

# MANAGEMENT VON GRAVITATIVEN NATURGEFAHREN AUF NATIONALSTRASSEN IN DER SCHWEIZ

## METHODIK RISIKOKONZEPT UND DESSEN ANWENDUNG

Hans-Heini Utelli<sup>1</sup>, Philippe Arnold<sup>2</sup>, Lukas Hunzinger<sup>3</sup>, Ueli Gruner<sup>4</sup>, Andy Kipfer<sup>5</sup>,  
Bernhard Perren<sup>6</sup> und Jachen Cajos<sup>7</sup>

### ZUSAMMENFASSUNG

Das Bundesamt für Strassen der Schweiz (ASTRA) hat verschiedene Projekte gestartet, um die Risiken ausgehend von gravitativen Naturgefahren (Sturz, Rutschungen, Lawinen, Überschwemmung und Murgänge, Absenkung) netzweit zu analysieren, zu bewerten und zu bewältigen. Mit einem dieser Projekte wurde das methodische Fundament für die transparente und einheitliche Beurteilung und Bewältigung dieser Risiken gelegt. Mit einem der Folgeprojekte wird das gesamte Nationalstrassennetz gemäss dieser Methodik beurteilt.

Im vorliegenden Artikel werden einerseits die generelle Methodik und andererseits Ergebnisse aus einem der untersuchten Streckenabschnitte entlang der europäischen Transitroute durch den Gotthard vorgestellt.

**Keywords:** Risikomanagement, gravitative Naturgefahren, Autobahn, Verfügbarkeitsrisiken, Kosteneffizienz, Kosteneffektivität, Unteres Reusstal

### ABSTRACT

The Swiss Federal Roads Office (FEDRO) has started a program to analyse, assess and manage the risks resulting from gravity-induced natural hazards (rockfall, landslides, avalanche as well as floods and debris flows) on the network of national roads in Switzerland (mostly motorways). In a first step, the methodological background was developed in order to guarantee a transparent and standardized hazard and risk assessment as well as a cost-efficient and cost-effective management of the risks.

Based on this methodology currently a risk assessment for the entire network of national roads is carried out. In this paper, results of the first road sections that have been evaluated (in the Reuss valley, along the Gotthard transit route) are presented.

**Keywords:** Risk management, gravitative natural hazard, highway, risk analysis, availability risks, risk evaluation, Reuss valley

---

<sup>1</sup> H.-H. Utelli. IMPULS AG Wald Landschaft Naturgefahren, Seestrasse 2, 3600 Thun, Switzerland (e-mail: hans-heini.utelli@impulsthun.ch)

<sup>2</sup> Ph. Arnold. Bundesamt für Strassen (ASTRA), Mühlestrasse 2, 3063 Ittigen, Switzerland (e-mail: philippe.arnold@astra.admin.ch)

<sup>3</sup> L. Hunzinger. Flussbau AG SAH, Switzerland

<sup>4</sup> U. Gruner. Kellerhals+Haefeli AG, Switzerland

<sup>5</sup> A. Kipfer. geo7 AG Geowissenschaftliches Büro, Switzerland

<sup>6</sup> B. Perren. IMPULS AG Wald Landschaft Naturgefahren, Switzerland

<sup>7</sup> J. Cajos. Bundesamt für Strassen (ASTRA), Switzerland

## 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 der Lawinenwinter 1999, die Unwetter 2005 oder die Felssturz-Ereignisse auf der N2 am Gotthard im Jahre 2006.

In diesem Zusammenhang sind beim Bundesamt für Strassen (ASTRA) in Zusammenarbeit mit dem Bundesamt für Umwelt (BAFU), der Nationalen Plattform Naturgefahren (PLANAT), den Kantonen wie auch den Hochschulen seit dem Jahre 2007 im Rahmen des Projektes "Naturgefahren auf Nationalstrassen" verschiedene Teilprojekte für den risikobasierten Umgang mit Naturgefahren auf dem gesamten Nationalstrassennetz gestartet worden oder befinden sich in Planung. Mit diesem Projekt werden unter anderem folgende Ziele verfolgt:

- Das Streckennetz der Nationalstrassen kann hinsichtlich der Gefährdung durch gravitative Naturgefahren nach einer einheitlichen Methodik hinsichtlich Prozess, 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 Überprüfungs- und Priorisierungskriterien kann der Handlungsbedarf abgeleitet werden.
- Es können Prioritäten für die Massnahmenplanung gesetzt werden.
- Die aus Kosten-Wirksamkeitsüberlegungen optimale Massnahme oder Massnahmenkombination kann evaluiert werden.
- Die Mittel zum Schutz vor Naturgefahren werden zielgerichtet und nach einheitlichen Kriterien verwendet.

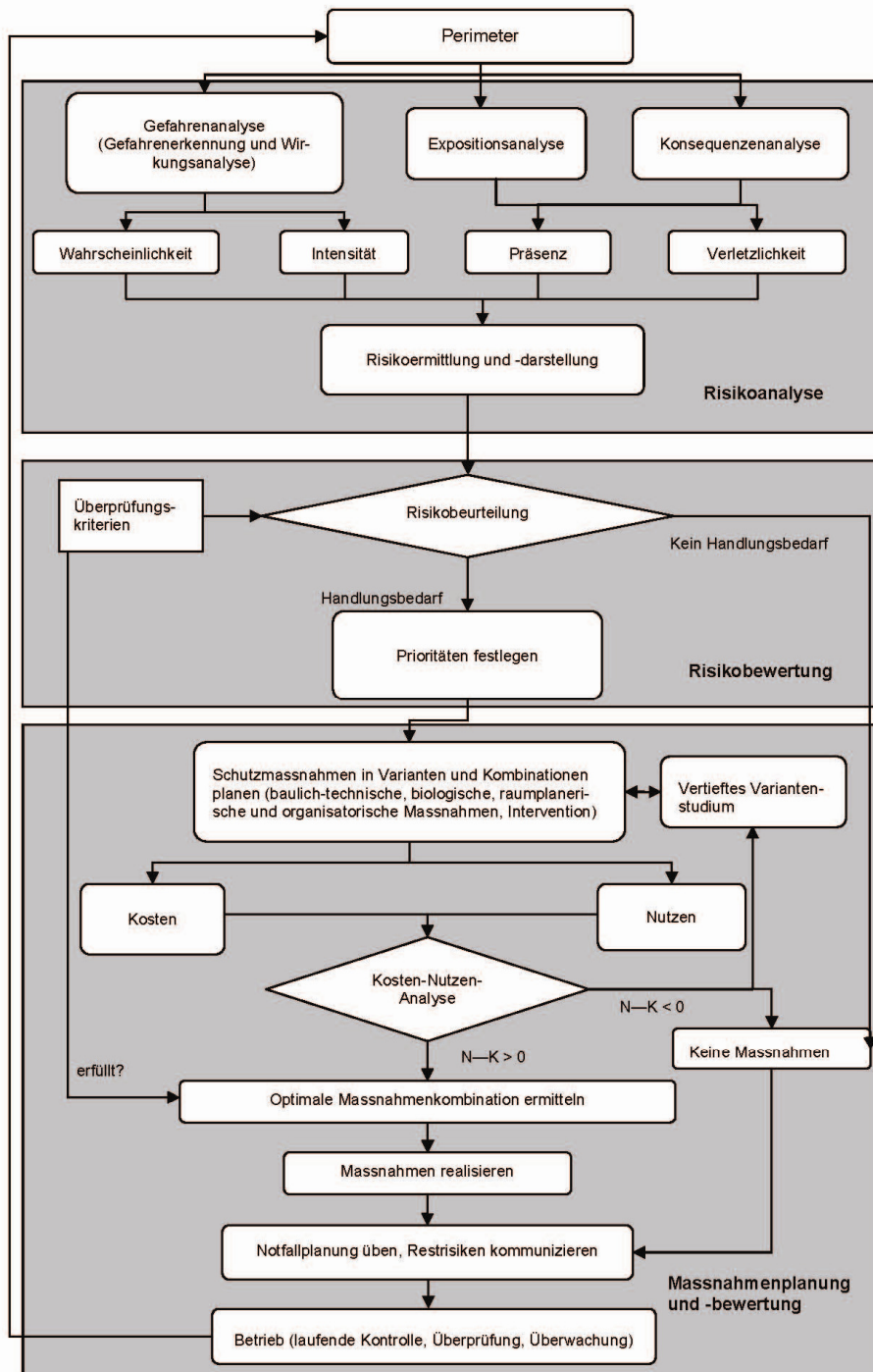
Im Teilprojekt 3 - Methodikentwicklung - wird die methodische Basis für die Erreichung dieser Ziele gelegt (ASTRA, 2010). Diese Methodik wird im ersten Teil dieses Artikels vorgestellt. Sie basiert auf den gängigen Richtlinien und Empfehlungen des Bundes für die Gefahrenbeurteilung (BFF, EISLF, 1984, BRP, BWW, BUWAL, 1997), den neu entwickelten Methoden zur Risikoanalyse und –bewertung der PLANAT (Bründl, 2009) sowie neuen Erkenntnissen aus der Forschung, z. B. zur Kostenberechnung von Verkehrsunterbrüchen im schweizerischen Strassennetz (Erath et al., 2009) oder zur Effektivitäts- und Effizienzbeurteilung von Schutzmassnahmen (Linn et al., 2009). Um den Netzbezug sicherzustellen, wurden diese Grundlagen auf die Besonderheiten und Bedürfnisse der Nationalstrassen angepasst.

Im Teilprojekt 4 - Netzbezogene Gefahren- und Risikoanalyse - wird das in dieser Methodik beschriebene Vorgehen zur Risikoanalyse über das ganze Nationalstrassennetz angewendet. Dazu wurde die Methodik in den Jahren 2008 bis 2009 auf zwei Streckenabschnitten im Urner Reusstal entlang der Gotthard Transitroute getestet (sogenanntes Pilotprojekt). Die Ergebnisse aus dem Pilotprojekt werden im zweiten Teil dieses Artikels erläutert.

## RISIKOKONZEPT

Das der Methodik zu Grunde liegende Risikokonzept ist in der Figur 1 dargestellt und 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?



**Fig. 1** Schema des Risikomanagement bei Naturgefahren entlang von Nationalstrassen innerhalb des Bundesamt für Strassen (ASTRA) (abgeändert aus ASTRA, 2009)

**Fig. 1** Risk management scheme for natural hazards on national roads in Switzerland (adapted in accordance to ASTRA, 2009)

Im Vergleich zum Risikokzept für Naturgefahren der PLANAT (Bründl, 2009) gibt es folgende Unterschiede in diesem Schema:

- Eine Aversion bei grossen kollektiven Risiken wird nicht berücksichtigt.
- In der Risiko beurteilung des ASTRA gibt es keine Schutzziele. Bewertungskriterium ist einzig die Kosteneffizienz von Massnahmen, zusätzlich gibt es Überprüfungskriterien, die eine Priorisierung im Handlungsbedarf bei Stellen mit hohen individuellen Todesfallrisiken sowie bei hohen kollektiven Gesamtrisiken erlaubt.

- Auf die weiteren Besonderheiten für Nationalstrassen wird im folgenden Artikel eingegangen.

## GEFAHRENANALYSE

In der Gefahrenanalyse werden für jede Prozessquelle die Naturgefahren gemäss Tabelle 1 hinsichtlich Wahrscheinlichkeit und Ausmass beurteilt. Unter einer Prozessquelle wird ein Gebiet verstanden, das über eine einheitliche Disposition zur Gefahrenentstehung verfügt (z. B. Lawinenzug mit Anrissgebiet, Gerinne mit Einzugsgebiet, abgrenzbare Felswand als Quelle von Steinschlag). Prozessquellen müssen aufgrund von klar dokumentierten Kriterien und Ereignissen voneinander abgegrenzt sein.

**Tab. 1** Gliederung der Gefahrenprozesse

**Tab. 1** Natural hazard processes addressed using the present methodology

Hauptprozess	Gefahrenprozess
Sturz	Steinschlag / Blockschlag
	Felssturz
	Eisschlag
Hochwasser / Murgang	Übersarung / Überflutung
	Übermürung
	Ufererosion / Unterkolkung
Rutschungen	Permanente Rutschungen und Sackungen
	spontane Rutschungen
	Hangmuren
Einsturz / Absenkung	Einsturz / Absenkung

**Tab. 2** In der Gefahrenanalyse berücksichtigte Wiederkehrperioden (=Szenarien der Gefahrenentstehung)

**Tab. 2** Recurrence intervals scenarios of hazard formation) to be considered in the hazard analysis

Häufigkeit	Wiederkehrperiode / Jährlichkeit	Bemerkungen
sehr häufig	> 0 bis ≤ 10 Jahre	Konkreter Wert ist gestützt auf den Ereigniskataster festzulegen
häufig	> 10 bis ≤ 30 Jahre	
selten	> 30 bis ≤ 100 Jahre	
sehr selten	> 100 bis ≤ 300 Jahre	
extrem selten	> 300 Jahre	Diese Wiederkehrperiode wird nur bei Talflüssen sowie bei Prozessquellen, wo es klare Hinweise für ein solches Szenario gibt, als Prozessumhüllende abgebildet. Für dieses Szenario findet keine Risikobestimmung statt.

Die Methodik stellt sicher, dass die Wahl der für die Gefährdung massgebenden Szenarien gemäss Tabelle 2 pro Prozessquelle 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. Die Wirkung der bestehenden Schutzbauten wird gemäss der Publikation "Wirkung von Schutzmassnahmen" (Romang, 2008) beurteilt. Dabei wird nur der Schritt 1 - Grobbeurteilung durchgeführt, wo evaluiert wird, ob eine relevante Schutzwirkung zu erwarten ist oder nicht oder ob gar von einer negativen Wirkung auszugehen ist.

Ausgehend von den so für jede Prozessquelle festgelegten Szenarien der Gefahrenentstehung werden die Wirkungsräume entlang der Nationalstrassen ausgeschieden und in Form von Intensitätskarten pro Szenario und pro Prozessquelle dargestellt. Dabei werden die speziellen räumlichen Verhältnisse entlang von Strassen berücksichtigt, indem nicht nur die Verhältnisse auf der Fahrbahn sondern auch unter der Fahrbahn (z. B. Kolk bei Brückenpfeilern oder Treffer von Brückenpfeilern durch Sturzprozesse) und über der Fahrbahn (z. B. Lawinen- und Sturzeinwirkungen auf Galerien) beurteilt werden. Im Hinblick auf die zu erwartenden Schäden ist die Gefahrenbeurteilung räumlich so

detailliert, dass Aussagen darüber gemacht werden können, ob ein Gefahrenprozess den Standstreifen, eine Fahrrichtung oder beide Fahrrichtungen tangiert.

Neben den für die Gefahrenbeurteilung in der Schweiz üblichen Intensitätsabstufungen (BFF, EISLF, 1984; BRP, BWW, BUWAL, 1997) werden für die Beurteilung der entstehenden Schäden bei jeder Intensitätsfläche zusätzlich folgende Parameter erhoben:

- Prozessspezifische Werte wie räumliche Auftretenswahrscheinlichkeit, Sturzenergie, Ablagerungshöhe auf der Fahrbahn, Fließ- und Rutschungsgeschwindigkeit, Lawinendruck, Kolkstiefen u. a.
- Gleichzeitigkeit möglicher Ereignisse desselben Ereignistyps in der näheren Umgebung.
- Wahrscheinlichkeit und Dauer einer vorsorglichen Sperrung infolge eines unmittelbar bevorstehenden Ereignisses.
- Angabe darüber, ob Schäden an Kunstbauten wie Brückenpfeilern oder Galeriedächern zu erwarten sind.

## EXPOSITIONS- UND KONSEQUENZENANALYSE

Die durch Naturgefahren verursachten Schäden und Risiken werden in folgende Risikokategorien unterteilt:

- *Personenrisiken*, die durch Direkttreffer oder Auffahren auf ein Hindernis auf der Fahrbahn verursacht werden.
- *Personenrisiken*, die durch Direkttreffer auf Nebenanlagen wie Rastplätze, Werkhöfe u. a. verursacht werden.
- *Sachrisiken*, die durch die Räumungs- und Wiederherstellungsarbeiten auf der Fahrbahn oder auf Nebenanlagen nach einem Naturgefahrenereignis entstehen.
- *Verfügbarkeitsrisiken*, die entstehen, wenn ein Streckenabschnitt infolge eines Naturgefahrenereignisses vorsorglich oder nachträglich gesperrt werden muss. Für die betroffenen Fahrzeuge entstehen dabei längere Umfahrungswege.

Für die Risikobestimmung auf der Fahrbahn sind die Schadensbilder gemäss Figur 2 massgebend.

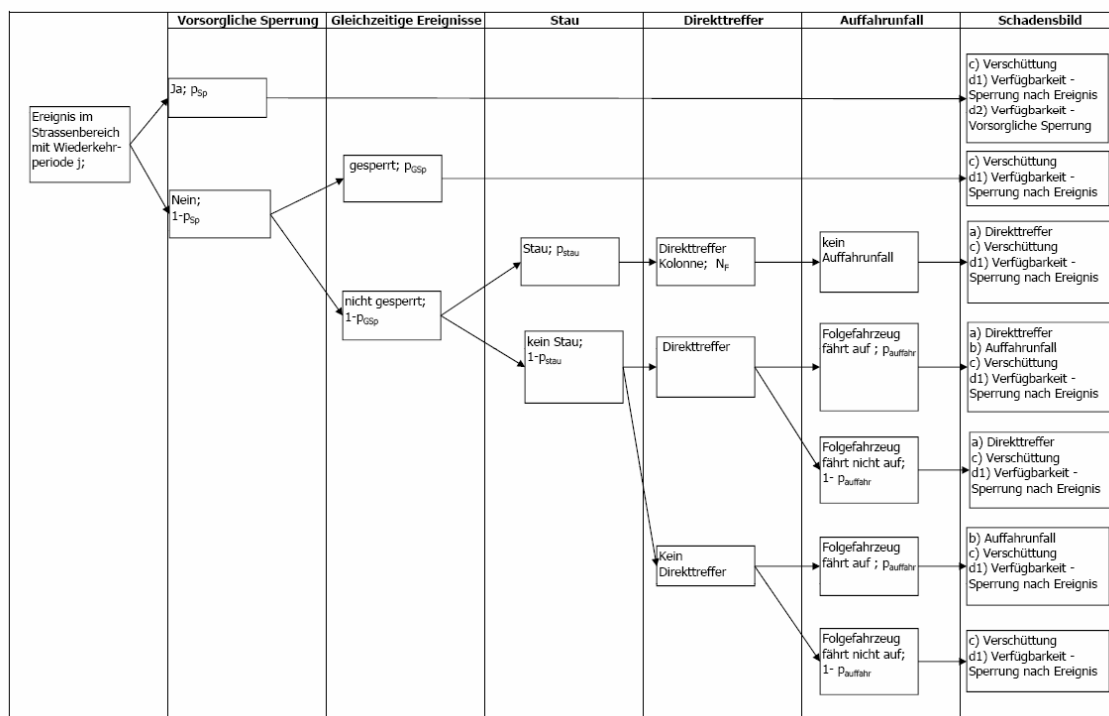


Fig. 2 Massgebende Szenarien der Schadentstehung im Bereich der Fahrbahn (ASTRA, 2009)

Fig. 2 Relevant scenarios of damage occurrence in the road (ASTRA, 2009)

Die Relevanz der einzelnen Schadenszenarien ergibt sich aus den gewonnenen Daten der Gefahrenanalyse (z. B. Sperrungswahrscheinlichkeit; Ablagerungshöhe und damit Wahrscheinlichkeit eines Auffahrunfalls) und den zur Verfügung gestellten Daten der Expositionsanalyse (z. B. Stauwahrscheinlichkeit; Verkehrsdichte und Fahrgeschwindigkeit, welche die Wahrscheinlichkeit eines Direkttreffers bestimmen).

Die folgenden, nach Fahrbahn getrennten Inputdaten für die Expositionsanalyse können aus den bestehenden Grundlagendaten des ASTRA übernommen werden:

- Durchschnittlicher täglicher Verkehr (saisonal differenziert)
- Fahrgeschwindigkeit
- Stauwahrscheinlichkeit
- mögliche Umfahrungswege und zusätzliche Fahrzeit

Die Eingabegrößen zur Expositionsanalyse der Nebenanlagen (Anzahl betroffene Personen, Verweildauer usw.) werden objektspezifisch erhoben.

Für die Konsequenzenanalyse macht die Methodik Vorgaben, mit welchen Schadenempfindlichkeits- und Letalitätswerten in Abhängigkeit des Gefahrenprozesses und der Ereignisintensität gerechnet werden muss. Diese Werte sind abgeleitet aus bestehenden Instrumenten zur Risikoanalyse (Bründl, 2009; BAFU, 2010), ergänzt um die spezifischen Werte und Erfahrungen der Nationalstrassen.

Die Konsequenzen hinsichtlich Verfügbarkeit (Strassensperrung nach Ereignis) werden objektspezifisch festgelegt. Für die Dauer der Sperrung nach einem Ereignis gibt es in der Methodik Richtwerte in Abhängigkeit der Ereignisintensität. Die möglichen Umfahrungswege und die zusätzliche Fahrzeit werden durch das Verkehrsmodell (Erath et al, 2009) berechnet.

Alle Risiken werden separat quantitativ berechnet und zum Vergleich in einen Geldwert umgesetzt. Dazu werden die Personenrisiken mit den Grenzkosten gemäss dem Risikokonzept der PLANAT (Bründl, 2009) mit SFr. 5 Mio. pro statistischen Todesfall multipliziert. Die zusätzlichen Umfahrungswege werden mit dem Staukostenansatz von SFr. 21.- pro Fahrzeug und Stunde (ARE, 2007) in Wert gesetzt.

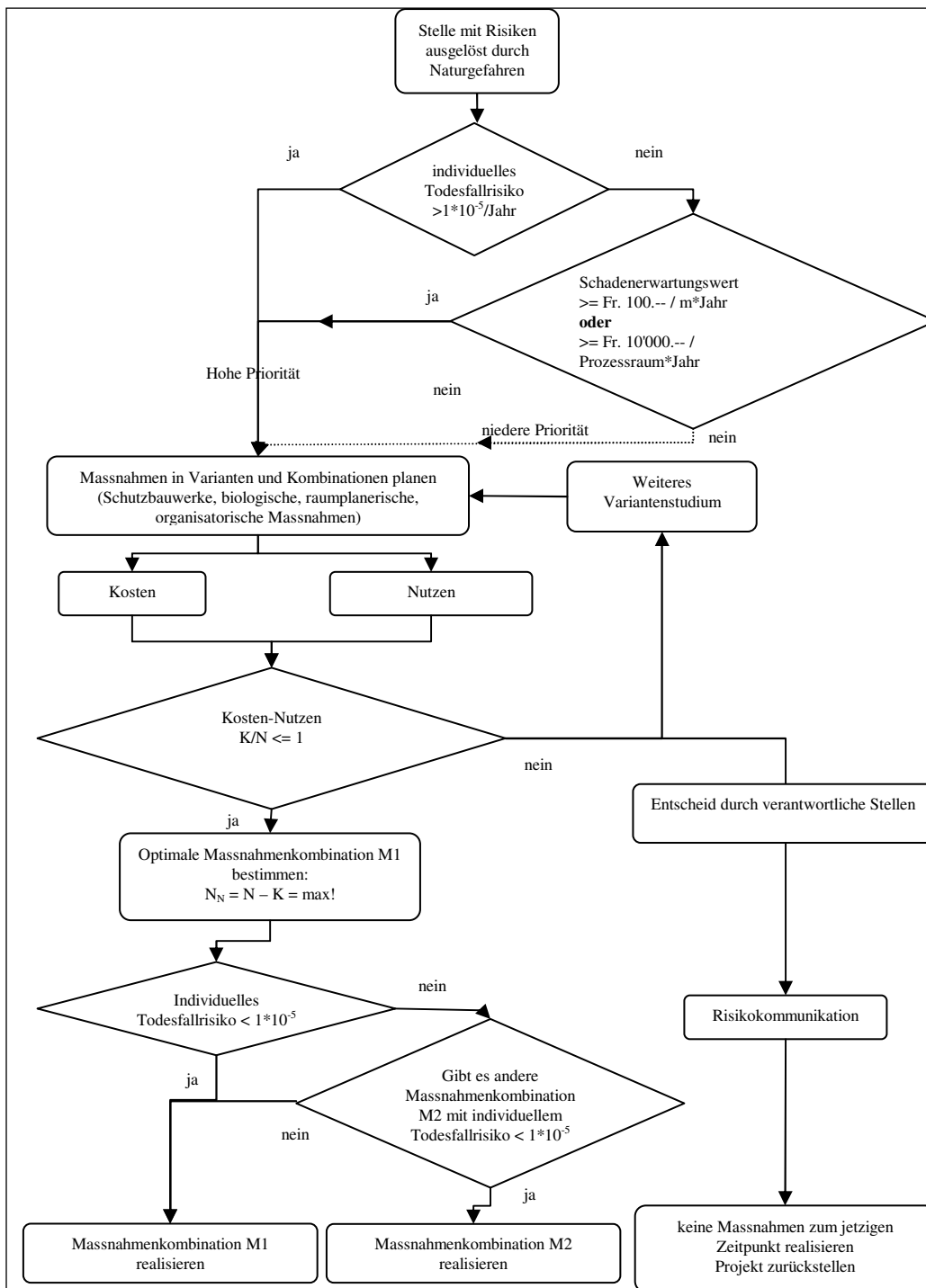
## **RISIKOBEWERTUNG UND MASSNAHMENPLANUNG**

Mit der Risikobewertung wird überprüft, ob die ermittelten Risiken für den Anlagenbetreiber und die Gesellschaft tragbar sind oder nicht. Als Bewertungskriterium gilt die Kosteneffizienz von zusätzlichen Schutzmassnahmen. Sind kosteneffiziente Massnahmen möglich (Nutzen/Kosten >1), so ist das Risiko untragbar und Massnahmen müssen realisiert werden. Sind keine kosteneffizienten Massnahmen möglich, so müssen diese Risiken kommuniziert werden und mögliche Massnahmen werden zurückgestellt. Mit der Methodik werden Vorgehen und Kriterien festgelegt, die es erlauben, risikomindernde Massnahmen und Massnahmenkombinationen auf ihre Kosten und Nutzen hin zu überprüfen. Das Kriterium der Kosteneffektivität erlaubt es dann, aus verschiedenen möglichen Massnahmen und Massnahmenkombinationen die optimale Entscheidung zu treffen. Dabei ist diejenige Massnahmenkombination optimal, welche den Nettonutzen (= Nutzen minus Kosten) maximiert.

Da auf dem Nationalstrassennetz sehr viele Risikostellen erwartet werden, werden in der Methodik Kriterien zur Prioritätensetzung in der Massnahmenplanung (= Überprüfungskriterien) festgelegt:

- Für individuelle Todesfallrisiken (z. B. ein Pendler, der einen bestimmten Streckenabschnitt zweimal täglich befährt), wird ein Grenzwert von  $10^{-5}$  festgelegt. Dieser Wert soll es erlauben, Streckenabschnitte mit erhöhten individuellen Todesfallrisiken zu erkennen.
- Um Streckenabschnitte mit hohen kollektiven Risiken zu erkennen und in der Massnahmenplanung zu priorisieren, gelten folgende Überprüfungskriterien:
  - Risiko auf Streckenabschnitt > SFr. 100 pro m und Jahr
  - Risiko pro Prozessquelle > SFr. 10'000 pro Jahr

Das Ablaufschema zur Überprüfung der bestehenden Risiken, zur Priorisierung von Risikostellen und zur Bewertung von möglichen Massnahmen ist in der Figur 3 dargestellt.



**Fig. 3** Ablaufschema zur Überprüfung der bestehenden Risiken, Priorisierung von Risikostellen und Bewertung von möglichen risikomindernden Massnahmen innerhalb des ASTRA (angepasst aus ASTRA, 2009)

**Fig. 3** Process of risk evaluation (individual risk of fatality), prioritisation of measure planning (collective risk criteria) and evaluation of measures (cost-benefit-criteria) in the FEDRO (adapted in accordance to ASTRA, 2009)

## PILOTPROJEKT UNTERES REUSSTAL

*Allgemeines:* Die oben beschriebene Methodik wurde vor deren Anwendung auf dem gesamten, rund 2'000 km langen Nationalstrassennetz auf zwei Streckenabschnitten im Urner Reusstal (sogenanntes Pilotprojekt) geprüft. Im Folgenden werden die Ergebnisse aus dem rund 12 km langen Streckenabschnitt des Unteren Reusstals vorgestellt (ARGE geo7-flussbau-Kellerhals+Haefeli-IMPULS, 2009). Die Abbildungen und Tabellen stammen auch aus diesem Bericht.

*Gefahrenanalyse:* In der Gefahrenanalyse wurden insgesamt 60 Gefahrenquellen beurteilt. Für 21 Prozessquellen wurde eine relevante Gefährdung der Nationalstrassen nachgewiesen (siehe Tabelle 3). Dazu wurden - wie in der Methodik vorgesehen - alle bisherigen relevanten Ereignisse erfasst, umfangreiche Gelände- und Modellierungsarbeiten durchgeführt und alle bestehenden Schutzbauten erfasst und hinsichtlich ihrer Relevanz beurteilt. Die Gefährdung wurde in Form von Intensitätskarten in den vier Wiederkehrperioden (siehe Tabelle 2) dargestellt.

**Tab. 3** Beurteilte und als relevant ausgeschiedene Prozessquellen im Pilotprojekt Unteres Reusstal. Weiter angegeben ist die pro Gefahrenprozess und Wiederkehrperiode maximal zu erwartende Ereignisintensität auf der Fahrbahn.

**Tab. 3** Number of hazard sources on a 12 km long street section in the Reuss valley, which had been evaluated and analyzed in detail with maximum intensity per scenario for every hazard process.

Gefahrenprozess	Anzahl relevante und beurteilte Gefahrenquellen	Anzahl Gefahrenquellen welche die Fahrbahn gefährden	maximale Intensität auf der Fahrbahn bei Wiederkehrperiode (3 = starke Intensität, 2 = mittlere Intensität, 1 = schwache Intensität, Intensitätsabstufung gemäss BFF, EISLF, 1984, und BRP, BWW, BUWAL, 1997)			
			> 0 bis ≤ 10 Jahre	> 10 bis ≤ 30 Jahre	> 30 bis ≤ 100 Jahre	> 100 bis ≤ 300 Jahre
Steinschlag, Blockschlag	12	5	3 <sup>1)</sup>	3	3	3
Permanente Rutschung <sup>2)</sup>	2	1	2			
Hangmuren	9	1			2	2
spontane Rutschung	0	0	0	0	0	0
Hochwasser in Wildbach	24	3			1	2
Hochwasser in Talfluss	9	9			3	3
Lawine	4	2			1	2

1) Die starke Intensität trifft nur den Standstreifen

2) Die Gefährdung durch permanente Prozesse wird nicht in verschiedenen Wiederkehrperioden angegeben.

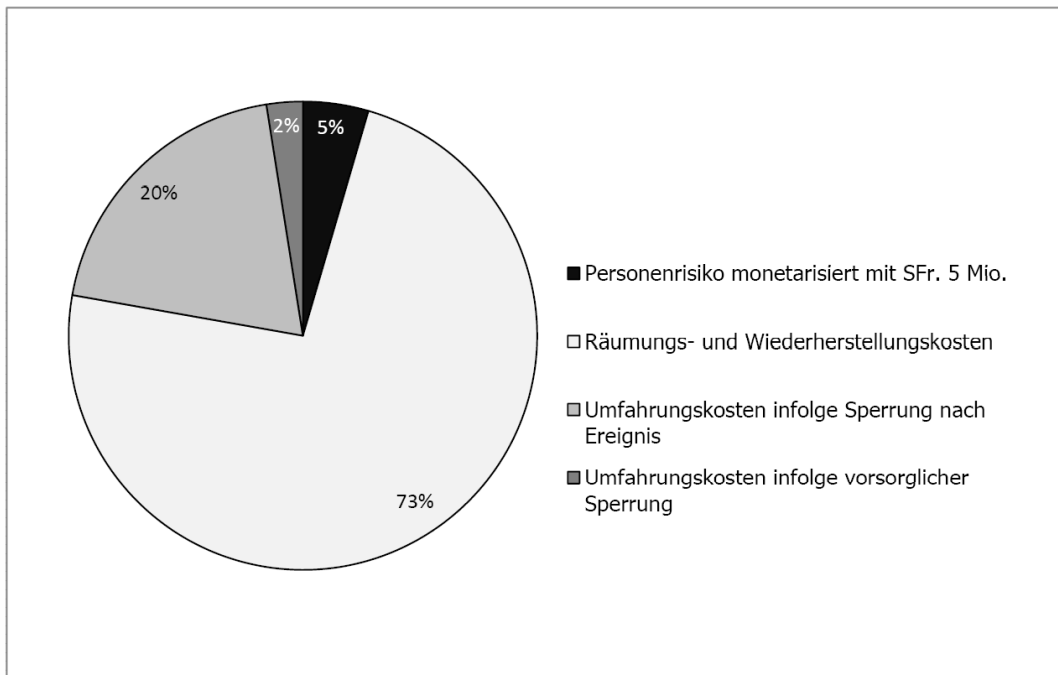
Für die Prozesse Felssturz, spontane Rutschung und sowie Einsturz / Absenkung wurde keine relevante Gefährdung erkannt und deswegen keine Prozessquellen ausgeschieden.

*Expositions- und Konsequenzenanalyse:* Die Angaben zum Schadenpotenzial wurden vom ASTRA zur Verfügung gestellt. Der durchschnittliche tägliche Verkehr in der für die Lawinengefährdung relevanten Zeit wurde gutachterlich reduziert, da erfahrungsgemäss aufgrund der dann anzunehmenden Sperrung beim Nordportal des Gotthardtunnels der Transitverkehr stark reduziert ist. Zur Berechnung der möglichen Umfahrungenwege im Falle einer Streckensperrung stand noch kein Verkehrsmodell zur Verfügung. Zusammen mit den verantwortlichen Stellen für den Betrieb und Unterhalt der Strecke wurden deswegen für jede Gefahrenstelle und Szenario objektspezifisch die möglichen Umfahrungenwege, deren wahrscheinliche Verfügbarkeit sowie die zusätzlich benötigte Fahrzeit (bezogen auf die Basisstrecke Luzern - Altdorf) berechnet. Bestanden keine Umfahrungsmöglichkeiten, wurde eine zusätzliche Fahrzeit von 8.3 Stunden angenommen.

### *Risikoermittlung und Darstellung:*

Das über alle Prozessquellen und Szenarien ermittelte Risiko auf dem untersuchten Streckenabschnitt beträgt rund SFr. 170'000 / Jahr. Dieser Wert teilt sich auf die in Figur 4 dargestellten Schadenbilder auf.





**Fig. 4** Risiken verursacht durch Naturgefahren im Pilotprojekt Unterer Reusstal, aufgeteilt nach den verschiedenen Schadensbildern. Die Prozentangaben stellen den Anteil des Schadenbildes am gesamten Risiko dar.

**Fig. 4** Collective risks caused by natural hazards along a 12 km long road section in the Reuss valley, divided into different type of risks. The number in the figure shows the percentage of every type of risk to the total collective risk. This type of distribution is typical for flood dominated hazards.

Die in Figur 4 ersichtliche Verteilung der Schadensbilder ist typisch für ein Gebiet, das grossflächig durch Überschwemmung und Übersarung gefährdet ist. Murgang, Sturz und Lawinen verursachen anteilmässig höhere Personenrisiken. Ist ein Streckenabschnitt hauptsächlich durch Lawinen gefährdet, dominieren die Verfügbarkeitsrisiken, da in der Schweiz für diese Prozesse vielfach ein gut funktionierender Lawinenwarndienst besteht und die Strassen entsprechend vorsorglich gesperrt werden.

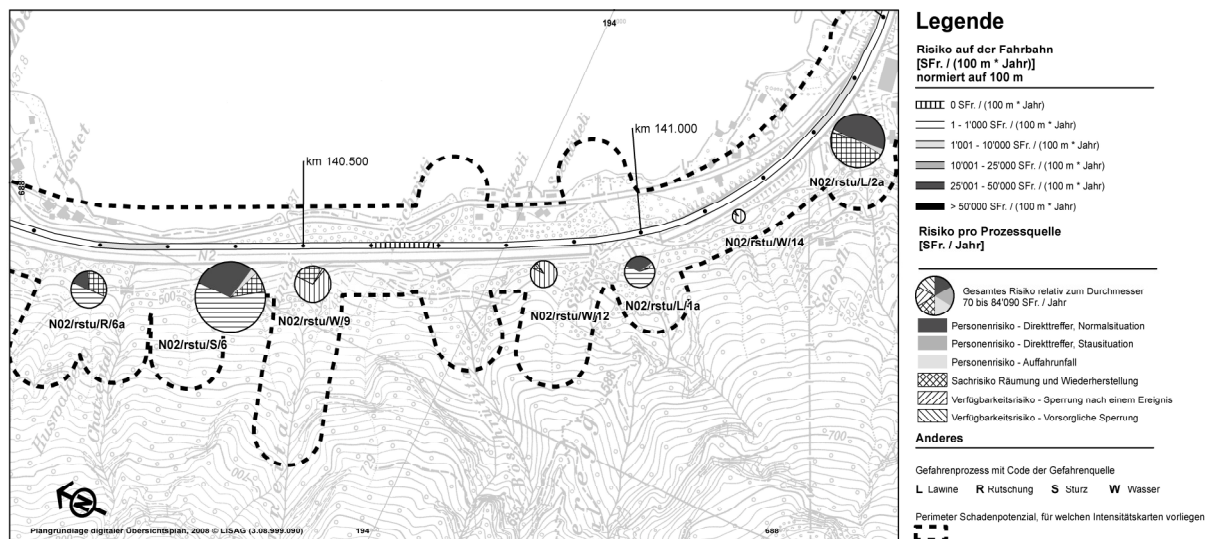
Die Risiken der einzelnen Prozessquellen sind in Tabelle 4 dargestellt. Daraus wird ersichtlich, dass die Personenrisiken auf diesem Streckenabschnitt im Vergleich zu den anderen Schadenbildern nur rund 5% ausmachen. Innerhalb der Personenrisiken entfällt der grösste Anteil auf den Direkttreffer mit Normalsituation, während der Auffahrnfall nach einem Naturereignis und auch der Direkttreffer mit Stausituation nur untergeordnete Bedeutung haben.

**Tab. 4** Risiko pro Prozessquelle im Pilotprojekt Unteres Reusstal, aufgeteilt auf die verschiedenen Schadensbilder

**Tab. 4** Collective Risk for every hazard source along a 12 km long road section in the Reuss valley, divided into the different types of risk. Fatalities are multiplied by CHF 5 Mio to be compared with other type of risk

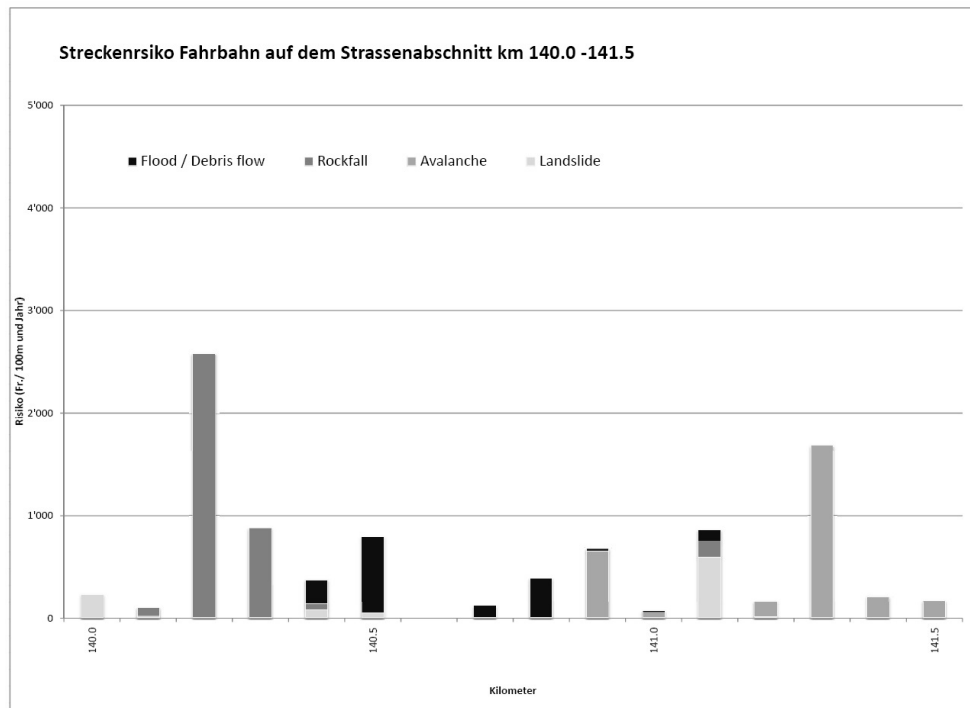
	Risiko Direkttreffer Normalsituation	Risiko Direkttreffer Stausituation	Risiko Direkttreffer Normal- und Stausituation	Risiko Auffahrnfall	Personenrisiko Total		Räumungs- und Wiederherstellungskosten	Umfahrungskosten infolge Sperrung nach Ereignis	Umfahrungskosten infolge vorsorglicher Sperrung	Sachrisiken Total	Gesamtes Risiko
	(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)	(Fr./ Jahr)
Fischlauri	4.6E-05	0.0E+00	4.6E-05	2.5E-06	4.8E-05	200	30	400	0	430	630
Schopfthalau	2.2E-04	0.0E+00	2.2E-04	1.4E-05	2.3E-04	1'100	1'000	40	0	1'040	2'140
Steinbruch - Kraftwerk Bolzbach	5.9E-06	1.0E-10	5.9E-06	0.0E+00	5.9E-06	30	100	0	0	100	130
Hostet Bolzbach - Seehof	3.3E-05	6.5E-10	3.3E-05	1.9E-07	3.4E-05	200	300	500	0	800	1'000
Seelisbergtunnel Südportal	5.7E-06	1.3E-10	5.7E-06	4.0E-06	9.7E-06	50	20	0	0	20	70
Taubach Süd	5.7E-04	4.2E-09	5.7E-04	6.0E-05	6.3E-04	3'100	500	6'200	0	6'700	9'800
Taubach Nord	2.5E-04	1.9E-09	2.5E-04	3.6E-05	2.9E-04	1'400	200	6'200	0	6'400	7'800
Waldgebiet Bolzbach-Seedorf	2.1E-04	4.0E-09	2.1E-04	2.0E-05	2.3E-04	1'200	400	2'200	0	2'600	3'800
Flüelentunnel Südportal	3.0E-06	1.2E-10	3.0E-06	4.0E-06	7.0E-06	30	10	80	0	90	120
Reuss, Hochwasserentlastung	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	3.6E-06	3.6E-06	20	2'000	0	400	2'400	2'420
Reuss, Gerinnekapazität erschöpft	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0	600	0	100	700	700
Reuss, Seitenerosion	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	1.3E-06	1.3E-06	10	40'400	3'100	100	43'600	43'610
Reuss, Dammbrech A	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	1.3E-06	1.3E-06	10	900	600	100	1'600	1'610
Reuss, Dammbrech B	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	1.3E-06	1.3E-06	10	1'000	600	100	1'700	1'710
Reusskanal, Hochwasserentlastung	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	7.9E-06	7.9E-06	40	70'500	12'800	800	84'100	84'140
Schächen, Gerinnekapazität erschöpft	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	8.5E-06	8.5E-06	40	300	300	200	800	840
Schächen und Stille Reuss: Seebildung, Entlastung	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	7.9E-06	7.9E-06	40	4'000	0	900	4'900	4'940
Reuss und Stille Reuss: Seebildung, Entlastung	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	1.2E-06	1.2E-06	10	700	0	100	800	810
Schnuerli-Runse	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	9.0E-07	9.0E-07	0	30	20	500	550	550
Schopfli-Runse 1	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0	10	0	100	110	110
Tanneital	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	9.1E-07	9.1E-07	0	300	20	700	1'020	1'020
<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>33'200</b>	<b>4'200</b>	<b>160'700</b>	<b>168'300</b>

Mit der gewählten Datenbank- und GIS-Lösung für die Risikoberechnung können die Ergebnisse nicht nur tabellarisch nach Prozessquelle ausgewertet sondern, auch streckenbezogen und graphisch dargestellt werden (Figur 5 und 6). In Figur 6 wird zudem ersichtlich, wie sich auf den einzelnen 100 m Abschnitten Risiken verschiedener Prozessquellen überlagern, was im Hinblick auf die Risikobewertung (Priorisierungskriterien) wichtig ist.



**Fig. 5** Risiken verursacht durch Naturgefahren im Pilotprojekt Unteres Reusstal, dargestellt als Risiko pro Prozessquelle (Kuchendiagramm mit Unterteilung nach Schadensbild pro Prozessquelle, Durchmesser des Kuchendiagramms ist proportional zur Grösse des Risikos) und als Risiko pro 100m-Abschnitt (abgestuft nach der Grösse des Risikos).

**Fig. 5** Presentation of the collective risks caused by natural hazards along Swiss highways in the Reuss valley (Risk per process source, divided into different type of risks and risks per 100 m fragment along the street).



**Fig. 6** Risiken verursacht durch Naturgefahren im Pilotprojekt Unteres Reusstal, dargestellt als Histogramm pro 100m-Abschnitt entlang der Strecke und unterteilt nach Gefahrenprozess (der gewählte Streckenausschnitt ist identisch mit demjenigen in Abbildung 5)

**Fig. 6** Collective risks caused by natural hazards along Swiss highways in the Reussvalley, represented as histogram per 100 m, divided into different type of hazard process

*Risikobewertung:* Die gemäss Methodik angewendeten Kriterien zeigen, dass das Überprüfungskriterium des individuellen Todesfallrisikos ( $10^{-5}$ ) mit dem über den gesamten Streckenabschnitt berechneten Wert von  $1.2 \cdot 10^{-7}$  nicht verletzt wird. Bei den beiden Prozessquellen "Reusskanal, Hochwasserentlastung" sowie "Reuss, Seitenerosion" wird der Wert von SFr. 10'000.- pro Prozessquelle und Jahr deutlich überschritten (siehe auch Tabelle 4). Erstere stellt ein Spezialfall dar, da es sich um eine gewollte Massnahme im Rahmen des Hochwasserschutzes Reusstal handelt. Somit besteht prioritärer Handlungsbedarf nur für die Prozessquelle "Reuss, Seitenerosion".

## AUSBLICK

Seit dem Jahre 2010 wird das gesamte Nationalstrassennetz etappenweise in Form von einzelnen Losen durch ausgewiesene Fachleute beurteilt. Dabei werden jeweils rund 30 bis 50 km lange Streckenabschnitte pro Lose bearbeitet. Im Herbst 2011 wird die Bearbeitung der ersten Lose abgeschlossen sein.

Für die Risikoermittlung wird für alle Lose - anders als im Pilotprojekt - ein webbasiertes Berechnungstool eingesetzt, das - auf der Grundlage der Gefahrenanalyse - eine standardisierte Berechnung der Risiken erlaubt. Die Massnahmenplanung und -bewertung ist an ausgewählten Stellen bereits im Gange.

## REFERENCES

- ARGE geo7-flussbau-Kellerhals+Haefeli-IMPULS (2009). Pilotprojekt Unteres Reusstal. Strecke 02.48.139: Seelisbergtunnel bis Alpbachtunnel Nordportal.
- BRP, BWB, BUWAL (1997). Empfehlung zur Berücksichtigung der Massenbewegungsgefahren bei raumwirksamen Tätigkeiten.
- BRP, BWB, BUWAL (1997). Empfehlung zur Berücksichtigung der Hochwassergefahren bei raumwirksamen Tätigkeiten.

- Bründl M. (Ed) (2009). Risikokzept Naturgefahren - Leitfaden. Nationale Plattform für Naturgefahren PLANAT, Bern. 420 S.
- Bundesamt für Forstwesen, Eidgenössisches Institut für Schnee- und Lawinenforschung (BFF, EISLF) (1984). Richtlinie zur Berücksichtigung der Lawinengefahr bei raumwirksamen Tätigkeiten.
- Bundesamt für Raumentwicklung (ARE) (2007). Staukosten des Strassenverkehrs in der Schweiz. Aktualisierung 2000/2005.
- Bundesamt für Strassen (ASTRA) (2010). Risikokzept Naturgefahren Nationalstrassen, Ausgabe 2009 V1.30. Dokumentation. ASTRA 89 001.
- Bundesamt für Umwelt (BAFU) (2010). EconoMe2.0. Online-Berechnungsprogramm zur Bestimmung der Wirtschaftlichkeit von Schutzmassnahmen gegen Naturgefahren.
- Erath A., Birdsall J., Axhausen K., Hajdin R. (2009). Vulnerability Assessment - Methodology for Swiss Road Network. Journal of the Transportation Research Board, No. 2137, Transportation Research Board of the National Academies, Washington, D.C., 2009, pp. 118–126.
- Linn A. van, Welte U., Hajdin R., Adey B. (2009). Sicherheit des Verkehrssystems Straße und dessen Kunstbauten : Effektivität und Effizienz von Maßnahmen; Forschungsauftrag AGB 2005/104 / - Zürich : Schweizerischer Verband der Straßen- und Verkehrsfachleute (VSS), 2009. 88 S.
- Romang H. (Ed) (2008). Wirkung von Schutzmassnahmen. Nationale Plattform für Naturgefahren PLANAT, Bern. 289 S.