis“ pro Prozessquelle und Szenario berechnet und nachher gleichmässig auf den von dieser Prozessquelle bestrichenen Streckenabschnitt verteilt.

Tangieren im Szenario j mehrere Prozessräume innerhalb eines Streckenabschnittes (zwischen zwei Autobahnausfahrten) die Fahrbahn, die durch dasselbe meteorologische Ereignis ausgelöst werden können (Schnee, Wasser und Hangmuren), so ist das Risiko für diejenige Prozessquelle zu berechnen, welches im gegebenen Szenario, für die Sperrung des Strassenabschnitts verantwortlich ist. Weisen n Prozessräume im Szenario j die gleiche Ereignisintensität auf, so ist das Risiko auf die n Prozessquellen zu verteilen.

Schadenwahrscheinlichkeit  $p_{\text{verfügE}}$  für Schnee, Wasser und Hangmuren:

$$p_{\text{verfügE}} = \left( p_j \times \frac{1}{n} \right)$$

Schadenwahrscheinlichkeit  $p_{\text{verfügE}}$  für die anderen Prozesse:

$$p_{\text{verfügE}} = p_j$$

Abkürzung	Erklärung	Masseinheit	Wert und Datenherkunft
$p_j$	Wahrscheinlichkeit des Szenario j	[1 / Jahre]	Wert gemäss Seite 44
n	Anzahl Prozessquellen, welche durch das selbe meteorologische Ereignis ausgelöst werden können und welche die Ursache der vorsorglichen Schliessung eines Strassenabschnitts sind. Als Strassenabschnitt versteht man die Strecke zwischen zwei Anschlüssen, welche in Betrieb sind.	[ ]	Gefahrenbeurteilung

Schadenausmass  $S_{\text{verfügE}}$ :

$$S_{\text{verfügE}} = d_{\text{SpE}} \times K_{\text{Sp Sommer / Winter}}$$

Abkürzung	Erklärung	Masseinheit	Wert und Datenherkunft
$d_{\text{SpE}}$	Dauer der Sperrung nach dem Ereignis.	[Tage]	Herleitung aufgrund der maximal zu erwartenden Ereignisintensität gemäss Abb. 5.2
$K_{\text{SP Sommer/Winter}}$	Kosten der Sperrung für den Verkehr Sommer/Winter	[CHF / Tag]]	Modell IVT-ETH

Damit kann das Risiko  $R_{\text{verfügE};Q,j}$  der Strecke infolge Streckensperrung nach Ereignis pro Prozessquelle Q und pro Szenario j wie folgt berechnet werden:

$$R_{\text{verfügE};Q,j} = (S_{\text{verfügE}} \times p_{S_{\text{verfügE}}})$$

## 6.6 Schadensbild d2: Verfügbarkeit – vorsorgliche Sperrung

Das Schadensbild „Verfügbarkeit – vorsorgliche Sperrung“ ist relevant für alle in der Gefahrenanalyse betrachteten Prozessquellen mit automatischem Messdispositiv und / oder für meteorologisch gesteuerte Prozesse (Schnee, Wasser und Hangmuren), die die Fahrbahn selber tangieren. Für alle anderen Fälle ist dieses Schadensbild nicht relevant.

Da Schadenwahrscheinlichkeit und –ausmass pro Prozessquelle und Szenario unabhängig von anderen während der Gefahrenanalyse erhobenen Parameter ist, wird das Risiko infolge „Verfügbarkeit – vorsorgliche Sperrung“ pro Prozessquelle und Szenario berechnet und nachher gleichmässig auf den von dieser Prozessquelle bestrichenen Streckenabschnitt verteilt.

Tangieren n Prozessräume derselben Prozessart innerhalb eines Streckenabschnittes (zwischen zwei Autobahnausfahrten) die Fahrbahn, für welche die Möglichkeit zur vorsorglichen Sperrung besteht, so ist mit den verantwortlichen Stellen zusammen festzulegen, welche Prozessquelle primär für die vorsorgliche Sperrung verantwortlich ist. Das Risiko für die vorsorgliche Sperrung wird dieser Prozessquelle zugeordnet. Kann diese Zuordnung nicht vorgenommen werden, so ist das (einmalig pro Szenario) berechnete Risiko auf die n Prozessquellen zu verteilen.

*Schadenwahrscheinlichkeit  $p_{S_{\text{verfügSp}}}$ :*

$$p_{S_{\text{verfügSp}}} = \left( p_j \times h_{Sp} \times \frac{1}{n} \right)$$

Abkürzung	Erklärung	Masseinheit	Wert und Datenherkunft
$p_j$	Wahrscheinlichkeit des Szenario j	[1 / Jahre]	Wert gemäss Seite 44
n	Anzahl Prozessquellen, welche durch das selbe meteorologische Ereignis ausgelöst werden können und welche die Ursache der vorsorglichen Schliessung eines Strassenabschnittes sind. Als Strassenabschnitt versteht man die Strecke zwischen zwei Anschlüssen, welche in Betrieb sind.	[ ]	
$h_{Sp}$	Häufigkeit der vorsorglichen Sperrung.	[ ]	Gemäss Seite 52 ff festzulegen

*Schadenausmass  $S_{\text{verfügSp}}$ :*

$$S_{\text{verfügSp}} = d_{SP_{\text{vorsorg}}} \times K_{Sp \text{ Sommer/Winter}}$$

Abkürzung	Erklärung	Masseinheit	Wert und Datenherkunft
$d_{SP_{\text{vorsorg}}}$	Dauer pro Sperrung	[Tage]	Bestimmung der Sperrdauer gemäss Seite 53 ff
$K_{SP \text{ Sommer/Winter}}$	Kosten der Sperrung für den Verkehr Sommer/Winter	[CHF / Tag]	Modell IVT-ETH

Damit kann das Risiko  $R_{\text{verfügSp};Q,j}$  der Strecke infolge vorsorglicher Streckensperrung pro Prozessquelle Q und pro Szenario j wie folgt berechnet werden:

$$R_{\text{verfügSp};Q,j} = (S_{\text{verfügSp}} \times p_{S_{\text{verfügSp}}})$$

Damit kann das Risiko infolge Nichtverfügbarkeit der Strecke  $R_{\text{verfüg};Q,j}$  wie folgt aufsummiert werden:

$$R_{\text{verfüg};Q,j} = R_{\text{verfügE};Q,j} + R_{\text{verfügSp};Q,j}$$

## 6.7 Aufsummierung von Risiken

### Kollektive Risiken

Die Risiken der verschiedenen Schadensbilder pro Prozessquelle und pro Szenario werden separat ausgewiesen. Die Risiken werden pro Schadensbild und pro Prozessquelle über alle Szenarien addiert. Um das Personenrisiko auf der Fahrbahn zu erhalten wird das Risiko aus dem Schadensbild Direkttreffer und das Risiko aus dem Schadensbild Auffahrunfall addiert. Das Gesamtrisiko „Verfügbarkeit“ setzt sich zusammen aus dem Risiko infolge Streckensperrung nach Ereignis und dem Risiko infolge vorsorglicher Streckensperrung.

Werden die Risiken der verschiedenen Schadensbilder einer Prozessquelle pro Szenario oder über alle Szenarien miteinander verglichen und addiert, so werden alle Risiken in die Einheit [Franken / Jahr] umgerechnet. Dazu werden die Personenrisiken mit den Grenzkosten gemäss dem Risikokzept der PLANAT [48] (CHF 5 Mio.) multipliziert.

Die Risiken pro Prozessquelle können weiter zu Risiken pro Streckenabschnitt (z. B. von Autobahnanschluss bis Autobahnanschluss) addiert werden.

Die Risiken der verschiedenen Prozessquellen werden auf die Strecke bezogen und dort als [Risiko / Streckeneinheit] dargestellt. Sich überlagernde Risiken werden lagemässig addiert.

### Individuelle Risiken

Das individuelle Todesfallrisiko wird für Streckenabschnitte betrachtet, die ein durchschnittlicher Pendler viermal täglich befährt. Die dafür massgebenden Streckenabschnitte sind durch den Auftraggeber zu bezeichnen.

Dazu wird das individuelle Todesfallrisiko pro Prozessquelle Q im Szenario j wie folgt berechnet:

$$r_{\text{ind},Q,j} = \frac{(4 \times R_{\text{Dfahrbahn};Q,j} + 4 \times R_{\text{auffahr};Q,j})}{(DTV \times \beta)}$$

Die individuellen Todesfallrisiken werden über alle Prozessquellen auf diesem Streckenabschnitt und über alle Szenarien addiert.

## 6.8 Dokumentation Risikoberechnung und abzugebende Produkte

Die Risikoermittlung und -darstellung soll zu folgenden Fragen Aussagen machen und entsprechende graphische Produkte (Karten, Tabellen) bereitstellen:

- Auswertung und Darstellung des kollektiven Risikos getrennt nach den verschiedenen Schadensbildern und Expositionssituationen in Tabellen und Grafiken.
- Auswertung und Darstellung der kollektiven Risiken nach Prozessquelle und den verschiedenen Schadensbildern in Tabellen und Grafiken.
- Auswertung und Darstellung der kollektiven und individuellen Risiken nach Streckenabschnitten und –unterabschnitten.
- Darstellung des gesamten Risikos streckenbezogen auf einer Karte 1:5'000, normiert auf Streckenabschnitte von 100m.
- Darstellung des Risikos pro Prozessquelle in Form von Kuchendiagrammen auf obiger Karte, aufgeteilt nach Art des Schadensbildes.
- Darstellung des Risikos streckenbezogen als kumuliertes Balkendiagramm mit Kilometrierung, aufgeteilt nach Hauptprozess.
- Technischer Bericht mit der Darstellung und Diskussion der massgebenden Grundlagen und Resultate.
- Weitere Resultate sind mit dem Auftraggeber abzusprechen.

Beispiele für die Darstellung der Risiken finden sich in Anhang IV.

## 7 Risiko- und Massnahmenbewertung

### 7.1 Allgemein

Mit der Risiko- und Massnahmenbewertung wird einerseits überprüft, ob die ermittelten Risiken für den Anlagenbetreiber und die Gesellschaft tragbar sind oder nicht. Diese Überprüfung erfolgt anhand der Anwendung von Grenzwerten.

Andererseits werden Vorgehen und Kriterien festgelegt, die es erlauben, risikomindernde Massnahmenkombinationen und -varianten auf ihre Kosten und Nutzen hin zu überprüfen und zu optimieren.

Die Risiko- und Massnahmenbewertung wird für, der jeweiligen Risikosituation angepasste, Streckenabschnitte durchgeführt (Systemabgrenzung). Entsprechende Streckenabschnitte können durch Prozessräume und deren Kombinationen, verkehrstechnische Gegebenheiten (z.B. Anschlüsse, Umfahrungsmöglichkeiten) oder spezielle Bedürfnisse des Betreibers oder der Benutzer (z.B. Pendler) abgegrenzt werden. Die kleinste sinnvolle Einheit besteht aus einem einzelnen Prozessraum. Auf der anderen Seite ist theoretisch der Einbezug des gesamten Nationalstrassennetzes und dessen Verflechtung über die Landesgrenzen hinaus möglich. Diese Abgrenzung erfolgt von Fall zu Fall, spezifisch zu den Fragestellungen und Gegebenheiten.

Massnahmen, die im Bewertungsprozess als optimal beurteilt werden, müssen den vorhandenen Rahmenbedingungen aus Gesetzgebung, Normen, Richtlinien (externe und interne), etc. entsprechen.

Elemente der quantitativen Risiko- und Massnahmenbewertung für die vorliegende Methodik sind:

- Überprüfungskriterien für bestehende und verbleibende Risiken,
- Schema zur Ermittlung von Risikostellen mit prioritärem Planungsbedarf
- Effizienz- und Effektivitätskriterien zur Bestimmung der optimalen Massnahme oder Massnahmenkombination.

Die verschiedenen Risiken: Personen-, Sach- und Verfügbarkeitsrisiken, werden nicht unterschiedlich gewichtet. Die Personenrisiken werden mit dem Betrag des Ansatzes der Rettungskosten (Grenzkosten) mit den anderen Risiken vergleichbar und für die Kosten-Wirksamkeits-Analyse verwendbar gemacht.

Die in der Risikoanalyse festgestellten Risiken werden nicht mit Aversionsfaktoren bewertet.

### 7.2 Überprüfungskriterien

Theoretisch ist es denkbar quantitative Schutzziele für individuelle und kollektive Personen-, Sach- und Verfügbarkeitsrisiken festzulegen. Absolut festgelegte Schutzziele wären dabei in jedem Fall und ungeachtet der Kosten entsprechender Massnahmen einzuhalten.

Andererseits werden in der heutigen Praxis Schutzziele vielfach als Zielgrössen verstanden, die erreicht werden sollen unter der Vorgabe, dass ein Kosten-Wirksamkeit-Verhältnis  $KW \geq 1$  erreicht wird.

#### **Kriterium1: Individuelles Todesfallrisiko**

Das ASTRA legt für die individuellen Todesfallrisiken einen Grenzwert der Todesfallwahrscheinlichkeit von  $1 \cdot 10^{-5}$  pro Jahr als Überprüfungskriterium fest. Der Wert gilt für Strassenbenutzer, die eine durch das ASTRA bestimmte Strecke regelmässig

befahren (Beispiele: Pendler, der eine Strecke vier Mal täglich befährt). Dieser Wert wird als Überprüfungs-kriterium und nicht als absolutes Schutzziel verwendet. Es stellt sicher, dass Streckenabschnitte mit erhöhten individuellen Personenrisiken als solche erkannt werden. Auf den entsprechenden Streckenabschnitten müssen in jedem Fall Massnahmen zur Risikoreduktion evaluiert und auf Effizienz und Effektivität hin überprüft werden. Massnahmen werden nur ausgeführt, wenn diese Kriterien erfüllt sind.

Der Grenzwert der Todesfallwahrscheinlichkeit von  $1 \cdot 10^{-5}$  pro Jahr wird von der mittleren Todesfallwahrscheinlichkeit aller 15-jährigen Personen in der Schweiz abgeleitet. Dabei wird ein um 10-100mal geringeres Todesfallrisiko durch Naturgefahren als gesellschaftlich akzeptierbar postuliert. In Anlehnung an das Risikokonzept der PLANAT [48] wird der höhere Wert ( $1 \cdot 10^{-5}$ ) gewählt.

Für individuelle Sach- und Verfügbarkeitsrisiken werden keine Schutzziele oder Überprüfungs-kriterien mit Grenzwerten festgelegt. Für diese Risiken bestehen, da nur schwer herleitbar, keine plausiblen und etablierten Schutzziele mit Grenzwerten.

Neben dem oben beschriebene Kriterium 1, basieren die folgenden zwei Kriterien auf kollektiven Risiken:

**Kriterium 2: Risiko auf dem Streckenabschnitt > CHF 100 / m\*Jahr**

**Kriterium 3: Risiko des Prozessraums oder der Nebenanlagen > CHF 10'000 / m\*Jahr**

Die kollektiven Risiken unterliegen keinen Schutzziele. Die Bewertung der kollektiven Risiken erfolgt mit der Ermittlung der optimalen Entscheidung bezüglich der zu treffenden Massnahmen zur Risikoreduktion (Effektivität und Effizienz der Massnahmen).

## 7.3 Effizienz und Effektivität von Massnahmen

Die Bewertung der kollektiven Risiken erfolgt mit der Ermittlung der optimalen Massnahme oder Massnahmenkombination zur Reduktion dieser Risiken. Es sollen aus den möglichen Handlungsalternativen (Massnahmenkombinationen) innerhalb des betrachteten Systems (Streckenabschnitt, Region etc.) diejenige identifiziert werden, die hinsichtlich Effizienz und Effektivität optimal ist [10].

Mit dieser Bewertung geht einher, dass Sach- und Personenrisiken in der Massnahmenevaluation als gleichwertig betrachtet werden. Es gibt keine Präferenz zur Reduktion der einen oder anderen Risiken.

Die Effektivität und Effizienz von möglichen Massnahmen wird anhand der Kosten (MK) und des Nutzens ( $\Delta R$ ) dieser Massnahme bewertet (Kosten-Wirksamkeits- Analyse):  $KW = \Delta R / MK \geq 1$

- Massnahmen werden nur ausgeführt, wenn das Verhältnis Kosten/Wirksamkeit  $KW = \Delta R / MK \geq 1$  ist. Das bedeutet, dass der Nettonutzen  $> 0$  ist.
- Unter denjenigen Massnahmen und Massnahmenkombinationen, die obige Bedingung erfüllen wird diejenige Massnahmenkombination gewählt, die die Effektivität (Differenz Nutzen – Kosten) maximiert (das heisst den Nettonutzen maximiert resp. die Gesamtkosten minimiert).

Als Kosten werden in Anlehnung an [60] die direkt tangiblen Kosten berücksichtigt (z. B. Investitions-, Unterhalts- und Reparaturkosten). Deren Bewertung kann zu Marktpreisen erfolgen.

Die Nutzenbewertung orientiert sich an den verhinderten Schäden, das heisst an der Differenz Risiko vor Massnahmen minus Risiko nach Massnahmen. Die monetäre Bewertung (Monetarisierung) der verschiedenen Risiken wurde in den vorangehenden Kapiteln der Risikoanalyse aufgezeigt. Die Beurteilung des Nutzens muss sich auf alle berücksichtigten Risiken beziehen. Wird durch eine gewählte Massnahme ein bestimmtes

Risiko erhöht (z. B. höhere Umfahrungskosten infolge gewähltem Sperrungskzept), so ist dies als reduzierter Nutzen zu berücksichtigen.

Werden unterschiedliche Massnahmen analysiert, bewertet und verglichen, so müssen die verschiedenen Wirkungszeiträume von Kosten und Nutzen berücksichtigt werden. In Anlehnung an [48] und [59] werden die Kosten- und Nutzenströme über die Zeit vereinfachend als konstant angenommen. Zur Anwendung kommt eine statische Kostenrechnung, welche die Diskontierung nicht berücksichtigt. Dies kann gemäss [48] damit begründet werden, dass a) der Nutzen nicht abdiskontiert wird und b) die methodisch bedingten Fehler dieser Kostenrechnung innerhalb des Unsicherheitsbereichs der gesamten Analyse liegen.

Fachlich werden Massnahmen zur Reduktion nach beschriebenen Effizienz- und Effektivitätskriterien beurteilt. Der Umsetzungsentscheid wird aber oftmals aufgrund weiterer Faktoren (z. B. politische, ökologische oder volkswirtschaftliche) getroffen werden.

## 7.4 Vorgehen bei der Massnahmenplanung und -bewertung

Die Resultate der Risikoanalyse und -bewertung stellen die Grundlage für die Massnahmenplanung und -bewertung dar. Ziel der Massnahmenplanung ist es, jene Massnahme oder jenes Massnahmenpaket zu finden, das die individuellen und kollektiven Risiken im Sinne der obigen Kriterien optimal reduziert.

Die Massnahmenplanung in einem integralen Risikomanagement muss alle denkbaren und sinnvollen Massnahmen auf den drei Ebenen Prävention, Intervention und Wiederherstellung beinhalten. Weiter sind auch organisatorische Massnahmen in der Struktur des ASTRA, abgestimmt auf das Risikomanagement (betriebliche Tätigkeiten) und Massnahmen auf der Ebene Information und Sensibilisierung anzustreben (siehe Anhang V).

### Vorgehen

Die Massnahmenplanung enthält folgende Arbeitsschritte: (siehe dazu auch Abb. 7.3):

- Evaluation von technisch möglichen Massnahmen und Massnahmenkombinationen (Machbarkeit, Einfluss auf Natur und Umwelt). Die möglichen Massnahmen können in die folgenden vier Gruppen unterteilt werden:
  - Raumplanerische Massnahmen: Gefährdetes Gebiet soll erst gar nicht genutzt oder die bestehende Nutzung angepasst werden. Diese Option bedeutet bei Verkehrswegen, Gefahrengebiete zum Beispiel zu umfahren oder sensible Bauteile zu verlegen (z. B. Brückenpfeiler) oder auch die Möglichkeit, stark gefährdete Strecken dosiert zu befahren.
  - Baulich-technische Massnahmen: Dabei wird unterschieden zwischen Schutzmassnahmen, die einem Naturereignis entgegenwirken, um die Gefahr zu verringern oder um den Ablauf eines Ereignisses oder dessen Eintretenswahrscheinlichkeit wesentlich zu beeinflussen (Beispiele dafür sind Lawinenanrissverbauungen, Bachverbauungen, Schutzdämme usw.) und Schutzmassnahmen am Objekt, die zu einer Reduktion des Schadens führen sollen, ohne den Ablauf des Naturereignisses zu beeinflussen (Beispiele dafür sind Schutzgalerien usw.).
  - Biologische Massnahmen: Der stabilisierende Effekt von Pflanzen wird genutzt, um die Entstehung und Ausbreitung von insbesondere gravitativen Prozessen zu verhindern oder zumindest zu verringern. Bekanntestes Beispiel dafür ist der Schutzwald.
  - Organisatorische Massnahmen: Mögliche Schäden werden durch die Vorbereitung auf, die Warnung vor und den Einsatz während kritischen Situationen reduziert. Beispiele dafür sind Unwetterwarnungen, Sperrungspläne, Betrieb von Messsystemen usw.

- Zu den baulich-technischen Massnahmen gehört auch der Unterhalt der bestehenden Schutzbauten.
- Beurteilung der Wirksamkeit der Massnahmen (Einfluss auf den Prozessablauf und / oder auf die exponierten Güter) und Neubeurteilung der Risikosituation nach Realisierung der Massnahmen (Nutzen = Risiko vor Massnahme – Risiko nach Massnahme).
- Abschätzen der Investitions-, Betriebs-, Unterhalts- und Reparaturkosten und daraus abgeleitet berechnen der jährlichen Kosten.
- Gegenüberstellen von jährlichen Kosten und jährlichem Nutzen (reduzierte Gesamtrisiken).
- aus den Varianten mit  $KW = \Delta R / MK \geq 1$  wird die optimale gewählt (Wirksamkeit/Kosten = maximal).
- Wurde der Grenzwert für das individuelle Todesfallrisiko auf dem betreffenden Abschnitt überschritten, werden die verbleibenden individuellen Personenrisiken überprüft und allenfalls weitere Massnahmen vorgesehen, dies soweit als  $KW = \Delta R / MK \geq 1$  bleibt.
- Wenn für sämtliche Varianten  $KW = \Delta R / MK < 1$  ist, müssen diese überarbeitet oder es muss auf Massnahmen verzichtet werden.
- Massnahmenvorschlag.

Die Resultate der Risikoanalyse und -bewertung stellen jedoch nur einen Faktor in der Massnahmenplanung dar. Weiter zu berücksichtigen sind:

- Ökologische Kriterien (Umwelt- und Landschaftsverträglichkeit).
- Gesellschaftliche Kriterien (keine Verschiebung der Kosten auf zukünftige Generationen, keine Benachteiligung einer Bevölkerungsgruppe gegenüber einer anderen).
- Ablauf der Unterhaltsplanung auf den Nationstrassen.
- Kapazitäten

Der systematische Einbezug dieser weiteren Kriterien im Sinne der Nachhaltigkeit kann mit der vorliegenden Methodik nicht gewährleistet werden. Dafür gibt es andere Instrumente (z. B. Nutzwertanalysen).

### **Bestimmung der Wirksamkeit und des Nutzens**

Die Wirksamkeit einer Massnahme muss für jedes betroffene Schadensobjekt bestimmt werden. Sie muss pro Prozessquelle differenziert nach Szenario, Expositionssituation und Schadensbild beurteilt werden. Dabei kann eine Massnahme hinsichtlich ihres Einfluss auf die resultierende Risikosituation wie folgt eingeordnet werden:

- Prozess beeinflussend, die Massnahme wirkt auf:
  - die Eintretenswahrscheinlichkeit (z. B. Fellsäuberungen, Hangvernagelung),
  - die Grösse (z. B. vorsorgliche Lawinensprengung),
  - die Reichweite (z. B. Schutzdamm) oder
  - die Intensität eines Ereignisses (z. B. Steinschlagschutzwald).
- Beeinflussung des Schadenpotenzials, die Massnahme wirkt auf:
  - Die Präsenzwahrscheinlichkeit exponierter Personen (z. B. Sperrung, Verkehrsdosierung oder -umleitung)
  - die Verletzlichkeit eines Objektes (z. B. Schutzgalerie, verbesserte Umfahrungsmöglichkeiten)

Die Beurteilung der Wirksamkeit von baulich-technischen Massnahmen kann in Anlehnung an [49] erfolgen, indem die Wirkung einer Massnahme auf die Eintretenswahrscheinlichkeit und das Ereignisausmass beurteilt wird. Zudem sind weitere objektspezifische Bemessungsvorgaben zu berücksichtigen (z. B. [1])

Auch biologischen Massnahmen können grundsätzlich dahingehend beurteilt werden, inwiefern sie Ereignisausmass und Eintretenswahrscheinlichkeit beeinflussen. Allerdings bestehen hierfür teilweise noch ungenügende quantitative Ansätze.

Für organisatorische Massnahmen bestehen noch kaum systematische Ansätze, wie deren Wirksamkeit beurteilt werden kann. Diese ist in jedem Fall objektspezifisch aufgrund von Erfahrungswerten, Expertenwissen und Extrapolationen von Forschungsergebnissen herzuleiten.

Die Beurteilung von raumplanerischen Massnahmen muss eine Risikoanalyse für das Objekt i am neuen Ort unter Berücksichtigung aller relevanten Gefahrenprozesse nach vorliegender Methodik beinhalten.

Aufgrund der so bestimmten Wirksamkeit wird die Risikosituation nach Massnahmen für alle relevanten Szenarien und Expositionssituationen neu beurteilt. Dabei ist zu berücksichtigen, dass für gewisse Massnahmen (z. B. Strassensperrungen) die Risiken von spezifischen Schadensbildern (z. B. Verfügbarkeit) auch zunehmen können. Dies ist bei der Berechnung der Risiken nach Massnahmen als entsprechender Risikozuwachs in Rechnung zu nehmen. Der Nutzen der Massnahme entspricht der resultierenden Risikoreduktion und lässt sich als Differenz von Ausgangsrisiko zu verbleibendem Risiko nach Massnahme ausdrücken.

$$N_m = R_0 - R_m$$

$N_m$	=	Nutzen der Massnahmenstrategie m
$R_0$	=	Risiko der Nullvariante (Ausgangsrisiko)
$R_m$	=	Risiko der Massnahmenstrategie m

### Bestimmung der Kosten

Die jährlichen Kosten einer Schutzmassnahme setzen sich zusammen aus:

- **Investitionskosten** (=Kapitalkosten): Bestehen aus Abschreibungskosten und den Zinskosten; die Laufzeit der Kapitalkosten leitet sich aus der Lebensdauer der Massnahme ab.
- **Laufende Kosten:** Bestehen aus Betriebskosten, Unterhaltskosten und Reparaturkosten.

Zur Anwendung kommt eine statische Kostenrechnung wie in [54] vorgeschlagen (Annuität).

Die jährlichen Kosten  $K_j$  können somit wie folgt beschrieben werden:

$$K_j = K_b + K_u + K_r + K_a + K_z$$

Mit

$$K_a = \frac{(I_0 - L_n)}{n}$$

Und

$$K_z = \left[ L_n + \frac{(I_0 - L_n)}{2} \right] \times \left( \frac{p}{100} \right) = \left( \frac{(I_0 + L_n)}{2} \right) \times \left( \frac{p}{100} \right)$$

Damit kann obige Grundgleichung geschrieben werden als:

$$K_j = K_b + K_u + K_r + \frac{(I_0 - L_n)}{n} + \left( \frac{(I_0 + L_n)}{2} \right) \times \left( \frac{p}{100} \right)$$

Abkürzung	Erklärung	Masseinheit	Wert und Datenherkunft
K <sub>j</sub>	Jährliche Kosten	[CHF / Jahr]	
K <sub>b</sub>	Betriebskosten: Zum Beispiel Personalkosten, Kosten für die Beleuchtung von Galerien, Kosten für den Betrieb von Messsystemen usw.	[CHF / Jahr]	Entweder fallspezifisch herleiten oder gemäss Anhang III
K <sub>u</sub>	Unterhaltskosten: Zum Beispiel Kosten für jährliche Unterhaltsarbeiten wie Leeren von Geschiebesammlern oder Steinschlagschutznetzen usw.	[CHF / Jahr]	Entweder fallspezifisch herleiten oder gemäss Anhang III
K <sub>r</sub>	Reparaturkosten: Zum Beispiel Kosten für die Wiederinstandstellung nach Ereignissen.	[CHF / Jahr]	Entweder fallspezifisch herleiten oder gemäss Anhang III
K <sub>a</sub>	Abschreibungskosten	[CHF / Jahr]	Gemäss obiger Gleichung
K <sub>z</sub>	Zinskosten	[CHF / Jahr]	Gemäss obiger Gleichung
I <sub>0</sub>	Investitionskosten	[CHF]	Fallspezifisch Festzulegen
L <sub>n</sub>	Restwert	[CHF]	Entweder fallspezifisch herleiten oder gemäss Anhang III
n	Laufzeit	[Jahre]	Entweder fallspezifisch herleiten oder gemäss Anhang III
p	Zinssatz	[%]	2 (gemäss [60])

### Bestimmung der optimalen Massnahmenkombination

#### Beurteilen einer Einzelmassnahme:

- Monetarisieren und addieren der Risiken.
- Bestimmung der jährlichen Kosten, des Nutzens (= Risikoreduktion) und der Restrisiken (unterschiedliche Wirksamkeit auf die unterschiedlichen Risikotypen beachten).
- Ausführen, wenn Kosten / Wirksamkeit  $KW = \Delta R / MK \geq 1$
- Überprüfen, ob Rahmenbedingung (individuelles Todesfallrisiko) eingehalten wird.

#### Optimieren von mehreren Massnahmen und Massnahmenkombinationen:

- Beurteilen der Einzelmassnahmen (siehe oben).
- Bilden von Massnahmenkombinationen innerhalb derjenigen Einzelmassnahmen mit einer Kosten / Wirksamkeit  $KW = \Delta R / MK \geq 1$
- Bestimmung der jährlichen Kosten, des Nutzens (= Risikoreduktion) und der Restrisiken der verschiedenen Kombinationen. Dabei muss unbedingt die Redundanz in der Wirksamkeit (Nutzen) und in den Kosten berücksichtigt werden. Wenn aus technischen Gründen nicht anders notwendig, wird bei Kombinationen immer zuerst die Massnahme mit dem besseren Kosten-Nutzenverhältnis ausgeführt.

- Maximierung des Nettonutzens  $N_{N,m}$ :

$$N_{N,m} = N_m - K_{j,m}$$

$N_{N,m}$ = Nettonutzen der Massnahmenstrategie m

$N_m$ = Nutzen der Massnahmenstrategie m gemäss Abb. 7.3

$K_{j,m}$ = jährlichen Kosten der Massnahmenstrategie gemäss Abb. 7.3

- Auftragen von Nutzen und Kosten gemäss Abb. 7.1.
- Auftragen der Effizienzgeraden durch den Nullpunkt.
- Bestimmen der weitesten Parallelen an die Umhüllende.
- Überprüfen, ob Rahmenbedingung (individuelles Todesfallrisiko) eingehalten wird.

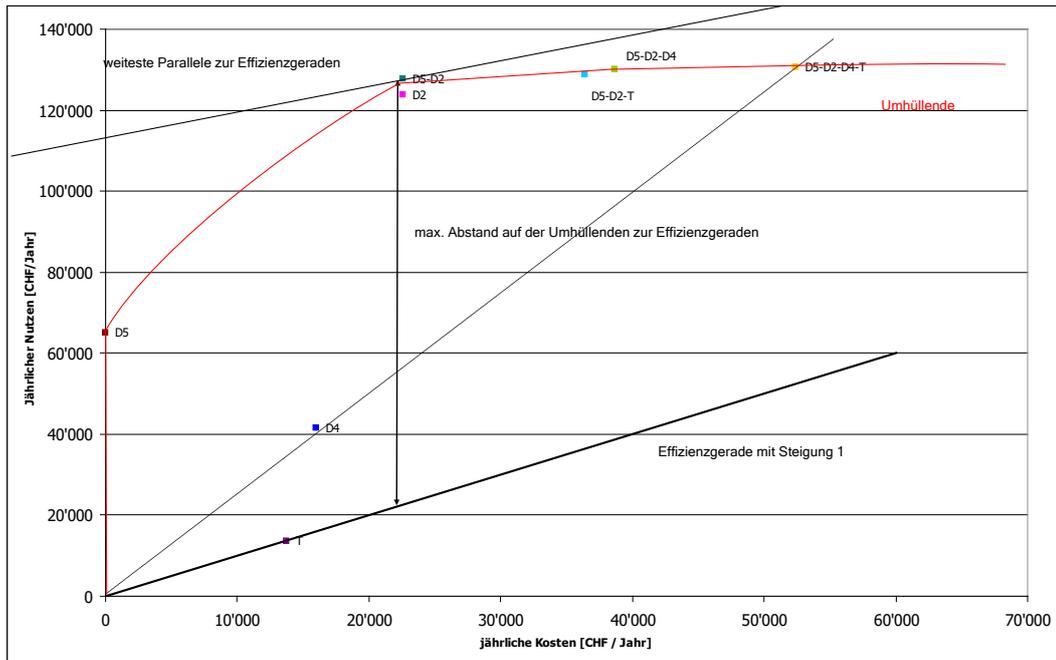


Abb. 7.1 Ermittlung der optimalen Massnahmenstrategie anhand eines praktischen Beispiels mit den diskreten Massnahmenvarianten D2, D4, D5 und T sowie Kombinationen davon. Optimal in diesem Fall ist die Massnahmenkombination D5-D2.

Zur Bestimmung der optimalen Massnahmenstrategie können gemäss [60] alternativ auch die Gesamtkosten  $K_G$  minimiert werden (siehe Abb. 7.2):

$$K_{G,m} = R_m + K_{j,m}$$

$K_{G,m}$ = Gesamtkosten der Massnahmenstrategie m

$R_m$ = Risiko der Massnahmenstrategie m

$K_{j,m}$ = jährlichen Kosten für die Massnahmenstrategie m

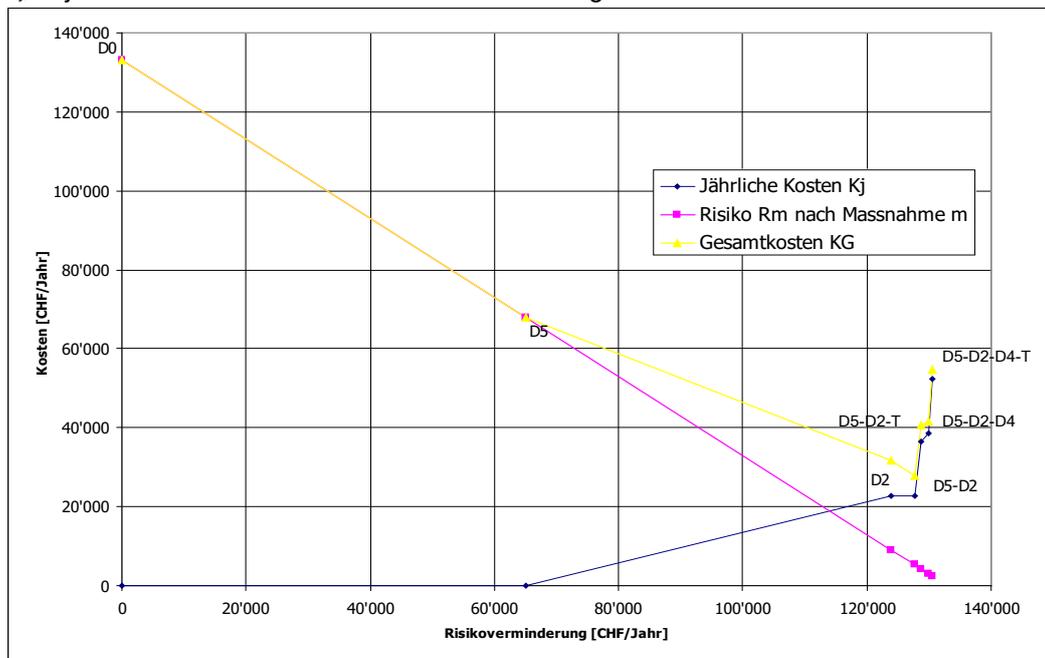


Abb. 7.2 Bestimmung der optimalen Massnahmenstrategie anhand der Minimierung der Gesamtkosten  $K_G$ .

## 7.5 Zusammenfassendes Vorgehen

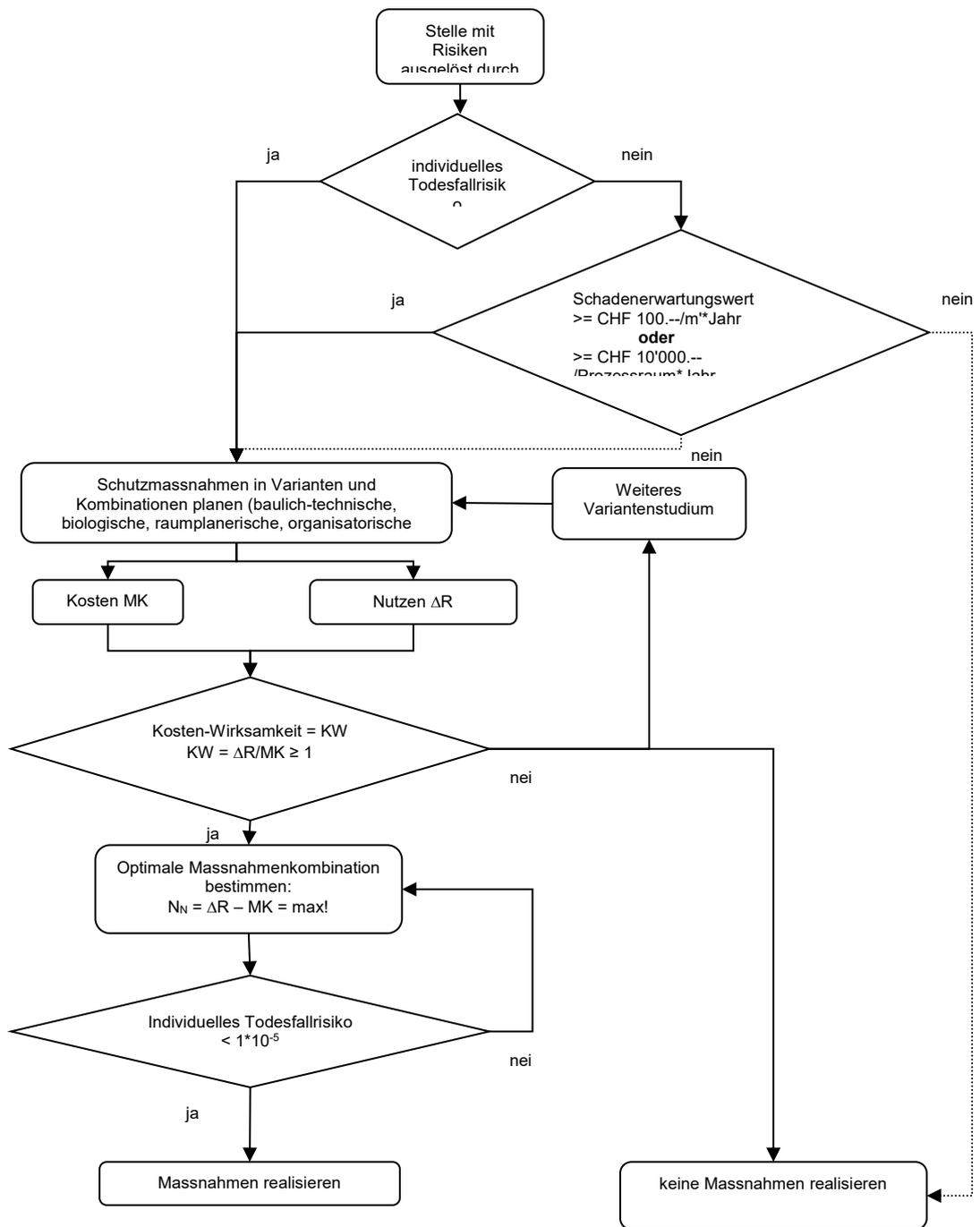


Abb. 7.3 Vorgehen Risikobewertung und Priorisierung Massnahmenplanung für individuelle Personenrisiken.

## Anhänge

I	<b>Anhang A: Basiswerte und Schadenempfindlichkeitswerte für verschiedene Schadenobjekte in Abhängigkeit der Prozessart und Prozessintensität.....</b>	<b>73</b>
II	<b>Anhang B: Letalitätswerte für verschiedene Aufenthaltsorte in Abhängigkeit der Prozessart und Prozessintensität .....</b>	<b>76</b>
III	<b>Anhang C: Betriebs-, Unterhalts- und Reparaturkosten, Lebensdauer und Restwert von Schutzmassnahmen.....</b>	<b>78</b>
IV	<b>Anhand D: Risikokarte und Risikoraum .....</b>	<b>80</b>
V	<b>Anhang E: Organisationsstruktur Naturgefahrenmanagement innerhalb des ASTRA.....</b>	<b>83</b>



# I Anhang A: Basiswerte und Schadenempfindlichkeitswerte für verschiedene Schadenobjekte in Abhängigkeit der Prozessart und Prozessintensität

## Anhang A1: Basiswerte für verschiedene Streckenobjekte <sup>13</sup>

**Quellen:**

[1]: EconoMe, 2008

[2]: Birdsall / Hajdin, 2008

[3]: Wilhelm, 1999

[4]: Erfahrungswerte ASTRA

Objekte	Wert in [CHF / 'm]	Quelle
<b>Fahrbahn</b>		
Mehrspurig, richtungsgetreunt	9'500.00	[1]
Autostrasse, 2-spurig, richtungsgetreunt	7'500.00	abgeleitet aus [1]
Ein- und Ausfahrten	5'000.00	abgeleitet aus [1]
<b>Brücke</b>		
Mehrspurig, richtungsgetreunt	80'000.00	[2], [3] und [4]
Autostrasse, 2-spurig, richtungsgetreunt	50'000.00	abgeleitet aus [2], [3] und [4]
Ein- und Ausfahrten	40'000.00	abgeleitet aus [2], [3] und [4]
<b>Tunnel (bergmännisch)</b>		
Mehrspurig, richtungsgetreunt	80'000.00	[4]
Autostrasse, 2-spurig, richtungsgetreunt	50'000.00	[4]
Ein- und Ausfahrten	30'000.00	[4]
<b>Tunnel (Tagbau)</b>		
Mehrspurig, richtungsgetreunt	53'000.00	[4]
Autostrasse, 2-spurig, richtungsgetreunt	33'000.00	[4]
Ein- und Ausfahrten	20'000.00	[4]
<b>Lawinengalerie</b>		
Mehrspurig, richtungsgetreunt	60'000.00	abgeleitet aus [3]
Autostrasse, 2-spurig, richtungsgetreunt	36'000.00	[3]
Ein- und Ausfahrten	24'000.00	[3]
<b>Steinschlagalerie</b>		
Mehrspurig, richtungsgetreunt	87'000.00	[4]
Autostrasse, 2-spurig, richtungsgetreunt	50'000.00	abgeleitet aus [4]
Ein- und Ausfahrten	46'000.00	[4]

<sup>13</sup> Für Flächenobjekte (Nebenanlagen wie Raststätten, Werkhöfe usw) sind die Basiswerte in Anlehnung an EconoMe festzulegen.

## Anhang A2: Schadenempfindlichkeit - Linienobjekte<sup>14</sup>

Objekt: Fahrbahn - 4 spurig, richtungsgetreunt

### Quellen:

[1]: BAFU, 2008: EconoMe

[2]: Birdsall und Hajdin, 2008

[3]: Erfahrungswerte ASTRA

		Wert [Fr / 'm]	Anteil des Basiswert	Quelle	Bemerkungen
<b>Basiswert</b>		<b>9'500</b>	<b>1.00</b>	<b>[1] und [3]</b>	
<b>Prozess</b>	<b>Intensität</b>				
<b>Lawinen</b>	schwach	47.5	0.005	[1]	
	mittel	950	0.10	[1]	
	stark	1'900	0.20	[1]	
<b>Sturz</b>	schwach	950	0.10	[3]	Mit diesen Werten wird berücksichtigt, dass Sturzblöcke in der Regel nicht die ganze Fahrbahnbreite betreffen und beschädigen
	mittel	1'900	0.50	[3]	
	stark	9'500	1.00	[3]	
	> 3'000 kJ	9'750	1.00	[3]	
<b>permanente Rutschung; Sackung; Einsturz / Absenkung</b>	schwach	95	0.01	[1]	Präzisere Werte können objektspezifisch aus dem jährlichen Unterhalt abgeleitet werden
	mittel	950	0.10	[1]	
	stark	9'500	1.00	[1]	
<b>Hangmure, spontane Rutschungen</b>	schwach	950	0.10	[1]	
	mittel	1'900	0.20	[1]	
	stark	2'850	0.30	[1]	
<b>Murgang (Übermurgung)</b>	schwach	--	--		
	mittel	2375	0.25	gemittelte Werte aus [1] und [2]	
	stark	4275	0.45	gemittelte Werte aus [1] und [2]	
<b>Überflutung / Übersarung - dynamisch (v &gt; 1 m / s)</b>	schwach	47.5	0.05	gemittelte Werte aus [1] und [2]	

<sup>14</sup> Für Flächenobjekte (Nebenanlagen wie Raststätten, Werkhöfe usw) sind die Basiswerte in Anlehnung an EconoMe festzulegen.

	mittel	475	0.05	gemittelte Werte aus [1] und [2]	
	stark	3325	0.35	gemittelte Werte aus [1] und [2]	Es muss mit dem Aufreissen des Belags gerechnet werden.
<b>Überflutung / Übersarung - statisch</b> ( $v < 1 \text{ m / s}$ )	schwach	0	0	gemittelte Werte aus [1] und [2]	Das Schadenausmass hängt weniger von der Überflutungshöhe als von der Überflutungsdaue r ab.
	mittel	95	0.01	gemittelte Werte aus [1] und [2]	
	stark	950	0.1	[3]	
<b>Ufererosion</b>	stark	9'500	1.00	[3]	

Für andere Fahrbahnobjekte ist das Schadenausmass ausgehend von den Basiswerten in Anhang A1 und dem Anteil am Basiswert in dieser Tabelle herzuleiten.

Für betroffene Brücken- und Galeriestrecken gelten grundsätzlich die gleichen Werte wie für die Fahrbahn, solange nur die Fahrbahn selber betroffen ist.

Bei betroffenen Tunnelstrecken muss beachtet werden, dass im Fall von eintretendem Wasser teure Schäden an der Elektrotechnik entstehen können (Grössenordnung 2'000 Fr / 'm).

Sind Brücken, Tunnel oder Galerien durch Naturgefahrenprozesse als Ganzes gefährdet, so sind die Schadenerwartungswerte objektspezifisch festzulegen. Die Basiswerte in Anhang A1 stellen maximale Schadenerwartungswerte bei Neubau dar.

## II Anhang B: Letalitätswerte für verschiedene Aufenthaltsorte in Abhängigkeit der Prozessart und Prozessintensität

### Anhang B1: Letalität bei Naturereignissen Direkttreffer Fahrzeuge

#### Quellen

Für Lawinen, Sturz, Rutschungen und Murgang: BAFU, 2008

Für Überschwemmung und Ufererosion: Autoren

Prozess	Intensität		
	schwach	mittel	stark
Lawinen	0.00025	0.1	0.2
Sturz	0.1	0.8	1
permanente Rutschungen; Einsturz / Absenkung	kein Direkttreffer		
Murgang (Übermurgung)	0	0.1	0.3015
Hangmure, spontane Rutschungen	0.05	0.1	0.3
Überflutung / Übersarung; dynamisch	0	0.00025	0.0315
Überflutung / Übersarung; statisch	0	1E-10	0.0001
Ufererosion			0

Die Werte in Tunneln, Galerien oder auf Brücken unterscheiden sich nicht grundsätzlich von diesen Werten, wenn der Prozess dort tatsächlich auftritt.

Ist die Konstruktion als Ganzes gefährdet, so sind die Folgen objektspezifisch abzuklären (Anzahl Fahrzeuge, Konsequenzen).

## Anhang B2: Letalität bei Naturereignissen Direkttreffer Nebenanlagen

### Quellen

Für Lawinen, Sturz, Rutschungen und Murgang: BAFU, 2008: EconoMe

Für Überschwemmung und Ufererosion: Autoren

### Objekte Grünflächen und Parkplätze (= Parkanlagen)

Prozess	Intensität		
	schwach	mittel	stark
Lawinen	0.0002	0.1	0.48
Sturz	0.1	0.08	1
permanente Rutschungen; Einsturz / Absenkung	kein Direkttreffer		
Murgang (Übermurgung)	0.015	0.56	0.8
Hangmure, spontane Rutschungen	0.015	0.56	0.8
Überflutung / Übersarung; dynamisch	0	0.02975	0.3
Überflutung / Übersarung; statisch	kein Direkttreffer		
Ufererosion			1

### Objekt Gebäude <sup>15</sup>(= Industrie- und Gewerbegebäude)

Prozess	Intensität		
	schwach	mittel	stark
Lawinen	0.00025	0.1	0.2
Sturz	0.1	0.8	1
permanente Rutschungen; Einsturz / Absenkung	kein Direkttreffer		
Murgang (Übermurgung)	0	0.1	0.3015
Hangmure, spontane Rutschungen	0.05	0.1	0.3
Überflutung / Übersarung; dynamisch	0	0.00025	0.0315
Überflutung / Übersarung; statisch	0	1E-10	0.0001
Ufererosion	0	0.1	0.3015

<sup>15</sup> Die Letalität in anderen Gebäuden ist in Anlehnung an die Objektklassen in EconoMe festzulegen.

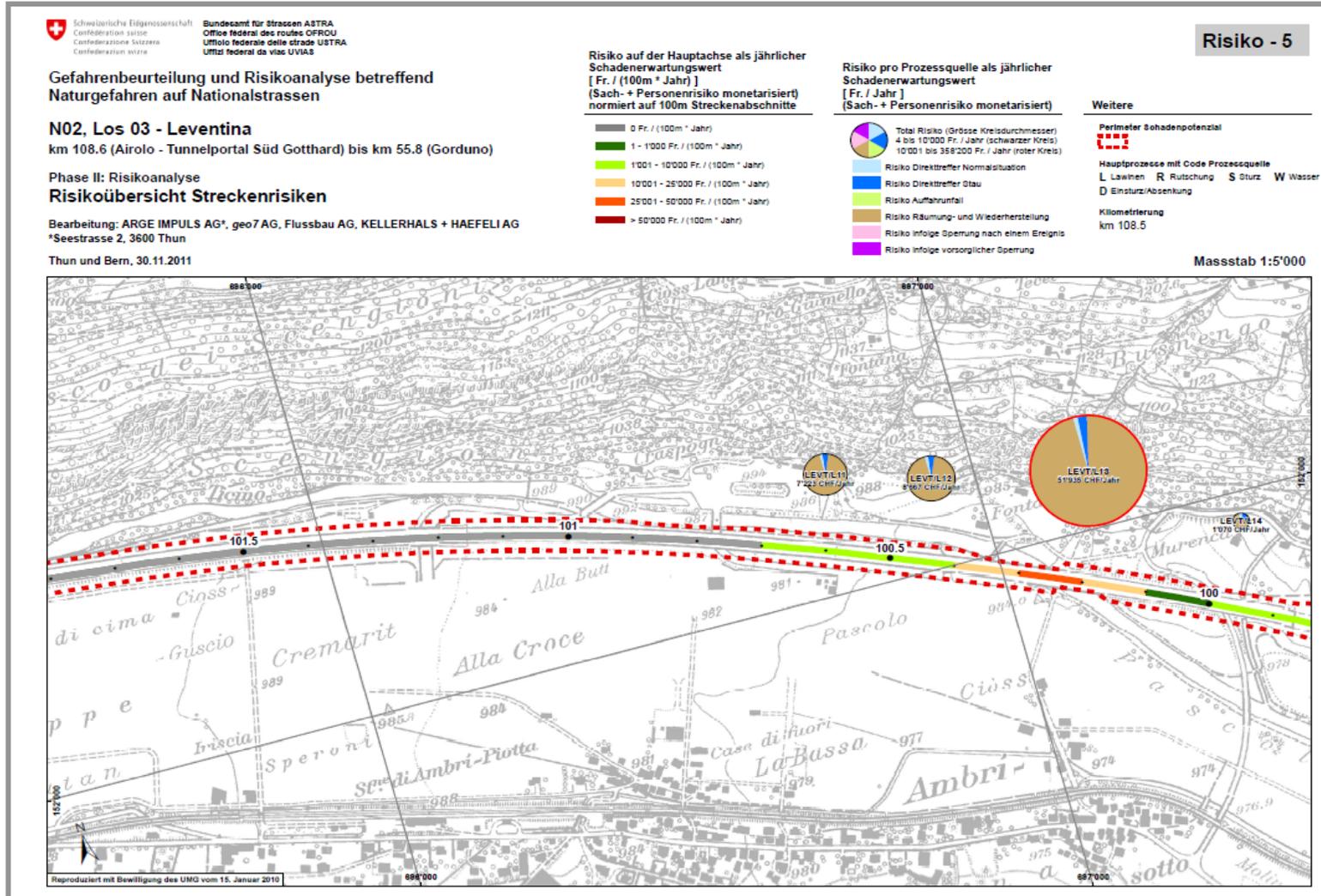
### III Anhang C: Betriebs-, Unterhalts- und Reparaturkosten, Lebensdauer und Restwert von Schutzmassnahmen

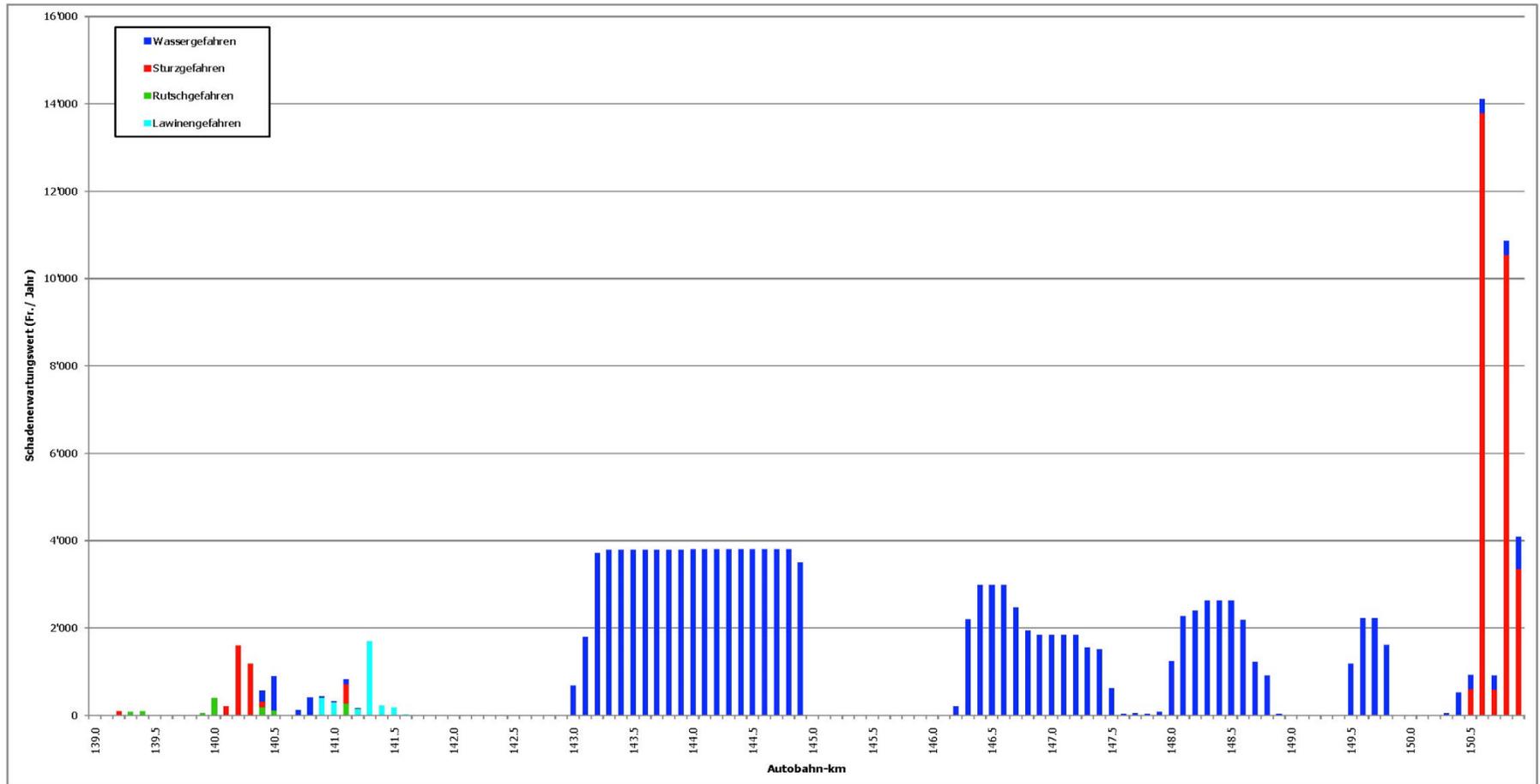
<b>Betriebskosten</b>	[% der Investitionskosten]
<b>Unterhaltskosten</b>	[% der Investitionskosten]
<b>Reparaturkosten</b>	[% der Investitionskosten]
<b>Restwert</b>	[% der Investitionskosten]
<b>Laufzeit</b>	[Jahre]
<b>Quellen</b>	[1]: EconoMe [2]: Wilhelm, 1999 [3]: SBB, 2004

Massnahme		Wert	Quelle
Dämme	Betriebskosten	0	[1], [2], [3]
	Unterhaltskosten + Reparaturen	0.5	[1], [2], [3]
	Restwert	0	[1], [3]
	Laufzeit	100	[1], [2], [3]
Steinschlagschutznetze	Betriebskosten	0	[1]
	Unterhaltskosten + Reparaturen	2	[1]
	Restwert	0	[1]
	Laufzeit	50	[1]
Felssicherung mit Netzen	Betriebskosten	0	[3]
	Unterhaltskosten + Reparaturen	2	[3]
	Restwert	0	[3]
	Laufzeit	30	[3]
Alarmanlagen	Betriebskosten	1.5	[2]
	Unterhaltskosten + Reparaturen	2.5	[2]
	Restwert	0	[2]
	Laufzeit	10	[2]
Galerie	Betriebskosten	0	[2], [1]
	Unterhaltskosten + Reparaturen	1.5	[1]
	Restwert	0	[1]
	Laufzeit	80	[1]
Tunnel	Betriebskosten	0.5	[1]
	Unterhaltskosten + Reparaturen	2	[1]
	Restwert	0	[1]
	Laufzeit	80	[1]
Lawinenstützverbau	Betriebskosten	0	[1], [2], [3]
	Unterhaltskosten + Reparaturen	1	[1], [3]
	Restwert	0	[1], [2], [3]
	Laufzeit	80	[1]
Sprenganlagen	Betriebskosten	5	[1]
	Unterhaltskosten + Reparaturen	4	[1]
	Restwert	0	[1]
	Laufzeit	20	[1]

Temporärer Verbau	Betriebskosten	0	[1], [2], [3]
	Unterhaltskosten + Reparaturen	2	[1]
	Restwert	0	[1], [3]
	Laufzeit	30	[1], [2], [3]
Hangstützwerke (Holzkasten eingedeckt, Steinkörbe)	Betriebskosten	0	[1], [3]
	Unterhaltskosten + Reparaturen	1	[1]
	Restwert	0	[1], [3]
	Laufzeit	50	[1]
Wildbachsperren Holz	Betriebskosten	0	[1]
	Unterhaltskosten + Reparaturen	2	[1]
	Restwert	0	[1]
	Laufzeit	30	[1]
Wildbachsperren Beton	Betriebskosten	0	[1]
	Unterhaltskosten + Reparaturen	2	[1]
	Restwert	0	[1]
	Laufzeit	50	[1]
Murgangschutznetze	Betriebskosten	1	[1]
	Unterhaltskosten + Reparaturen	3	[1]
	Restwert	0	[1]
	Laufzeit	30	[1]
Holzrechen	Betriebskosten	2	[1]
	Unterhaltskosten + Reparaturen	1	[1]
	Restwert	0	[1]
	Laufzeit	50	[1]
Sperren für Talflüsse und Geschiebe-sammler Beton	Betriebskosten	1	[1]
	Unterhaltskosten + Reparaturen	1	[1]
	Restwert	0	[1]
	Laufzeit	80	[1]
Hochwasserschutzstollen	Betriebskosten	0.5	[1]
	Unterhaltskosten + Reparaturen	0.5	[1]
	Restwert	0	[1]
	Laufzeit	100	[1]

# IV Anhand D: Risikokarte und Risikoraum

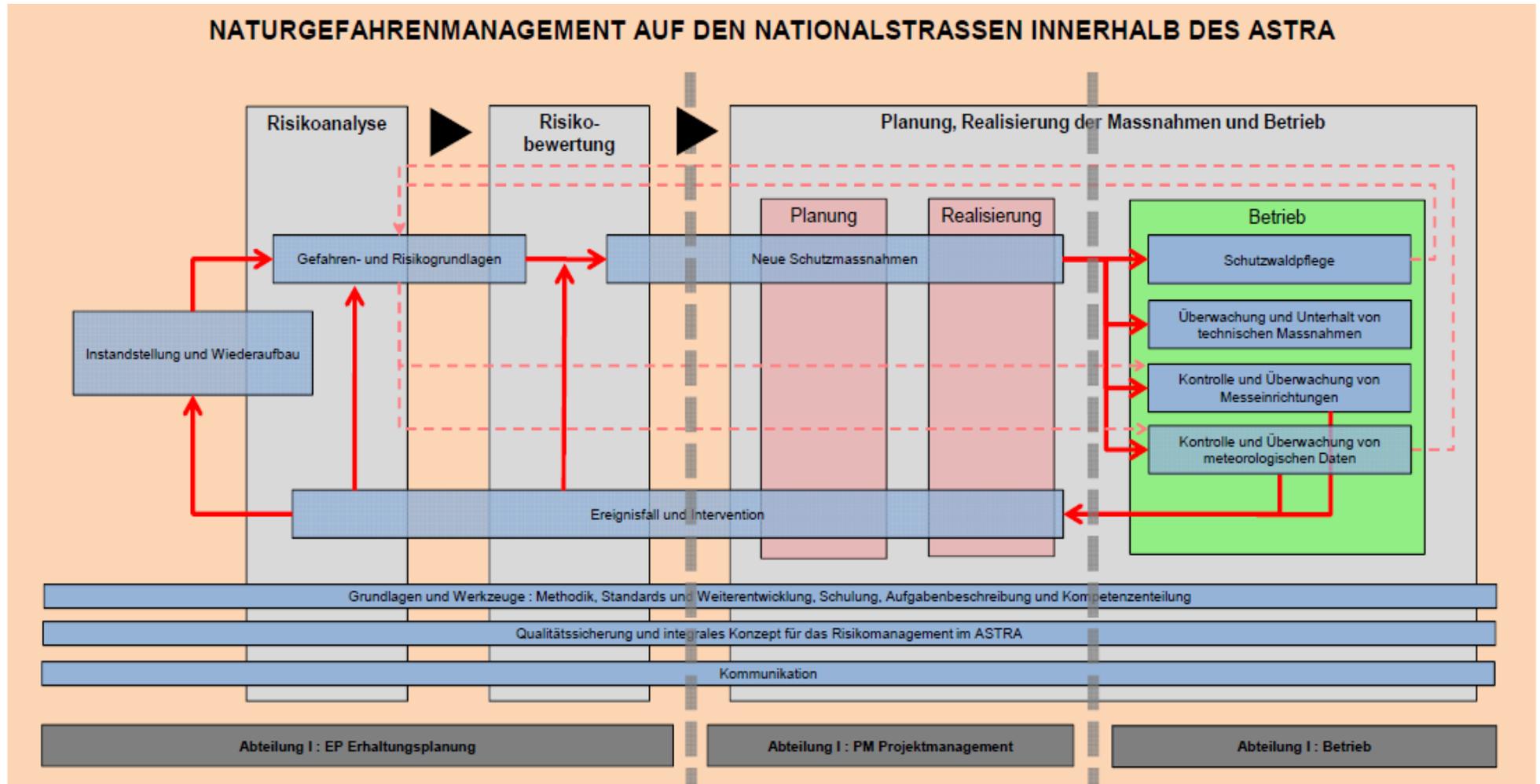




	Risiko Direkttreffer Normalsituation	Risiko Direkttreffer Stausituation	Risiko Direkttreffer Normal- und Stausituation	Risiko Auffahrunfall	Personenrisiko Total		Räumungs- und Wiederherstellungskosten	Umfahrungskosten infolge Sperrung nach Ereignis	Umfahrungskosten infolge vorsorglicher Sperrung	Sachrisiken Total
	(Tf./ Jahr)	(Tf./ Jahr)	(Tf./ Jahr)	(Tf./ Jahr)	(Tf./ Jahr)	(Fr./ Jahr) monetarisiert mit Fr. 5 Mio.	(Fr./ Jahr)	(Fr./ Jahr)	(Fr./ Jahr)	(Fr./ Jahr)
N02/rstu/L/1a	4.6E-05	0.0E+00	4.6E-05	2.5E-06	4.8E-05	200	30	400	0	500
N02/rstu/L/2a	2.2E-04	0.0E+00	2.2E-04	1.4E-05	2.3E-04	1'100	1'000	60	0	1'100
N02/rstu/R/3a	5.9E-06	1.0E-10	5.9E-06	0.0E+00	5.9E-06	30	100	10	0	100
N02/rstu/R/6a	3.3E-05	6.5E-10	3.3E-05	1.9E-07	3.4E-05	200	300	600	0	900
N02/rstu/S/1	5.7E-06	1.3E-10	5.7E-06	4.0E-06	9.7E-06	50	20	20	0	40
N02/rstu/S/10	5.7E-04	4.2E-09	5.7E-04	6.0E-05	6.3E-04	3'100	500	11'200	0	11'700
N02/rstu/S/11	2.5E-04	1.9E-09	2.5E-04	3.6E-05	2.9E-04	1'400	200	12'400	0	12'600
N02/rstu/S/6	2.1E-04	4.0E-09	2.1E-04	2.0E-05	2.3E-04	1'200	400	2'000	0	2'400
N02/rstu/S/9a	3.0E-06	1.2E-10	3.0E-06	4.0E-06	7.0E-06	30	10	80	0	90
N02/rstu/W/102	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	3.6E-06	3.6E-06	20	2'000	100	400	2'500
N02/rstu/W/103	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0	600	10	100	800
N02/rstu/W/104	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	1.3E-06	1.3E-06	10	40'400	600	100	41'200
N02/rstu/W/105	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	1.3E-06	1.3E-06	10	900	600	100	1'600
N02/rstu/W/106	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	1.3E-06	1.3E-06	10	1'000	600	100	1'800
N02/rstu/w/108	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	7.9E-06	7.9E-06	40	70'500	7'200	800	78'400
N02/rstu/W/111	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	8.5E-06	8.5E-06	40	300	500	200	1'000
N02/rstu/W/114	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	7.9E-06	7.9E-06	40	4'000	1'100	900	5'900
N02/rstu/W/115	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	1.2E-06	1.2E-06	10	700	90	100	900
N02/rstu/W/12	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	9.0E-07	9.0E-07	0	30	40	500	500
N02/rstu/W/14	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0	10	10	100	100
N02/rstu/W/9	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	9.1E-07	9.1E-07	0	300	50	700	1'000
<b>Total</b>	<b>1.3E-03</b>	<b>1.1E-08</b>	<b>1.3E-03</b>	<b>1.8E-04</b>	<b>1.5E-03</b>	<b>7'600</b>	<b>123'300</b>	<b>37'800</b>	<b>4'200</b>	<b>165'200</b>

*Bemerkung* : Beispiel mit Grenzkostenwert 5 Mio. CHF. Für die Projekte, den vom Bundesamt für Raumentwicklung ARE empfohlenen Wert anwenden (Value of statistical life (VOSL) : empfohlener Wert der Zahlungsbereitschaft für die Verminderung des Unfall- und Gesundheitsrisikos in der Schweiz).

## V Anhang E: Organisationsstruktur Naturgefahrenmanagement innerhalb des ASTRA



## Themen und Elemente des Risikomanagements von Naturgefahren beim ASTRA

(I = Abteilung Infrastruktur; N = Abteilung Netze; F = Filiale; GE = Gebietseinheit; Hb NFA = Handbuch Ereignisbewältigung NFA; EP = Erhaltungsplanung; ELA = Einsatzleiter ASTRA)

Thema	Elemente	Verantwortlichkeit innerhalb des ASTRA	Beschreibung	Schnittstellen zu anderen Themen oder Elementen des Naturgefahrenmanagements	Schnittstellen zu ähnlichen Themen oder Elementen innerhalb des ASTRA	Schnittstellen ausserhalb des ASTRA
Ereignisfall und Intervention					gemäss Dokument "Ereignismanagement unter NFA"; Ereignisbewältigung allgemein	
	Ereignisbeurteilung	gemäss Hb NFA		Kontrolle und Überwachung messtechnische Einrichtungen und meteorologische Daten		kant. Naturgefahrenfachstellen, BAFU; NAZ; Gemeinsame Informationsplattform Naturgefahren (GIN);
	Alarmierung	gemäss Hb NFA		Kontrolle und Überwachung messtechnische Einrichtungen und meteorologische Daten		kant. Naturgefahrenfachstellen, BAFU; NAZ; Gemeinsame Informationsplattform Naturgefahren (GIN); Ereignisdienste
	Bereitschaftsorganisation ASTRA	gemäss Hb NFA		Kontrolle und Überwachung messtechnische Einrichtungen und meteorologische Daten		Ereignisdienste (Feuerwehr, Polizei, Ambulanz usw.)
	Ressourcenbereitstellung	GE; bei grösseren Ereignissen F	ELA hat als Fachunterstützung einen Geologen für den Bereich Naturgefahren	Kontrolle und Überwachung messtechnische Einrichtungen und meteorologische Daten		

	Notfallmassnahmen	GE, evtl. F				Ereignisdienste (Feuerwehr, Polizei, Ambulanz usw.)
	Ereigniserfassung und -auswertung	GE und F	GE rapportiert nach oben; Ersterfassung und Triage bei GE; Auslösen von Auswertung und Analyse bei F	Gefahren- und Risikogrundlagen: Ereigniskatster		kant. Naturgefahrenfachstelle n, BAFU, Fachbüros, Forschungsinstitute
	Sofortmassnahmen	GE evtl. F	je nach Schadenausmass	Neue Schutzmassnahmen: Sofortmassnahmen		Mitbetroffene
	prov. Wiederinstandstellu ng (= kleiner baulicher Unterhalt)	GE evtl. F	je nach Schadenausmass			
	Projekte	F				Mitbetroffene
Instandstellu ng und Wiederaufba					Instandstellung / Wiederaufbau bei ähnlichen Ereignissen	
	Ereignis und Verletzlichkeit analysieren	F		Ereignisfall und Intervention: Ereigniserfassung und - auswertung		
	Ressourcen bereitstellen	F				
	Planung	F				
	Realisierung	F				

Thema	Elemente	Verantwortlichkeit innerhalb des ASTRA	Beschreibung	Schnittstellen zu anderen Themen oder Elementen des Naturgefahrenmanagement	Schnittstellen zu ähnlichen Themen oder Elementen innerhalb des ASTRA	Schnittstellen ausserhalb des ASTRA
Gefahren- und Risikogrundlagen						
	Führen eines Ereigniskatatsters	GE	Schulung durch BAFU an 2 x 1 Tag	Ereigniserfassung und -auswertung		
	Ressourcen bereitstellen	I				
	Erstellen von Gefahregrundlagen	I / F	TP4 Projekt Naturgefahren Nationalstrassen			Kantonale Naturgefahren- und Wasserbaufachstellen, BAFU
	Erstellen von Risikogrundlagen	I / F	TP4 Projekt Naturgefahren Nationalstrassen	Schutzziele / Überprüfungs-kriterien	Risikomanagement innerhalb des ASTRA	
	generelle periodische Nachführung der Grundlagen	I / F	TP6 Projekt Naturgefahren Nationalstrassen	Schutzziele / Überprüfungs-kriterien; Anknüpfung an Risikopolitik des ASTRA: Rapportierung	Risikomanagement innerhalb des ASTRA	Kantonale Naturgefahren- und Wasserbaufachstellen, BAFU
	Überprüfung und Aktualisieren nach Realisierung von Schutzmassnahmen oder Ereignissen	I / F	TP6 Projekt Naturgefahren Nationalstrassen	Planung von neuen Schutzmassnahmen; Anknüpfung an Risikopolitik des ASTRA: Rapportierung	Risikomanagement innerhalb des ASTRA	Kantonale Naturgefahren- und Wasserbaufachstellen, BAFU

Thema	Elemente	Verantwortlichkeit innerhalb des ASTRA	Beschreibung	Schnittstellen zu anderen Themen oder Elementen des Naturgefahrenmanagement	Schnittstellen zu ähnlichen Themen oder Elementen innerhalb des ASTRA	Schnittstellen ausserhalb des ASTRA
Neue Schutzmassnahmen					Uplans; Sofortmassnahmen	
	Ressourcen bereitstellen	I	Im Rahmen von 10-Jahres-Planungen			
	Sofortmassnahmen	F oder GE	je nach Schadensausmass (kleiner baulicher Unterhalt)	Ereignisfall und Intervention: Sofortmassnahmen		
	Massnahmenplanung	F	siehe beiliegende Ablaufschemen	Gefahren- und Risikogrundlagen; Schutzziele / Überprüfungskriterien		Mitbetroffene (Gemeinden, andere Verkehrsträger, kantonale Naturgefahren- und Wasserbaufachstellen
	Massnahmenrealisierung	F	siehe beiliegende Ablaufschemen	Überwachung und Unterhalt bestehender Schutzbauten		Mitbetroffene (Gemeinden, andere Verkehrsträger, kantonale Naturgefahren- und Wasserbaufachstellen
	Überprüfung und Aktualisieren der Gefahren- und Risikogrundlagen	I / F	TP6 Projekt Naturgefahren Nationalstrassen	Gefahren- und Risikogrundlagen: Überprüfung und Aktualisieren Gefahregrundlagen	Risikomanagement innerhalb des ASTRA	

Thema	Elemente	Verantwortlichkeit innerhalb des ASTRA	Beschreibung	Schnittstellen zu anderen Themen oder Elementen des Naturgefahrenmanagement	Schnittstellen zu ähnlichen Themen oder Elementen innerhalb des ASTRA	Schnittstellen ausserhalb des ASTRA
Überwachung und Unterhalt bestehender Schutzbauten					Überwachung und Unterhalt von Kunstbauten	
	Schutzbautenkataster erstellen und nachführen	F durch EP	ist zu überprüfen		Kunstbautendatenbank	Kantonale Naturgefahren- und Wasserbaufachstellen
	Verantwortlichkeiten mit Mitbetroffenen klären	F durch EP				Mitbetroffene (Gemeinden, andere Verkehrsträger, ...)
	Kontrollen durchführen	GE	siehe beiliegende Ablaufschemen	Gefahren- und Risikogrundlagen	Überwachung und Unterhalt von Kunstbauten	
	Massnahmen einleiten	GE	siehe beiliegende Ablaufschemen	Neue Schutzmassnahmen: Sofortmassnahmen oder Massnahmenplanung	Überwachung und Unterhalt von Kunstbauten	
	Ausführung sicherstellen	F durch EP			Überwachung und Unterhalt von Kunstbauten	

Thema	Elemente	Verantwortlichkeit innerhalb des ASTRA	Beschreibung	Schnittstellen zu anderen Themen oder Elementen des Naturgefahrenmanagement	Schnittstellen zu ähnlichen Themen oder Elementen innerhalb des ASTRA	Schnittstellen ausserhalb des ASTRA
Schutzwaldpflege				Überwachung und Unterhalt bestehender Schutzbauten		
	Inventar der relevanten Schutzwälder	I	wird erstellt im Rahmen von TP4	Gefahregrundlagen		Waldeigentümer; kant. Fachstellen für den Wald (regionale Waldentwicklungspläne, Waldbauprojekte)
	Verantwortlichkeiten mit Mitbetroffenen klären	F		Überwachung und Unterhalt bestehender Schutzbauten		Mitbetroffene (Gemeinden, andere Verkehrsträger, Waldeigentümer ...)
	Ressourcen bereitstellen	I				
	Schutzwaldpflege sicherstellen	F mit GE	Ausführung überprüfen	Überwachung und Unterhalt bestehender Schutzbauten		

Thema	Elemente	Verantwortlichkeit innerhalb des ASTRA	Beschreibung	Schnittstellen zu anderen Themen oder Elementen des Naturgefahrenmanagement	Schnittstellen zu ähnlichen Themen oder Elementen innerhalb des ASTRA	Schnittstellen ausserhalb des ASTRA
Kontrolle und Überwachung messtechnischer Einrichtungen				Kontrolle und Überwachung meteorologischer Daten; Ereignisfall und Intervention	"Ereignismanagement unter NFA"	
	Verantwortlichkeiten mit Mitbetroffenen klären	F				Mitbetroffene (Gemeinden, andere Verkehrsträger, ...)
	Schwellenwerte definieren	I und F (EP)		Gefahren- und Risikogrundlagen; neue Schutzmassnahmen		Fachbüros;
	Messungen veranlassen	F				
	Messwerte kontrollieren	F oder GE				
	Alarmdispo und Notfallorganisation	ELA und GE		Ereignisfall und Intervention		kant. Naturgefahren und Wasserbaufachstellen, BAFU; NAZ; Gemeinsame Informationsplattform Naturgefahren (GIN); Ereignisdienste
	Sofortmassnahmen	GE		Neue Schutzmassnahmen: Sofortmassnahmen		

Thema	Elemente	Verantwortlichkeit innerhalb des ASTRA	Beschreibung	Schnittstellen zu anderen Themen oder Elementen des Naturgefahrenmanagement	Schnittstellen zu ähnlichen Themen oder Elementen innerhalb des ASTRA	Schnittstellen ausserhalb des ASTRA
Kontrolle und Überwachung meteorologischer Daten				Kontrolle und Überwachung messtechnischer Einrichtungen, Ereignisfall und Intervention	"Ereignismanagement unter NFA"	
	Verantwortlichkeiten mit Mitbetroffenen klären	F				Mitbetroffene (Gemeinden, andere Verkehrsträger, ...)
	Schwellenwerte definieren	F		Gefahregrundlagen		
	Alarmdispo und Notfallorganisation	ELA und GE		Ereignisfall und Intervention		kant. Naturgefahren und Wasserbaufachstellen, BAFU; NAZ; Gemeinsame Informationsplattform Naturgefahren (GIN); Ereignisdienste
	Daten abfragen	F, ELA				

Thema	Elemente	Verantwortlichkeit innerhalb des ASTRA	Beschreibung	Schnittstellen zu anderen Themen oder Elementen des Naturgefahrenmanagement	Schnittstellen zu ähnlichen Themen oder Elementen innerhalb des ASTRA	Schnittstellen ausserhalb des ASTRA
Grundlagen und Werkzeuge						
	Methoden, Standards, Instrumente	N	TP6 Projekt Naturgefahren Nationalstrassen		Standards, Forschung, Sicherheit	
	Weiterbildung und Schulung	I			Weiterbildung und Schulung innerhalb des ASTRA	
	Weiterentwicklung	N	TP6 Projekt Naturgefahren Nationalstrassen		Standards, Forschung, Sicherheit	
Anknüpfung an Risikopolitik des ASTRA						
	Rapportierung an vergleichende Risikomethode sicherstellen	F und N	F liefern Daten, N aggregiert sie	Bereitstellen von Gefahren- und Risikogrundlagen	Risikomanagement innerhalb des ASTRA	
	Schutzziele / Überprüfungs-kriterien festlegen und überprüfen	N	TP3	Bereitstellen von Gefahren- und Risikogrundlagen	Risikomanagement innerhalb des ASTRA	
Qualitätssicherung	Abläufe und Prozesse				Qualitätssicherung innerhalb des ASTRA	
Risikokommunikation	im Ereignisfall	I zusammen mit Information und Kommunikation	benötigt Schulung		Ereignismanagement unter NFA	

## Literaturverzeichnis

### Weisungen und Richtlinien des ASTRA

- |     |   |
|-----|---|
| [1] | Bundesamt für Strassen ASTRA (2008), „ <b>Einwirkungen infolge Steinschlag auf Schutzgalerien</b> “, <i>Richtlinie ASTRA 12006, V2.31</i> www.astra.admin.ch.   |
| [2] | Bundesamt für Strassen ASTRA, Schweizerische Bundesbahn SBB (2007), „ <b>Einwirkungen infolge Lawinen auf Schutzgalerien</b> “, <i>Richtlinie ASTRA 12007, V2.00</i> , www.astra.admin.ch.                                      |
| [3] | Bundesamt für Strassen ASTRA (2004), „ <b>Überprüfung der bestehenden Galerien</b> “, <i>Dokumentation ASTRA 82005</i> , www.astra.admin.ch.  |
| [4] | Bundesamt für Strassen ASTRA, Schweizerische Bundesbahn SBB (1998), „ <b>Planung, Bau und Unterhalt von Schutzgalerien gegen Steinschlag- und Lawineneinwirkungen</b> “, <i>Dokumentation ASTRA 82004</i> , www.astra.admin.ch. |

### Normen

- |     |  |
|-----|--|
| [5] | Vereinigung Schweizerischer Strassenfachleute VSS (1999), „ <b>Strassenverkehrsunfälle – Unfallzahlen, Unfallstatistiken, Unfallkosten</b> “, <i>SN640 007</i> .         |
| [6] | Vereinigung Schweizerischer Strassenfachleute VSS (1998), „ <b>Strassenverkehrsunfälle – Lokalisierung und Rangierung von Unfallschwerpunkten</b> “, <i>SN 640 009</i> . |

### Dokumentationen

- |      |  |
|------|--|
| [7]  | Arbeitsgruppe Geologie und Naturgefahren AGN (2004), <b>GefahrenEinstufung Rutschungen i.w.S. Entwurf</b> .  |
| [8]  | ARGE WSL.VWI.GWW (2004), <b>Korridorplanung Brig – Oberwald: Verkehr, Naturgefahren. Technischer Bericht</b> .   |
| [9]  | Bundesamt für Strassen ASTRA, Bundesamt für Verkehr BAV, Bundesamt für Wasserwirtschaft BWW, Schweizerische Bundesbahnen SBB; (1998), „ <b>Sicherheit von Bauwerken im Wasser. Empfehlung für die Überwachung und Hinweise für den Neubau</b> “.       |
| [10] | Bundesamt für Strassen ASTRA (2008), „ <b>Effektivität und Effizienz von Massnahmen</b> “, Forschungsauftrag AGB 2005/104, <i>Forschungsbericht Nr. 620</i> .  |
| [11] | Bundesamt für Strassen ASTRA (2008), „ <b>Methodik zur vergleichenden Risikobeurteilung</b> “, Forschungsauftrag AGB 2005/102, <i>Entwurf Stand Juli 2008</i> .  |
| [12] | Bundesamt für Strassen ASTRA (2008), „ <b>Beurteilung von Risiken und Kriterien zur Festlegung akzeptierter Risiken infolge aussergewöhnlicher Einwirkungen bei Kunstbauten</b> “, Forschungsauftrag AGB2002/020, <i>Bericht Nr. 630</i> , VSS Zürich. |
| [13] | Bundesamt für Strassen ASTRA (2003), „ <b>Steinschlag – Naturgefahr für die Nationalstrassen</b> “, <i>Schlussbericht der ASTRA-Expertengruppe</i> .   |
| [14] | Bundesamt für Strassen ASTRA (1999), „ <b>Standardisierte Bewertungsmethode für die Beurteilung von Projekten bzw. Projektbestandteilen mit Hilfe der Kostenwirksamkeitsanalyse</b> “, <i>Handbuch</i> .   |
| [15] | Bundesamt für Strassen ASTRA, INFRAS (1998), „ <b>Staukosten im Strassenverkehr</b> “, <i>Schlussbericht</i> , Zürich.   |
| [16] | Bundesamt für Umwelt BAFU (2008), „ <b>EconoMe</b> “.  |
| [17] | Bundesamt für Raumplanung BRP, Bundesamt für Wasserwirtschaft BWW, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft BUWAL (1997), „ <b>Empfehlungen zur Berücksichtigung der Massenbewegungsgefahren bei raumwirksamen Tätigkeiten</b> “.                     |
| [18] | Bundesamt für Raumplanung BRP, Bundesamt für Wasserwirtschaft BWW, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft BUWAL (1997), „ <b>Empfehlungen zur Berücksichtigung der Hochwassergefahren bei raumwirksamen Tätigkeiten</b> “.                          |
| [19] | Bundesamt für Forstwesen, Eidgenössisches Institut für Schnee- und Lawinenforschung (1984), „ <b>Richtlinien zur Berücksichtigung der Lawinengefahr bei raumwirksamen Tätigkeiten</b> “.   |
| [20] | Bundesamt für Raumentwicklung ARE (2007), „ <b>Staukosten des Strassenverkehrs in der Schweiz</b> “, <i>Aktualisierung 2000/2005</i> .   |
| [21] | Bundesamt für Statistik und Bundesamt für Raumentwicklung (2007), „ <b>Mobilität in der Schweiz Ergebnisse des Mikrozensus zum Verkehrsverhalten</b> “, <i>Factsheet</i> .   |
| [22] | Bundesamt für Wasser und Geologie BWG (2003), „ <b>Hochwasserabschätzung in schweizerischen Einzugsgebieten</b> “, <i>Praxishilfe</i> .  |
| [23] | Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft BUWAL (1999), „ <b>Risikoanalyse bei gravitativen Naturgefahren</b> “, Methode, Fallbeispiele und Daten, <i>Umweltmaterialien Nr. 107/I und II, Naturgefahren</i> .  |

[24]	Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft BUWAL (1998), „ <b>Methoden zur Analyse und Bewertung von Naturgefahren</b> “, <i>Umwelt Materialien Nr. 85</i> .
[25]	Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft BUWAL (1992), „ <b>Handbuch III zur Störfallverordnung StFV</b> “, <i>Richtlinien für Verkehrswege</i> .
[26]	Bundesamt für Wasser und Geologie BWG, Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL (2003), „ <b>Oberflächennahe Rutschungen, ausgelöst durch die Unwetter vom 15.-16.7.2002 im Napfgebiet und vom 31.8.-1.9.2002 im Gebiet Appenzell</b> “, <i>Projektbericht</i> .
[27]	Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft BUWAL, Bundesamt für Wasserwirtschaft BWW (1995), „ <b>Symbolbalkasten zur Kartierung der Phänomene</b> “.
[28]	Bundesamt für Wasser und Geologie BWG (2001) „ <b>Hochwasserschutz an Fließgewässern</b> “, <i>Wegleitung</i> .
[29]	Bundesamt für Wasser und Geologie BWG (2002), „ <b>EDV-Legende für die digitale Kartographie (ArcGis, MapInfo, MicroStation und AutoCad)</b> “.
[30]	Birdsall, J. D., Hajdin, R. (2008), „ <b>Vulnerability of individual Infrastructure Objects Subjected to Natural Hazards</b> “.
[31]	Egli, T. (2005), „ <b>Wegleitung Objektschutz gegen gravitative Naturgefahren</b> “, Vereinigung Kantonaler Feuerversicherungen (vkf).
[32]	Eidgenössisches Institut für Schnee- und Lawinenforschung (1999), „ <b>Neue Berechnungsmethoden in der Lawinengefahrenkartierung</b> “.
[33]	Eidgenössisches Institut für Schnee- und Lawinenforschung (1990), „ <b>Berechnung von Fließlawinen, eine Anleitung für Praktiker</b> “, <i>Mitteilungen</i> .
[34]	Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald Schnee und Landschaft WSL, Gerber, W. (1994), „ <b>Beurteilung des Prozesses Steinschlag</b> “, <i>Kursunterlagen der Forstlichen Arbeitsgruppe Naturgefahren, Poschiavo</i> .
[35]	Erath, A. (2011), „ <b>Vulnerability assessment of road transport infrastructure</b> “, ETH Zürich, Zürich.
[36]	Frick, E., Hiller, R., Kienholz, H., Romang, H., in Vorbereitung (2008), „ <b>SEDEX – Sediments and Experts</b> “, <i>Eine praxistaugliche Methodik zur Beurteilung der Feststofflieferung in Wildbächen</i> .
[37]	Gamma, P. (1999), „ <b>dfwalk – Ein Murgangsimulationsprogramm zur Gefahrenzonierung</b> “, Inauguraldissertation Universität Bern.
[38]	Hess, J. (2008), „ <b>Schutzziele im Umgang mit Naturrisiken in der Schweiz</b> “, <i>Entwurf Stand Februar 2008</i> .
[39]	Hoffmann und Nielsen (1993), „ <b>Beschreibung von Verkehrsabläufen an signalisierten Knotenpunkten</b> “.
[40]	Hollenstein, K. (1997), „ <b>Analyse, Bewertung und Management von Naturrisiken</b> “.
[41]	IMPULS (2008), „ <b>Methodik für eine risikobasierte Gefahrenbeurteilung, -prävention und –bewältigung</b> “, <i>Bericht zur Situationsanalyse und zu den Zielen</i> .
[42]	IMPULS (2008), „ <b>Gefahrenbeurteilung, Risikoanalyse und Massnahmenplanung Naturgefahren, Nationalstrassen Kanton Bern, Phase 2: Risikoanalyse</b> “, <i>Technischer Bericht</i> .
[43]	IMPULS (2005), „ <b>Gefahrenbeurteilung, Risikoanalyse und Massnahmenplanung Naturgefahren, Nationalstrassen Kanton Bern. Phase 1: Gefahrenbeurteilung – Methodik</b> “, <i>Beilage zum Pflichtenheft</i> .
[44]	IMPULS (2004), „ <b>Gefahrenbeurteilung, Risikoanalyse und Massnahmenplanung Naturgefahren, Nationalstrassen Kanton Bern</b> “, <i>Schutzziele</i> .
[45]	Kanton St. Gallen (2003), „ <b>Wegleitung Naturgefahrenanalyse im Kanton St. Gallen</b> “.
[46]	Landeshydrologie und -geologie (1996), „ <b>Empfehlung zur Abschätzung von Feststofffrachten in Wildbächen</b> “, <i>Mitteilung Nr. 4</i> .
[47]	Merz, H. A., Schneider, Th., Bohnenblust, H. (1995), „ <b>Bewertung von technischen Risiken. Beiträge zur Strukturierung und zum Stand der Kenntnisse</b> “, <i>Modelle zur Bewertung von Todesfallrisiken</i> .
[48]	PLANAT (2009), „ <b>Testversion Risikokonzept für Naturgefahren – Leitfaden</b> “, Strategie Naturgefahren Schweiz, <i>Umsetzung des Aktionsplan PLANAT 2005 – 2008</i> .
[49]	PLANAT (2009), „ <b>Testversion Wirkung von Schutzmassnahmen</b> “, Strategie Naturgefahren Schweiz, <i>Umsetzung des Aktionsplans PLANAT 2005 – 2008</i> .
[50]	PLANAT (2007), „ <b>Schutzziele, Aktionsplan der PLANAT</b> “, <i>Einzelprojekt B2.2 Schlussbericht</i> .
[51]	PLANAT (2005), „ <b>Risikobewertung bei Naturgefahren</b> “, <i>Schlussbericht</i> .
[52]	PLANAT (2004)b, „ <b>Strategie Naturgefahren Schweiz. Teilprojekt B: Methodenevaluation</b> “, <i>Interner Schlussbericht</i> .
[53]	PLANAT (2004)a, „ <b>Strategie Naturgefahren Schweiz</b> “, <i>Synthesebericht</i> .
[54]	PLANAT, Bundesamt für Wald und Geologie BWG, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft BUWAL (2000) „ <b>Vom Gelände zur Karte der Phänomene</b> “ <i>Kompendium</i> .

- 
- [55] Rickli, C., Zürcher, K., Frey, W., Lüscher, P. (2002), „**Wirkung des Waldes auf oberflächennahe Rutschprozesse**“, *Schweiz. Z. Forstwes.* 153 (2002) 11: 437-445.
- 
- [56] Schweizerische Bundesbahnen SBB (2005), „**Pflichtenheft Risikoanalysen Naturgefahren**“, *SBB. Interne Arbeitsgrundlage. Version 20.5.2005.*
- 
- [57] Schneider, T. (1984), „**Das Risikokzept**“.
- 
- [58] Wilhelm et al. (2001), „**Mobilität und Naturgefahren. Beiträge zu einem integralen Risikomanagement**“, *Conference Paper STRC (Swiss Transport Research Conference).*
- 
- [59] Wilhelm, Chr. (1999), „**Kosten-Wirksamkeit von Lawenschutzmassnahmen an Verkehrsachsen. Vorgehen, Beispiele und Grundlagen der Projektevaluation**“, *Vollzug Umwelt, Praxishilfe.*
- 
- [60] Wilhelm, Chr. (1997), „**Wirtschaftlichkeit im Lawenschutz. Methodik und Erhebungen zur Beurteilung von Schutzmassnahmen mittels quantitativer Risikoanalyse und ökonomischer Bewertung**“, *Mitt. Eidg. Inst. Schnee- Lawinenforsch.*
-



## Auflistung der Änderungen

<b>Ausgabe</b>	<b>Version</b>	<b>Datum</b>	<b>Änderungen</b>
2012	2.20	28.11.2018	Anpassung der Grenzkosten.
2012	2.10	19.12.2013	Anpassung der Anhänge I, II, III
2012	2.00	03.05.2013	Anpassungen der Modellrechnung bei Sperrung für den Verkehr, eindeutige Definition der Kosten / Wirksamkeit $KW = \Delta R / MK$ , formale Verbesserungen und Anpassungen der Anhänge.
2011	1.31	23.03.2011	Übersetzungen Italienisch und Revision Übersetzung Französisch.
2009	1.30	17.12.2009	Anpassungen und Neugestaltung.
2009	1.20	01.07.2009	Anpassungen aufgrund der Erfahrungen im Pilotprojekt Reusstal.
2009	1.00	01.01.2009	Inkrafttreten Ausgabe 2009.

