

Bundesamt für Strassen

Bericht

**"Steinschlag": Naturgefahr für die
Nationalstrassen**

Schlussbericht der ASTRA - Expertengruppe



2003



Bericht

"Steinschlag": Naturgefahr für die Nationalstrassen

Schlussbericht der ASTRA - Expertengruppe

Impressum

Mitglieder der Expertengruppe

Bauman Reto	-	Forstingenieur	-	BUWAL
Donzel Michel	-	Ingenieur	-	ASTRA (Präsident)
Favre Jérôme	-	Ingenieur	-	Kanton Wallis
Figi Heinrich	-	Ingenieur	-	Kanton Graubünden
Guidotti Nicola	-	Ingenieur	-	Kanton Tessin
Huber Heribert	-	Ingenieur	-	Kanton Uri
Hofer Andreas	-	Ingenieur	-	ASTRA
Jacquemoud Joseph	-	Ingenieur	-	Ingenieurbüro (Redaktion)
Lang Thomas	-	Ingenieur	-	SBB
Raetzo Hugo	-	Geologe	-	BWG
Rouiller Jean-Daniel	-	Geologe	-	Kanton Wallis
Wyss Markus	-	Ingenieur	-	Kanton Bern

Herausgeber

Bundesamt für Strassen ASTRA, Abteilung Strasseninfrastruktur, Bereich Kunstbauten, 3003 Bern

Ort, Datum

Bern, 2003

Der Originaltext ist in Französisch. Im Zweifelsfall ist die französische Fassung massgebend.
Der Inhalt dieses Berichts verpflichtet nur die durch das Bundesamt für Strassen beauftragten Autoren.

© "ASTRA" 2003, Abdruck - ausser für kommerzielle Nutzung - unter Angabe der Quelle gestattet

Der Bericht kann im Internet von www.astra.admin.ch/html/de/downloads herunter geladen werden.

ZUSAMMENFASSUNG

Die Eidgenossenschaft als Gesetzgeberin, Aufsichtsbehörde und Subventionsorgan erfüllt die Erwartungen der Bevölkerung hinsichtlich Schutzes gegen Naturgefahren auf vielfältige Weise.

Solche Gefahren erfordern wegen der Vielfalt an möglichen Schutzmassnahmen eine globale und kohärente Betrachtungsweise.

Auf Anregung der Leitung des ASTRA haben Organe der Nationalstrassen in diesem allgemeinen Rahmen für ihre besonderen Bedürfnisse einer Expertengruppe die Aufgabe anvertraut, festzulegen, wie auf ihrem Netz im Umgang mit Steinschlag als Naturgefahr vorzugehen ist.

Die aus Bauingenieuren, Geologen und Forstingenieuren zusammengesetzte Expertengruppe hat die Bedeutung dieser Gefahr im Allgemeinen und für die Nationalstrassen im Besonderen festgehalten und das Verhalten im Umgang mit dieser Frage bewertet. Aufgrund der Analyse wurden konkrete Vorschläge formuliert, mit dem Ziel, festgestellte Lücken zu schliessen und die Grundlagen und nötigen Elemente für eine definierte und fachgerechte Sicherung der Verkehrswege zu liefern.

Die Steinschlaggefahr ist für die Nationalstrassen nicht sehr gross aber trotzdem reell. Die Gefährdung ist in den einzelnen Kantonen sehr unterschiedlich: Sieben Kantone weisen Strassenabschnitte mit starker, sieben weitere mit mittlerer Exposition aus. Mit 14 Kilometern Galerien und mehr als 400 mit anderen Schutz- oder Überwachungseinrichtungen ausgerüsteten Standorten ist das Inventar von Schutzbauten auf den Nationalstrassen bemerkenswert. Trotz den einigen Dutzend mehr oder weniger spektakulären Unfällen, von denen sich drei erst kürzlich ereignet haben, ist auf den Nationalstrassen kein Todesfall zu beklagen. Diese Feststellung gilt jedoch nicht für andere Strassen, an denen der Bund ebenfalls beteiligt ist.

Zwei Umfragen zur aktuellen Situation in den Kantonen haben erkennen lassen, dass in den Tunneleingangszonen keine unmittelbar kritischen Situationen vorkommen, und dass in den bekannten, ausgerüsteten, geschützten oder überwachten Zonen keine offenkundigen, schwerwiegenden Schwachpunkte festgestellt wurden. Die Anordnung von Sofortmassnahmen erwies sich deshalb als unnötig.

Bei der Behandlung der Steinschlaggefahr in ihrer ganzen Tragweite, beziehungsweise der Naturgefahren im Allgemeinen müssen technische Aspekte (Beurteilung der Gefahr, Schutzmassnahmen), wissenschaftliche Aspekte (Risikoanalyse) und verwaltungstechnische, organisatorische und rechtliche Aspekte einbezogen werden.

Um den verschiedenen Aspekten Rechnung zu tragen, schlägt die Expertengruppe mehrere Massnahmen zur Klärung und Verbesserung der aktuellen Praxis vor.

Das ASTRA erachtet zehn Massnahmen als nötig und vorrangig:

- Technische Aspekte:
 - Überprüfung aller Schutzgalerien und Tunnelportale mit Schutzfunktion gegen Steinschlag hinsichtlich der Felswänden inhärenten potentiellen Gefahren, der angewandten Bemessungsmethode und der effektiven Sicherheit der Konstruktion; Erstellung eines einheitlichen Pflichtenhefts durch das ASTRA mit der Aufforderung an die Kantone, diese Überprüfungen in ihr Programm zur Überwachung der Kunstbauten aufzunehmen
 - Generelle Überprüfung der Tunnelportale mit Steinschlagschutzfunktion auf ihre Übereinstimmung mit den genehmigten Projekten. Diese Massnahme wurde 2003 bereits realisiert.
 - Aktualisierung der ASTRA/SBB-Richtlinie "Einwirkungen auf Steinschlagschutzgalerien" mit Anpassung an die neuen SIA-Normen (Swisscodes)
- Wissenschaftliche Aspekte:
 - Entwicklung einer Methode zur Bewertung des akzeptierten Risikos und zur Bestimmung des erforderlichen Schutzgrades für die Nationalstrassen; diese Massnahme zur kohärenten Behandlung aller Naturgefahren schliesst sozialpolitische Aspekte mit ein.
 - Erarbeitung einer Wegleitung für Spezialisten, die eine kohärente und einheitliche Bewertung der Eintretenswahrscheinlichkeit von Steinschlagereignissen ermöglicht
- Administrative und organisatorische Aspekte:
 - Aufforderung an die Kantone, die bei ihnen vorgekommenen Ereignisse systematisch zu erfassen, und Information über die zur Verfügung stehende BUWAL-Datenbank StorMe
 - Aufforderung an die Kantone, Gefahrenkarten für die dem Steinschlag ausgesetzten Nationalstrassenbereiche zu erstellen; das ASTRA legt die auf diesen Karten zu erfassenden Elemente fest.
 - Information der Kantone über die aus der Richtlinie des BUWAL abgeleitete Verpflichtung zum Einsatz typengeprüfter Schutznetze gegen Steinschlag; diese Massnahme ist bereits realisiert.
 - Schaffung einer Stelle «Spezialist/Spezialistin für Naturgefahren» im ASTRA für die amtsinternen Belange und die interdepartementale Koordination

- Erstellung einer Wegleitung, eines Katalogs und eines Aktionsplans durch das ASTRA, die das Vorgehen im Falle eines Steinschlagereignisses im Bereich der Nationalstrassen festlegt

Den SBB werden analoge Massnahmen empfohlen:

Die acht weiteren empfohlenen Massnahmen sind nicht sekundär, aber sie weisen auf eine niedrigere Dringlichkeit oder auf eine Verpflichtung hin, die nicht in den ausschliesslichen Aufgabenbereich des ASTRA fällt. Die ausgearbeiteten Vorschläge sollen auch als Wegleitung und Koordinationshilfe bei Projekten dienen, die in zahlreichen andern Bundesämtern bei der Behandlung von Naturgefahren im Allgemeinen und Steinschlag im Besonderen ausgearbeitet werden.

Inhaltsverzeichnis

ZUSAMMENFASSUNG	5
1. TERMINOLOGIE	11
1.1 Glossar	11
1.2 Bundesämter und andere staatliche Stellen	14
1.3 Andere Abkürzungen	15
2. EINLEITUNG	16
2.1 Was war der Anlass für diesen Bericht?	16
2.2 Ziele der Expertengruppe	16
2.3 Zusammensetzung und Organisation der Expertengruppe	16
3. AUSMASS DER DURCH STEINSCHLAG AUF DIE VERKEHRSWEGE VERURSACHTEN SCHÄDEN	17
3.1 Vorbemerkung	17
3.2 Schadensarten	17
3.3 Ausmass der Schäden	18
3.4 Vergleich mit Verkehrsunfällen	18
3.5 Vergleich mit anderen Naturgefahren	19
3.6 Betroffene Kantone und Nationalstrassen	20
4. SCHUTZBAUTEN AUF DEM NATIONALSTRASSENNETZ	20
5. BEKANNTE EREIGNISSE	22
5.1 Inventare und Statistiken	22
5.2 Ereigniss-Kataster StorMe	22
5.3 Bedeutende bekannte Ereignisse	23
6. RECHTSLAGE	23
6.1 Anzuwendende gesetzliche Bestimmungen	23
6.2 Aufgaben, Kompetenzen und Verantwortlichkeiten bezüglich der Nationalstrassen	27
7. ELEMENTE DER STEINSCHLAGTHEMATIK	27
7.1 Definitionen	27
7.2 Elemente der Steinschlagthematik	28
8. GEFAHRENPOTENTIAL	29
8.1 Gegenstand	29
8.2 Hilfsmittel und Kenntnisstand	29
8.3 Gefahreninventar	30
9. RISIKOANALYSE UND SCHUTZZIELE	31
9.1 Gegenstand	31
9.2 Risikoermittlung	32
9.3 Schutzziel – Akzeptierte Risiken	32

10.	SCHUTZMASSNAHMEN OBERHALB DER FAHRBAHN.....	33
10.1	Schutzwald	33
10.2	Eingriffe in Felswänden	34
10.3	Bau von Schutzwänden im Hang	35
10.4	Überwachungsmassnahmen.....	35
11.	SCHUTZMASSNAHMEN AUF DER HÖHE DER FAHRBAHN	35
11.1	Aktive Massnahmen	35
11.2	Passive Massnahmen	36
11.3	Auswahl und Ausführung	37
12.	REGELUNG DER DIMENSIONIERUNG DER SCHUTZBAUTEN.....	37
13.	BEOBACHTUNG UND ÜBERWACHUNG.....	38
13.1	Prinzip	38
13.2	Mittel und Kenntnisstand	39
14.	DURCH DIE EXGR FESTGESTELLTE LÜCKEN UND VON DER EXGR EMPFOHLENE MASSNAHMEN.....	40
14.1	Aspekt "A": Gefahrenpotentiale (vgl. Ziff. 8).....	40
14.2	Aspekt "B": Risikoanalyse und Schutzziele (vgl. Ziff. 9)	41
14.3	Aspekt "C": Schutzmassnahmen oberhalb der Fahrbahn (vgl. Ziff. 10)	41
14.4	Aspekt "D": Schutzmassnahmen auf Fahrbahnhöhe (vgl. Ziff. 11)	42
14.5	Aspekt "E": Reglementierung der Dimensionierung der Schutzbauten (vgl. Ziff. 12).....	42
14.6	Aspekt "F": Begleitmassnahmen und Überwachung (vgl. Ziff. 13)	43
14.7	Aspekt "G": Allgemeine Massnahmen im Umgang mit Naturgefahren.....	44
15.	SCHLUSSFOLGERUNGEN	46
	BIBLIOGRAPHIE.....	48
ANHANG 1	: Evaluation KATANOS	
ANHANG 2	: Umfrage bei den Kantonen	
ANHANG 3	: Resultate der Umfrage Nr. 1	
ANHANG 4	: Gefährdungsintensität	
ANHANG 5	: Markante Ereignisse	
ANHANG 6	: Risiko	
ANHANG 7	: Schutzsysteme - Energien	
ANHANG 8	: Beurteilung der Gefahr	
ANHANG 9	: Kataster StorMe	
ANHANG 10	: Koordinationsmatrix	

1. TERMINOLOGIE

1.1 Glossar

Chute de pierres, chutes de blocs <i>Steinschlag, Blockschlag</i>	Chute, rebondissement et roulement de pierres individuelles ($\varnothing < 50$ cm) et de blocs ($\varnothing > 50$ cm), dont le volume total est inférieur à 100 m^3 [3] <i>Fallen, Springen und Rollen von einzelnen Steinen ($\varnothing < 50$ cm) und Blöcken ($\varnothing > 50$ cm), wobei das Gesamtvolumen kleiner als 100 m^3 ist [3]</i>
Danger <i>Gefahr</i>	Condition, circonstance ou processus dont peut résulter un dommage pour l'homme, l'environnement ou les biens [11] <i>Zustand, Umstand oder Vorgang, aus dem ein Schaden für Mensch, Umwelt oder Sachgüter entstehen kann [11]</i>
Dommage <i>Schaden</i>	Effet négatif d'un événement ou d'un processus [11] <i>Negativ bewertete Konsequenz eines Ereignisses oder einer Handlung [11]</i>
Eboulement <i>Felssturz</i>	Chute d'une masse rocheuse qui se fractionne durant la chute et lors de l'impact en blocs et pierres, et dont l'interaction entre les composantes n'a pas d'influence majeure sur la dynamique du processus [3] <i>Sturz einer Felsmasse, die während des Sturzes bzw. beim Aufprall in Blöcke und Steine fraktioniert wird, wobei die Interaktion zwischen den Komponenten keinen massgebenden Einfluss auf die Dynamik des Prozesses hat [3]</i>
Ecroulement <i>Bergsturz</i>	Effondrement de très grandes masses rocheuses, plus ou moins cohérentes dans leur unité rocheuse originale, atteignant de grandes vitesses, et dont la mécanique de transport est marquée par une forte interaction entre les composantes [3] <i>Absturz sehr grosser, im ursprünglichen Felsverband mehr oder weniger kohärenter Felsmassen unter Erreichung hoher Geschwindigkeiten, wobei der Transportmechanismus durch eine starke Wechselwirkung zwischen den Komponenten gekennzeichnet ist [3]</i>

Mesure active <i>Aktive Massnahme</i>	Mesure de protection qui agit activement contre le phénomène naturel pour réduire le danger ou modifier largement la probabilité d'occurrence (p. ex. filet de protection, revêtements de rochers par des treillis) [3] <i>Schutzmassnahme, die dem Naturereignis aktiv entgegenwirkt, um die Gefahr zu verringern oder die Eintretenswahrscheinlichkeit wesentlich zu verändern (z.B. Schutznetze, Felsabdeckungen aus Gittern) [3]</i>
Mesure passive <i>Passive Massnahme</i>	Mesure préventive qui doit conduire à une réduction des dommages sans influencer activement le déroulement du phénomène naturel (p. ex. mesures d'aménagement du territoire, modifications de tracé, tunnels) [3] <i>Schutzmassnahme, die zu einer Reduktion des Schadens führen soll, ohne den Ablauf des Naturereignisses aktiv zu beeinflussen (z.B. raumplanerische Massnahmen, Trasseänderungen, Tunnels) [3]</i>
Objectif de protection <i>Schutzziel</i>	Définition qualitative et quantitative du risque à prévenir par des mesures actives ou passives <i>Qualitative und quantitative Definition des Risikos, das es durch aktive oder passive Massnahmen zu verhindern gilt</i>
Potentiel de danger <i>Gefahrenpotential</i>	Intensité, fréquence ou probabilité de la réalisation d'un événement, avec les conditions physiques qui le régissent et l'étendue topographique qu'il peut prendre (situation avant qu'un événement ne se réalise) <i>Intensität, Häufigkeit oder Wahrscheinlichkeit des Eintritts eines Ereignisses, seine physikalischen Bedingungen und seine mögliche Ausdehnung (Situation vor der Realisierung eines Ereignisses)</i>
Potentiel de dommage <i>Schadenpotential</i>	Ensemble des conséquences pour l'homme, l'environnement ou les biens dues à des événements (de chute de pierres), soit effets pendant et après la réalisation d'un danger <i>Gesamtheit der Folgen der Ereignisse (Steinschlag) für den Menschen, die Umwelt und die Güter (während oder nach der Realisierung der Gefahr)</i>

Risque
Risiko

Définition qualitative et quantitative d'un dommage, à savoir sa probabilité d'occurrence et l'étendue des répercussions [11]. Analytiquement le risque est la combinaison (espérance mathématique) du danger potentiel avec le dommage potentiel correspondant exprimés pour une intensité donnée avec leurs probabilités respectives d'apparition (cf ch 9.1)

Qualitative oder quantitative Charakterisierung eines Schadens hinsichtlich der Möglichkeit des Eintreffens und der Tragweite der Schadenswirkung [11]. Analytisch ist das Risiko die Kombination (mathematische Erwartung) von Gefahrenpotential und zugehörigem Schadenspotential für eine bestimmte Intensität, berechnet mit deren jeweiliger Eintretenswahrscheinlichkeit (vgl. Ziff. 9.1)

Risque accepté
Akzeptiertes Risiko

Risque d'ampleur connue consciemment pris en compte d'un commun accord par les parties concernées [11]

In seiner Grösse bekanntes, durch den Konsens der Beteiligten bewusst hingenommenes Risiko [11]

1.2 Bundesämter und andere staatliche Stellen

ARE ARE	:	Office fédéral du développement territorial, Berne <i>Bundesamt für Raumentwicklung, Bern</i>
CEAC EKLS	:	Commission fédérale d'experts en avalanches et chutes de pierres <i>Eidg. Expertenkommission Lawinen und Steinschlag</i>
FNP WSL	:	Institut fédéral de recherche sur la forêt, la neige et le paysage, Birmensdorf, Lausanne, Bellinzona, ENA Davos <i>Eidg. Forschungsanstalt Bereich Naturgefahren, Birmensdorf, Lausanne, Bellinzona, SLF Davos</i>
OFAT BRP	:	(ancien) Office fédéral de l'aménagement du territoire, Berne (inclus dans ARE) <i>(alt) Bundesamt für Raumplanung, Bern (Teil vom ARE)</i>
OFEE BWW	:	(ancien) Office fédéral de l'économie des eaux, Bienne (inclus dans OFEG) <i>(alt) Bundesamt für Wasserwirtschaft, Biel (Teil vom BWG)</i>
OFEFP BUWAL	:	Office fédéral de l'environnement des forêts et du paysage, Berne-Ittigen <i>Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern-Ittigen</i>
OFEG BWG	:	Office fédéral des eaux et de la géologie, Bienne <i>Bundesamt für Wasser und Geologie, Biel</i>
OFPC BABS	:	Office fédéral de la protection civile, Berne <i>Bundesamt für Bevölkerungsschutz, Bern</i>
OFROU ASTRA	:	Office fédéral des routes, Berne-Ittigen <i>Bundesamt für Strassen, Bern-Ittigen</i>
OFS BFS	:	Office fédéral de la statistique, Neuchâtel <i>Bundesamt für Statistik, Neuenburg</i>
OFT BAV	:	Office fédéral des transports, Berne, Ittigen <i>Bundesamt für Verkehr, Bern-Ittigen</i>

1.3 Andere Abkürzungen

- CREALP : Centre de recherche sur l'environnement alpin (VS)
Zentrum für alpine Umweltforschung (VS)
- KATANOS : Etude sur les conséquences de catastrophes réalisée sous l'égide de l'OFPC, 1995
Studie über die Folgen von Katastrophen, durch BABS, 1995
- KATARISK : Traitement des résultats KATANOS pour diffusion par internet (système ARAMIS)
Aufbereitung der Ergebnisse der Studie KATANOS für einen Internetauftritt (im System ARAMIS)
- NAHRIS : Recherche sur les dangers naturels et les risques, dans le campus suisse virtuel
Umgang mit Naturgefahren und Risiken im Swiss Virtual Campus (VC)
- PLANAT : Plate-forme nationale " Dangers Naturels " (commission extra-parlementaire, c/o OFEG)
Nationale Plattform Naturgefahren (ausserparlamentarische Kommission, bei BWG).

2. EINLEITUNG

2.1 Was war der Anlass für diesen Bericht?

Immer wieder werden die Menschen und besonders die Ingenieure durch plötzliche Ereignisse an die Existenz von Naturgefahren erinnert. Am 4. Januar 2003 hat ein gewaltiger Felssturz den Tagbautunnel Chüebalm in Iseltwald (N8/BE) durchschlagen und den Tunnel auf einer Länge von 10 bis 20 Metern total verstopft. Solche Ereignisse fordern die Ingenieure heraus: War höhere Gewalt im Spiel oder wurden mögliche Vorkehrungen unterlassen? Hätte quantitativ oder qualitativ mehr getan werden können?

In diesem Umfeld hat die Direktion des ASTRA beschlossen, eine Expertengruppe ("ExGr" genannt) einzusetzen und diese beauftragt, sich mit der Sicherheit der Verkehrsträger gegen Steinschlag zu befassen.

2.2 Ziele der Expertengruppe

Das ASTRA möchte im Idealfall das anvisierte Sicherheitsniveau garantieren können. Das ist nicht sofort möglich, sondern das Ziel einer dahin führenden Vorgehensweise. Der "ExGr" wurden die folgenden Zielvorgaben gemacht, die gleichzeitig die ersten Schritte dieses Vorgehens darstellen:

- Darstellung der aktuellen Steinschlaggefahr und der bestehenden Schutzvorrichtungen;
- Beurteilung des Kenntnisstandes in den Wissensgebieten, die mit der Thematik des Steinschlags in Zusammenhang stehen und Feststellen von Schwachstellen und Lücken in diesen Gebieten;
- Ausarbeiten einer Vorgehensweise, um Schwachstellen zu korrigieren und Lücken zu schliessen, je nach Wichtigkeit und Priorität.

2.3 Zusammensetzung und Organisation der Expertengruppe

Die durch das ASTRA beauftragte Expertengruppe "ExGr" setzt sich aus Personen zusammen, die sich beruflich mit Steinschlagschutz befassen, sei dies in der kantonalen Verwaltung oder in einem Bundesamt.

Die Expertengruppe "ExGr" ist im ersten Halbjahr 2003 vier Mal zusammengekommen, um die erstellten Arbeitsunterlagen zu besprechen. Alle Mitglieder haben mit ihren spezifischen Kenntnissen und Erfahrungen zum Entstehen der Arbeitsgrundlagen beigetragen.

Leiter der Expertengruppe ist Herr Michel Donzel. Herr Joseph Jacquemoud wurde vom ASTRA beauftragt, die Expertengruppe in technischer und administrativer Hinsicht zu unterstützen. Er ist für das Sekretariat und die Redaktion verantwortlich. Herr Willi Schuler (ASTRA) nimmt als Gast an den Sitzungen der "ExGr" teil.

3. AUSMASS DER DURCH STEINSCHLAG AUF DIE VERKEHRSWEGE VERURSACHTEN SCHÄDEN

3.1 Vorbemerkung

Die Begriffe Schadenspotential und Gefahrenpotential sind klar zu unterscheiden.

Das Schadenspotential befasst sich mit den Folgen von Steinschlagsereignissen, wenn sich also die Gefahr in den Ereignissen realisiert hat. In diesem Kapitel geht es darum, die Bedeutung der Steinschläge für die Verkehrswege im Allgemeinen und für die Nationalstrassen im Besonderen zu beurteilen.

Das Gefahrenpotential befasst sich mit den physikalischen Bedingungen, unter denen Ereignisse gewisser Art eintreten können, mit der möglichen topographischen Ausdehnung, der möglichen Intensität, Häufigkeit und Wahrscheinlichkeit solcher Ereignisse. Es geht also um die Zeit vor der Schadensentstehung. Die Beurteilung des Gefahrenpotentials wird unter Ziffer 8 behandelt.

3.2 Schadensarten

Schäden infolge von Steinschlagereignissen können auf vier Arten entstehen:

- a) durch das direkte Einschlagen von Blöcken und Steinen auf Personen oder Bauwerke;
- b) durch das plötzliche Auftreten von Hindernissen (Blöcke, Teile von beschädigten Bauwerken) auf denen Fahrzeuge aufprallen. Solche Schäden entstehen am häufigsten auf Schnellspuren und in Gebieten mit beschränkten Sichtverhältnissen;
- c) durch die länger dauernde Verschüttung einer wichtigen oder einzigen Verkehrsachse;
- d) durch die Schliessung eines Verkehrsweges infolge eines amtlichen Entscheides wegen zu hohem Gefahrenpotential.

In den Fällen a) und b) können Personen getötet werden. In den Fällen c) und d) können direkt nur wirtschaftliche Schäden unterschiedlichen Ausmasses entstehen.

3.3 Ausmass der Schäden

Für Personen sind die Folgen von direkten Einschlägen immer schwerwiegend oder tödlich. Ereignisse dieser Art sind jedoch nicht häufig und eine beschränkte Anzahl Personen ist davon betroffen. Plötzlich auf der Fahrbahn entstehende Hindernisse verursachen unterschiedlich grosse Schäden. Solche Schäden sind häufiger als diejenigen, die von direkten Einschlägen verursacht werden (längere Dauer des Ereignisses) und können eine grössere Anzahl Personen betreffen (Bus, Zug).

Die Akzeptanz dieser Schäden durch die Öffentlichkeit ist unterschiedlich, im Allgemeinen jedoch schlecht. Sie hängt von mehreren Faktoren ab: Art der Strasse (z.B. Autobahn oder Alpenstrasse), Vorhandensein von Schutzvorrichtungen, Zeitpunkt und Art der Medieninformation.

Die von direkten Aufschlägen und plötzlich auftretenden Hindernissen verursachten potentiellen Sachschäden betreffen in erster Linie die Schutzbauten, in zweiter Linie die Fahrzeuge und die Nebeneinrichtungen. Sie sind im Allgemeinen nicht hoch und wenig häufig.

Die wirtschaftlichen Schäden infolge Verschüttung oder Schliessung einer Fahrbahn sind politisch und gesellschaftlich schwerwiegend, haben jedoch im Allgemeinen keine kritischen Ausmasse.

Das Ausmass der Schäden hängt auch von der Wichtigkeit der betroffenen Strasse, von ihren Besonderheiten und von der Art und der Intensität des Verkehrs, der sich darauf abspielt, ab.

3.4 Vergleich mit Verkehrsunfällen

Nach Angaben des Bundesamtes für Statistik haben die Strassenverkehrsunfälle auf allen für den Verkehr geöffneten Strassen im Jahre 2002 weniger Tote und schwer Verletzte verursacht als im Vorjahr. 2002 wurden 23'647 Unfälle mit Personenschaden registriert. Diese Zahl liegt jedoch lediglich 1,0% unter dem Stand von 2001 (23'890 Unfälle) und 0,4% unter jenem des Jahres 2000 (23'737). Stark rückläufig ist hingegen die Zahl der Todesopfer: 2002 zählte man 513 Tote, verglichen mit deren 544 im Jahre 2001 (-5,7%) und deren 592 im Jahre 2000 (-13,3%). Im selben Jahr zählte man 6191 schwer verletzte Personen, im Jahre 2001 waren es 6194 und im Jahr 2002 deren 5931. Die Zahl der schwer Verletzten ist also ebenfalls rückläufig, jedoch in geringerer Masse. (20. Mai 2003, Pressemitteilung Nr. 0350-0304-50 – BFS) [1].

Auf den Autobahnen verloren 2002 insgesamt 76 Personen ihr Leben; 2001 waren es 71 und im Jahr 2000 deren 43 gewesen. Demgegenüber ist die Zahl der schwer Verletzten auf Autobahnen rückläufig: Hatte man 2001 noch 491 Opfer gezählt, waren es 2002 noch deren 418 [1].

Auf den National- und Kantonsstrassen im Kanton Bern hat die Polizei in den letzten zehn Jahren 42'800 Verkehrsunfälle registriert. Dabei wurden 23'500 Personen verletzt und 512 getötet. Bei vier Unfällen wurden Personen direkt von Steinschlägen getroffen. 280 andere Unfälle wurden von Hindernissen auf der Strasse verursacht, ohne dass man jedoch unterscheiden könnte, ob es sich um Steine oder Felsblöcke handelte. Zwei Personen wurden dabei getötet und 81 verletzt. Die durch Steinschlag verursachten Unfälle machen also weniger als 0.5% aller Unfälle aus. Auch die Anzahl der Verletzten und der Toten und die Sachschäden machen weniger als 0.5% der Gesamtschäden aus.

In den letzten fünf Jahren wurden in der Schweiz durch von Steinschlägen verursachte Unfälle schätzungsweise drei bis acht Personen pro Jahr verletzt. Drei Todesfälle in den letzten 10 Jahren sind bekannt.

Es darf daraus geschlossen werden, dass die auf den Schweizer Strassen von Steinschlag verursachten Personenschäden verglichen mit den von Verkehrsunfällen verursachten Personenschäden statistisch gesehen von geringer Bedeutung sind. Hingegen erfährt diese Art Unfälle in der Öffentlichkeit eine niedrige Akzeptanz (siehe unten Ziff. 9.3 und Anhang 6).

3.5 Vergleich mit anderen Naturgefahren

Die in anderen Naturgefahren begründeten Gefahrenpotentiale für den Strassenverkehr sind sehr unterschiedlicher Art.

- Überschwemmungen und Hochwasser wirken in erster Linie durch Unterspülung von Berghängen oder Fundamenten von Kunstbauten und durch Schlamm- oder Gesteinsströme auf Fahrbahnen. Im Extremfall können plötzliche Erdbeben an der Oberfläche entstehen, die einen Einsturz des Strassenkörpers und der Kunstbauten verursachen. Personen sind in der Regel von solchen Ereignissen mittelschwer betroffen, die Materialschäden sind hingegen hoch. Solche Ereignisse sind nicht sehr häufig.
- Lawinen haben eine direkte Einwirkung auf die Verkehrswege und ihre Benutzer. Die Folgen für die davon betroffenen Personen sind in der Regel schwerwiegend. Die Fahrbahnen bleiben einige Zeit verschüttet und daher geschlossen, und die materiellen Schäden sind gering. Solche Ereignisse sind häufig.
- Rutschungen wirken entweder durch langsame Verformungen oder starke Beschleunigung von instabilem Gelände auf Fahrbahnen und Bauwerke ein. Spontanrutschungen oder Schlamm- und Gesteinsströme können die Bauwerke zerstören und die Fahrbahnen verschütten. Personen sind in der Regel von solchen Ereignissen mittelschwer betroffen, die Materialschäden sind hingegen hoch. Erdbeben sind häufig. Nur wenn sie schnell abgehen, stellen sie eine hohe Gefahr für Menschen dar.

- Die Erdbebengefahr kann ein grosses Gebiet betreffen. Sie hat keine spezifische Eigenschaft, die im Zusammenhang mit dem Strassenverkehr zu beachten wäre. Die daraus folgenden Personen- und Sachschäden sind potentiell sehr hoch. Solche Ereignisse sind nicht häufig. Sie können andere Naturgefahren verursachen und auslösen.
- Stürme und Orkane haben meistens indirekte Wirkungen auf den Verkehr, indem durch ihre Wucht Hindernisse (z.B. Bäume) auf die Fahrbahn geworfen werden.
- Der Blitz hat eine direkte, sehr zufällige Wirkung, von der in der Regel in der Schweiz 8 bis 10 Personen pro Jahr sehr schwer betroffen sind. Personen, die sich in Fahrzeugen befinden, sind in der Regel von dieser Gefahr nicht bedroht. Hagel beschädigt v.a. Sachen und Umwelt. Personen werden davon nicht direkt geschädigt.

Das Gefahrenpotential des Steinschlags ist also im Vergleich mit anderen Naturgefahren eher gering.

Die für das Bundesamt für Zivilschutz erstellte Studie KATANOS enthält eine vergleichende quantitative Auswertung [4]. Darin werden die jährlichen Kosten der durch die verschiedenen Naturkatastrophen generierten Risiken für Personen und Sachwerke in der Schweiz beziffert und vergleichend dargestellt (Beilage 1).

3.6 Betroffene Kantone und Nationalstrassen

Steinschlagschäden entstehen naturgemäss in Bergregionen oder sehr steilen Gebieten. In der Schweiz sind 14 Kantone mit ihren Nationalstrassen mehr oder weniger stark von dieser Naturgefahr betroffen (Beilagen 3 und 4).

4. SCHUTZBAUTEN AUF DEM NATIONALSTRASSENNETZ

Das Inventar der bestehenden Steinschlagschutzbauten auf dem Nationalstrassennetz wurde aufgrund einer bei den Kantonen durchgeführten Umfrage erstellt.

Im Januar 2003 wurde eine erste Umfrage zwecks einer sofortigen Kontrolle der Tunneleingänge gemacht. Mit der zweiten Umfrage vom April 2003 wollte die "ExGr" erfahren, in welchem Masse die Nationalstrassen in den verschiedenen Kantonen dem Steinschlag ausgesetzt sind und die zu treffenden Massnahmen definieren. Die den Kantonen zugestellten Briefe und Formulare befinden sich in der Beilage 2.

Die Ergebnisse der Umfragen bezüglich Tunneleingänge befinden sich in der Beilage 3, diejenigen, die sich auf die Intensität der Steinschlaggefahr in den Kantonen beziehen in der Beilage 4.

Steinschlaggefahr in den verschiedenen Kantonen:

- Zwölf Kantone oder Halbkantone sind von dieser Naturgefahr nicht betroffen, jedenfalls in Bezug auf ihre Nationalstrassen. Es sind dies die Kantone AI – AG – AR – BS – FR – GE – LU – NE – SH – TG – ZG – ZH.
- In sieben anderen Kantonen oder Halbkantonen ist die Gefahr nicht so gross, dass der Bau von Galerien notwendig gewesen wäre (oder nur sehr punktuell, z.B. an Tunnelleingängen). Es wurden jedoch andere Schutzvorrichtungen installiert: BE – BL – JU – SG – OW – SO – VD.
- Die restlichen sieben Kantone und Halbkantone sind der Steinschlaggefahr in hohem Masse ausgesetzt: GL (A3) – GR (A13 und A28) – NW (A2) – SZ (A4/Axenstrasse) – TI (A02P/Gotthardpass) – UR (A2) – VS (A9/Simplon).

Die Gefahr ist nicht überall gleich gross, sondern auf spezifische Strassenabschnitte konzentriert.

Anzahl und Umfang der bestehenden Schutzbauten

- Galerien: 56 Galerien mit einer Gesamtlänge von 14 km und einer Gesamtoberfläche von 180'000 m². Die meisten von ihnen (51) wurden vor 1998 gebaut (Herausgabe der ASTRA-Richtlinie über die Einwirkung auf Steinschlagschutzgalerien).
- Schutznetze jeglicher Art: 276 ausgerüstete Standorte mit einer gesamten Netzlänge von 28 km.
- Schutzwände, Palisaden: 50 ausgerüstete Standorte mit einer Gesamtlänge von 4.7 km.
- Schutzwälle: 106 ausgerüstete Standorte mit einer Gesamtlänge von 8.2 km.
- Bauliche Schutzmassnahmen in der Felswand: 100 stabilisierte und verstärkte Wände und 29 instrumentierte Wände. Zu erwähnen ist zudem die Benutzung von 12 Wäldern über 24 km als Schutzwälder im Kanton Uri.

Für die nächsten Jahre sind sechs Schutzmassnahmen oberhalb oder in der Nähe der Strasse und sieben in der Wand geplant und angekündigt.

Zu diesem Inventar der aktiven und direkten Schutzmassnahmen müssten noch die passiven Massnahmen hinzugezählt werden, wie z.B. die Wahl des Strassenverlaufs, um eine Gefahrenzone zu umfahren oder sie in einem Tunnel zu durchfahren.

Bemerkung zur Repräsentativität

Das Bild, das diese Resultate und vor allem die Karte der Beilage 4 vermitteln, muss mit Vorbehalt interpretiert werden. Es stellt die Situation der Nationalstrassen dar, nicht jedoch die reelle Steinschlaggefahr in den Kantonen. Vermutlich sind mehr Kantone der Steinschlaggefahr stark ausgesetzt und weniger Kantone nur wenig exponiert.

Die schweizerischen Hauptstrassen, zu denen mehrere alpine Pässstrassen gehören, zählen ebenfalls zu den Verkehrswegen, für welche die Eidgenossenschaft zuständig ist. Auch die Kantonsstrassen, zu deren Schutz die Eidgenossenschaft in Anwendung des MinVG beitragen muss, gehören dazu.

5. BEKANNTE EREIGNISSE

5.1 Inventare und Statistiken

Vermutlich verursachen viele Steinschläge keine offenkundigen Folgen für die Strassenbenützer oder den Verkehr. Mangels eines einheitlichen Gesamtinventars können keine objektiven Zahlen genannt werden.

Mehrere Kantone führen ein Kataster dieser Ereignisse. Im Rahmen der aktuellen Tätigkeit der "ExGr" wird keine Synthese dieser Kataster vorgenommen. Die durch die "ExGr" bei den Kantonen durchgeführte Umfrage liefert einige grundsätzliche Angaben über das Ausmass der Unfälle infolge von Steinschlag auf den Nationalstrassen (Beilage 4):

- Auf den Nationalstrassen wurde niemand infolge von Steinschlägen getötet oder verletzt;
- In 39 Fällen wurden von den Kantonen Beschädigungen von Bauwerken, Infrastrukturen und Ausrüstungen gemeldet (siehe auch Beilage 5).

Diese Bilanz muss als sehr vorteilhaft und "glücklich" angesehen werden. Insbesondere angesichts der jüngsten Ereignisse auf der A8, der Axenstrasse und der A2 hätten die Folgen der relativ hohen Anzahl Steinschläge, die sich ereignet haben, viel dramatischer sein können. Es wäre allerdings verfehlt, aus diesen Resultaten Schlüsse zu ziehen. Die Steinschlaggefahr ist für die Nationalstrassen nicht dominant, aber sie ist konkret vorhanden. Auf andern Strassen wurden mehrere Personen bei Steinschlagunfällen getötet.

5.2 Ereignis-Kataster StorMe

Die Forstdirektion im BUWAL hat seit 1996 die Entwicklung eines computergestützten Katasters an die Hand genommen, der zum ersten Modul eines zukünftigen globalen Naturgefahreninformationssystems werden soll. Seit 1998 steht eine Extraweb-Datenbank mit der Bezeichnung "StorMe" zur Verfügung. Alle Kantone sollten nun von den Vorteilen dieses Instruments überzeugt werden, damit die retrospektive statistische Gefahrenanalyse darauf aufgebaut werden kann. Momentan erfassen 15 Kantone ihre Daten mit diesem System. In acht Kantonen führen die für die Nationalstrassen verantwortlichen Abteilungen verschiedene Formen von Ereigniskatastern. Im Allgemeinen wird jedoch erst seit kurzem systematisch Buch geführt. Eine Ausnahme bildet der Kanton Uri, der seit 1957 über solche Daten verfügt. Nur zwei Kantone (BE, SG) benützen dazu StorMe. Sie stellen fest, dass die Datenbearbeitung (zu) arbeitsintensiv ist. Dieses Hilfsmittel scheint in mehreren Kantonen wenig oder gar nicht bekannt zu sein.

Ein Exemplar des StorMe-Erfassungsformulars findet sich in der Beilage 9 und enthält die grundlegenden zu erfassenden Daten und die wichtigsten Prozesse "Lawine", "Steinschlag oder Felssturz", "Überschwemmung/Hochwasser/Murgang", "Rutschung".

5.3 Bedeutende bekannte Ereignisse

Im Jahre 2003 haben sich auf den Nationalstrassen mehrere Unfälle ereignet. Diese und andere mehr oder weniger bedeutende Unfälle sind von der "ExGr" besprochen worden. Sie sind in der Beilage 5 aufgeführt, mit einer zusammenfassenden Beschreibung der Ereignisse, ihrer Intensität und ihren wichtigsten Folgen für Personen und Sachen.

Selbst wenn sie weniger ins Gewicht fallen als andere Naturgefahren sind Steinschlagsereignisse nicht äusserst selten. Auch die Nationalstrassen sind manchmal davon betroffen. Steinschläge können sehr verschiedene Folgen haben, die teilweise in keinem direkten Bezug zu ihrer Intensität stehen. Der so ins Spiel gebrachte Begriff "Glück" hängt mit der vierten Dimension – dem Parameter "Zeit" – zusammen. Dieser Parameter ist in erster Linie mit dem Schadenspotential verbunden, das diese Art Naturgefahr für Personen in sich birgt.

Es ist hervorzuheben, dass in mehreren Fällen Bauwerke, die nicht speziell für Einwirkungen dieser Art und Intensität vorgesehen und gebaut waren, sich äusserst gut verhalten haben.

6. RECHTSLAGE

6.1 Anzuwendende gesetzliche Bestimmungen

Der Gesetzgeber hat die Notwendigkeit, die Naturgefahren zu identifizieren und bei der Ausübung der menschlichen Tätigkeiten mit ihnen zu rechnen gesetzlich verankert. Das Bundesrecht sieht die zu treffenden Massnahmen in mehreren Gesetzen vor.

Die eingeschlagene Politik bezweckt, das Risiko auf ein akzeptables Niveau zu senken und dabei die Kosten (Proportionalität), den Nutzen und die Wirksamkeit zu berücksichtigen [5].

Wichtigste Rechtsgrundlagen:

- Obligationenrecht, Art. 58:

¹ Der Eigentümer eines Gebäudes oder eines andern Werkes hat den Schaden zu ersetzen, den diese infolge von fehlerhafter Anlage oder Herstellung oder von mangelhafter Unterhaltung verursachen.

Diese Bestimmung legt die grundsätzliche Haftpflicht des Werkeigentümers fest.

– Bundesgesetz über die Nationalstrassen (NSG), Art. 5:

¹ Die Nationalstrassen haben hohen verkehrstechnischen Anforderungen zu genügen; sie sollen insbesondere eine sichere und wirtschaftliche Abwicklung des Verkehrs gewährleisten

Diese Bestimmung gibt die Absicht des Gesetzgebers bezüglich dem Anforderungsniveau wieder.

– Bundesgesetz über die Verwendung der zweckgebundenen Mineralölsteuer (MinVG), 6. Abschnitt:

"Beiträge an Schutzbauten gegen Naturgewalten längs Strassen".

Diese Bestimmungen legen das Prinzip und die Höhe der Bundesbeiträge fest. Sie verweisen bezüglich Höhe auf die Bundesgesetzgebung betreffend Forstpolizei, Wasserpolizei und Nationalstrassen.

– Bundesgesetz über die Raumplanung (RPG), Art. 6:

² Sie (die Kantone) stellen fest, welche Gebiete

c) durch Naturgefahren oder schädliche Einwirkungen erheblich bedroht sind.

Diese Bestimmungen übertragen den Kantonen die Aufgabe die Gefahrenzonen festzustellen und zu definieren.

– Bundesgesetz über den Wald (WaG), Art. 1, 19, 36:

Art. 1

² Es (das Gesetz) soll ausserdem dazu beitragen, dass Menschen und erhebliche Sachwerte vor Lawinen, Rutschungen, Erosion und Steinschlag (Naturereignisse) geschützt werden.

Art. 19

Wo es der Schutz von Menschen oder erheblichen Sachwerten erfordert, sichern die Kantone die Anrissgebiete von Lawinen sowie Rutsch-, Erosions- und Steinschlaggebiete und sorgen für den forstlichen Bachverbau. Für die Massnahmen sind möglichst naturnahe Methoden anzuwenden.

Art. 36

Der Bund leistet Abgeltung bis zu 70 Prozent der Kosten von Massnahmen, die zum Schutz von Menschen und erheblichen Sachwerten vor Naturereignissen angeordnet werden, namentlich an die Kosten für:

- a. die Erstellung und Wiederinstandstellung von Schutzbauten und -anlagen;
- b. die Schaffung von Wald mit besonderer Schutzfunktion sowie die entsprechende Jungwaldpflege;
- c. die Erstellung von Gefahrenkatastern und Gefahrenkarten, die Einrichtung und den Betrieb von Messstellen sowie den Aufbau von Frühwarndiensten zur Sicherung von Siedlungen und Verkehrswegen.

Diese Bestimmungen legen den Schutzwillen, die Aufgabenübertragung an die Kantone und die finanzielle Beteiligung des Bundes an den Kosten für die getroffenen Massnahmen fest.

– Verordnung über den Wald (WaV) Art. 15:

Art. 15 Grundlagen

- ¹ Die Kantone erarbeiten die Grundlagen für den Schutz vor Naturereignissen, insbesondere Gefahrenkataster und Gefahrenkarten;
- ² Bei der Erarbeitung der Grundlagen berücksichtigen sie die von den Fachstellen des Bundes durchgeführten Arbeiten und aufgestellten technischen Richtlinien;
- ³ Die Kantone berücksichtigen die Grundlagen bei allen raumwirksamen Tätigkeiten, insbesondere in der Richt- und Nutzungsplanung.

Diese Bestimmungen legen die Modalitäten für die Erarbeitung der Grundlagen durch die Kantone fest. Im Übrigen nennt Art. 39 die Voraussetzungen für die Auszahlung von Bundesbeiträgen. Art. 42 definiert die Abstufungen der Abgeltung. Art. 43 bezieht die Kosten für die Erstellung von Gefahrenkatastern und –karten in die Abgeltung ein.

– Bundesgesetz über den Wasserbau (WBG) Art. 3 und 6:

Art. 3 Massnahmen

- ¹ Die Kantone gewährleisten den Hochwasserschutz in erster Linie durch den Unterhalt der Gewässer und durch raumplanerische Massnahmen;
- ² Reicht dies nicht aus, so müssen Massnahmen wie Verbauungen, Eindämmungen, Korrekturen, Geschiebe- und Hochwasserrückhalteanlagen sowie alle weiteren Vorkehrungen, die Bodenbewegungen verhindern, getroffen werden;
- ³ Diese Massnahmen sind mit jenen aus anderen Bereichen gesamthaft und in ihrem Zusammenwirken zu beurteilen.

Art. 6 Abgeltungen an wasserbauliche Massnahmen

- ¹ Der Bund leistet im Rahmen der bewilligten Kredite Abgeltungen an die Kantone mit mittlerer und schwacher Finanzkraft für Massnahmen des Hochwasserschutzes, namentlich für:
 - a) die Erstellung von Schutzbauten und Anlagen;
 - b) die Erstellung von Gefahrenkatastern und Gefahrenkarten, die Einrichtung und den Betrieb von Messstellen sowie den Aufbau von Frühwarndiensten zur Sicherung von Siedlungen und Verkehrswegen.
- ² Abgeltungen werden nur gewährt, wenn die vorgesehenen Massnahmen auf einer zweckmässigen Planung beruhen und die gesetzlichen Anforderungen erfüllen;
- ³ An Unterhaltmassnahmen werden keine Abgeltungen gewährt.

– Verordnung über den Wasserbau (WBV) Art. 20, 22 und 27:

Art. 20 Richtlinien

Das Bundesamt erlässt Richtlinien namentlich über:

- a) die Anforderungen an den Hochwasserschutz, die Massnahmen des Hochwasserschutzes und die Renaturalisierung von Gewässern;
- b) die Erstellung der Gefahrenkataster und -karten; und
- c) die Erstellung der Abrechnung über die Abgeltungen und Finanzhilfen.

Art. 22 Überwachung

Die Kantone überprüfen periodisch die Gefahrensituation an den Gewässern und die Wirksamkeit der getroffenen Massnahmen des Hochwasserschutzes.

Art. 27 Grundlagenbeschaffung durch die Kantone

¹ Die Kantone:

- a) führen Inventare über Bauten und Anlagen, welche für die Hochwassersicherheit von Bedeutung sind;
- b) führen Gefahrenkataster;
- c) erstellen Gefahrenkarten und führen sie periodisch nach;
- d) erheben den Zustand der Gewässer und ihre Veränderung;
- e) dokumentieren grössere Schadenereignisse; und
- f) richten die im Interesse des Hochwasserschutzes erforderlichen Messstellen ein und betreiben sie.

² Sie berücksichtigen die vom Bund erhobenen Grundlagen und seine technischen Richtlinien;

³ Sie stellen die Daten den Fachstellen des Bundes zur Verfügung.

Diese Bestimmungen sind ähnlich wie diejenigen der Waldgesetzgebung.

– Eisenbahngesetz (EBG), Art. 17, Abs. 4:

Die Bahnunternehmungen sind im Rahmen der Vorschriften für den sicheren Betrieb der Bahnanlagen und Fahrzeuge verantwortlich. Sie haben die für einen sicheren Betrieb erforderlichen Vorschriften aufzustellen und dem Bundesamt vorzulegen.

– Eisenbahnverordnung (EBV), Art. 10:

Die Bahnunternehmungen sind für die vorschriftsgemässe Erstellung, den sicheren Betrieb und die Instandhaltung der Eisenbahnanlagen und Fahrzeuge verantwortlich.

Diese Bestimmungen verpflichten die Bahnunternehmungen, für einen sicheren Betrieb zu sorgen und legen die Aufgaben der Aufsichtsbehörde (BAV) im Zusammenhang mit den erlassenen Vorschriften fest.

6.2 Aufgaben, Kompetenzen und Verantwortlichkeiten bezüglich der Nationalstrassen

Grundsätzlich sind die Aufgaben, Kompetenzen und Verantwortlichkeiten der Kantone als Werkeigentümer und Bauherren und diejenigen des ASTRA als Oberaufsichtsbehörde und Finanzierungsorgan festgelegt. In Bezug auf den Steinschlagschutz gelten keine besonderen Regeln.

Hingegen gibt es auf diesem Gebiet Verpflichtungen, Empfehlungen und Informationen aus anderen Ämtern oder Institutionen. Insbesondere spielen eine Rolle: das BUWAL/Forstdirektion, das BWG, das BWW und das BRP, die eidgenössische Kommission EKLS und subsidiär das BABS, das BAV und das BFS. In diesem Zusammenhang sind auch zu nennen: die WSL, die besonderen Projekte PLANAT (vom BWG), KATARISK und NAHRIS (vom BABS), Institute der ETH und kantonale Stellen, v.a. das CREALP (VS).

Es ist schwierig, sich eine Gesamtübersicht über die Steinschlagereignisse und die getroffenen Schutzmassnahmen zu verschaffen, weil die Zuständigkeiten und Aufgaben auf die verschiedensten Ämter und Institutionen verteilt sind. Zusammenarbeit und Koordination sind generell noch zu wenig institutionalisiert. Zwischen den Kantonen bestehen auch grosse Unterschiede. Um die gewünschten Fortschritte im Steinschlagschutz zu erzielen, ist die interdepartementale Zusammenarbeit auf allen Ebenen unbedingt zu fördern.

Unter den verschiedenen Ämtern sind Koordinationsschritte in dieser Richtung im Gang. Die Beilage 10 enthält in Form einer Koordinationsmatrix die vorgesehene Behandlungsart für Schutzmassnahmen gegen Naturgefahren (Vorgehensweise bei der Realisierung von Schutzmassnahmen) entlang von Strassen, deren Beachtung zu Bundesbeiträgen in Anwendung des MinVG berechtigt.

Offenbar fehlen im Rahmen der durch das BAV ausgeübten Oberaufsicht solche Bestimmungen für die Eisenbahnen.

7. ELEMENTE DER STEINSCHLAGTHEMATIK

7.1 Definitionen

Der hier gebrauchte Begriff "Steinschlag" bezeichnet gewisse Arten von abgegrenzten Ereignissen, die folgendermassen definiert werden:

- Aufschlagen von einzelnen, mehr oder weniger isolierten Steinen ($\varnothing < 50$ cm) und Blöcken ($\varnothing > 50$ cm), die einen Hang herunterfallen, -rollen, -rutschen oder -springen. Die Fallgeschwindigkeiten bewegen sich zwischen 5 und

30 m/s (im freien Fall mehr). Anstelle von Steinen kann es sich auch um Eisklumpen oder -blöcke handeln.

- Grössere Felsstürze ($100 \text{ à } 100'000 \text{ m}^3$), die während des Sturzes oder beim Aufprall in Blöcke und Steine fraktioniert werden, wobei die Interaktionen zwischen den Komponenten keinen massgebenden Einfluss auf die Dynamik des Vorgangs haben. Die Geschwindigkeiten liegen ungefähr zwischen 10 und 40 m/s. Die Aufschlagdauer der Komponenten liegt ungefähr bei 0.05 s.

Bergstürze, definiert als Abstürze von sehr grossen, im ursprünglichen Felsverband mehr oder weniger kohärenten Felsmassen ($>1 \text{ Mio. m}^3$), unter Erreichung hoher Geschwindigkeiten, wobei der Transportmechanismus durch eine starke Wechselwirkung zwischen den Komponenten gekennzeichnet ist wurden von der "ExGr" nicht in das hier behandelte Thema aufgenommen. Diesem Gefahrentyp muss, sobald er erkannt ist, hauptsächlich durch passive Massnahmen, d.h. Änderungen der Linienführung beigegeben werden.

7.2 Elemente der Steinschlagthematik

Der Vorgang Steinschlag beinhaltet mehrere Aspekte / Gebiete, die verschiedenen Disziplinen und Spezialisten zuzuordnen sind. Für die durch die "ExGr" erstellte Situationsanalyse wurden sie folgendermassen unterschieden:

- Erkennen und charakterisieren der potentiellen Gefahr, erstellen von Inventaren und Gefahrenkarten (mobilisierbares Volumen, Definition der Blockgrösse, Wahrscheinlichkeiten, Flugbahnberechnungen);
- Risikoanalyse, Definition des Schutzgrades und der akzeptierten Risiken, Beurteilung der Zweckmässigkeit der Schutzmassnahmen;
- Schutzmassnahmen oberhalb der Fahrbahnen;
- Schutzmassnahmen auf der Höhe der Fahrbahnen;
- Vorschriften über die Dimensionierung von Schutzbauten;
- Überwachungs- und Alarmeinrichtungen und -strategien (Miteinbezug des Restrisikos) ;
- Überprüfung der bestehenden Bauten und eventuell Analyse der bekannten und dokumentierten Unfälle.

Die "ExGr" hat den gegenwärtigen Wissensstand, die aktuellen Hilfsmittel und Vorgehensweisen auf diesen Gebieten ermittelt.

8. GEFAHRENPOTENTIAL

8.1 Gegenstand

Mögliche Gefahren an Hängen und in Felswänden oberhalb der Fahrbahn sollen erkannt und gegebenenfalls charakterisiert werden. Die daraus gewonnenen Informationen und Ergebnisse sind schriftlich festzuhalten und aufzubewahren. Insbesondere müssen Gefahrenkarten erstellt werden, die später als grundlegendes Instrument für die Überwachung und Planung dienen.

Die Einschätzung der potentiellen Gefahren einer Wand umfasst folgende Aspekte:

- Steinschlagsprädisposition einer Wand;
- Ausdehnung der dem Steinschlag ausgesetzten Zone;
- Steinschlagwahrscheinlichkeit;
- Intensität des Steinschlags, zu erwartende Energien (Massen und Geschwindigkeiten).

8.2 Hilfsmittel und Kenntnisstand

Steinschlagsprädisposition einer Wand

Die Einschätzung einer solchen Prädisposition beruht auf:

- der geologischen Untersuchung und
- der Geschichte.

Für die geologische Untersuchung verfügt man über alle aktuellen Hilfsmittel der Geologen, insbesondere für eine strukturelle und geomechanische Analyse des Gesteinsmassivs, die visuellen und instrumentenunterstützten Untersuchungen am Ort, die Modellierung der Verhaltensweisen.

Unter "Geschichte" versteht man alle erinnerten Daten, die vergangene Ereignisse betreffen. Das können Chroniken oder die Erinnerungen der örtlich zuständigen Personen sein. Es können auch Phänomenkarten sein, die alle auf Steinschlag hinweisenden am Ort beobachteten Zeichen enthalten ("stumme Zeugen"), Ereigniskataster oder bestehende Gefahrenkarten.

Ausdehnung der dem Steinschlag ausgesetzten Strassenzone

Die exponierte Zone setzt sich aus der Zone, in der sich Gestein lösen kann und aus der Zone, in welcher sich die den Hang herunterrollenden und -springenden Blöcke verteilen können, zusammen.

Die dafür zu benutzenden Hilfsmittel sind dieselben wie die oben beschriebenen, ergänzt durch Flugbahnsimulationen, die sich auf kartographische Daten und

Erhebungen, die charakteristischen Reaktionen des Terrains und die Geometrie der Blöcke stützen.

Steinschlagwahrscheinlichkeit

Die voraussehbare Häufigkeit oder Wahrscheinlichkeit von physikalisch möglichen Ereignissen stellt einen für die Ermittlung der potentiellen Gefahr notwendigen Parameter dar. Im Allgemeinen setzt ihre Schätzung die Definition von Szenarien "Umfang der Masse – entsprechende Häufigkeit" voraus. Es ist wichtig, dass diese Schätzungen begründet und nachvollziehbar sind.

Die Hilfsmittel, die für solche Schätzungen zur Verfügung stehen sind in erster Linie die oben erwähnten geologischen Studien. Hinzu kommen die Analysen der dynamischen Entwicklungsarten der Bewegungen (andauernd, jahreszeitlich bedingt, einmalig, etc.) entsprechend den geologischen und physikalischen Mechanismen, die im Spiel sind.

Die statistischen Analysen der Ereigniskataster wären ein einfaches, wirksames und verlässliches Instrument. Jedoch sind die vorhandenen Daten selten genügend.

Wenn Steinblöcke auf den Hängen verteilt sind, erlauben die Flugbahnsimulationen solche Wahrscheinlichkeiten zu bestimmen. Diese Werte hängen jedoch direkt mit den Annahmen bezüglich Bedingungen für die Loslösung der Blöcke zusammen.

In diesem Parameter können Grössenordnungsergebnisse erwartet werden. Sie sind im Allgemeinen verlässlich und vermitteln eine Idee der Verteilungsart nach der Wahrscheinlichkeitslehre.

Intensität des Steinschlags, zu erwartende Energie

Die zu erwartenden Energien in den Aufprallzonen (hauptsächlich Massen und Geschwindigkeiten) sind für die Konzeption und Dimensionierung der Schutzbauten ausschlaggebend.

Zur Berechnung der zu erwartenden Energien dienen die bereits erwähnten Untersuchungen und Analysen, d.h. geologische Untersuchungen, Intuitivanalysen, Statistiken von bekannten und katastrierten Ereignissen sowie Flugbahnsimulationen.

Die auf diesen Methoden beruhenden Resultate sind ziemlich verlässlich. Hingegen werden die angegebenen Werte der Massen je nach Auftretenswahrscheinlichkeit sehr variieren: Die Massen können um mehrere Grössenordnungen variieren, je nachdem ob sie den "gewohnten und normalen" (regelmässig vorkommenden und häufigen) oder den "zufälligen und aussergewöhnlichen" (seltenen oder einzigartigen) Ereignissen zugeordnet werden.

8.3 Gefahreninventar

Das Gefahreninventar enthält ein retrospektives und ein prospektives Element:

- Der Kataster der vergangenen Ereignisse;
- Die Gefahrenkarten.

Die Kataster der eingetretenen und festgestellten Ereignisse werden in den verschiedenen Kantonen unterschiedlich erstellt und geführt. Je nach Kanton sind verschiedene Stellen dafür zuständig; Hilfsmittel, Inhalte, Erscheinungsformen und Umfang der bestehenden Kataster sind sehr unterschiedlich.

Die Eidgenössische Wald- und Wasserpolizeigesetzgebung verpflichtet die Kantone zur Erstellung von Ereigniskatastern und Gefahrenkarten für alle Naturgefahren.

In diesem Zusammenhang ist der vom BUWAL mit einigen Pilotkantonen entwickelte, computergestützte Kataster StorMe als erstes Modul eines zukünftigen Naturgefahreninformationssystems allen Kantonen zum allgemeinen Gebrauch zu empfehlen (vgl. Ziff. 5.2 und Beilage 9).

In Bezug auf die Gefahrenkarten ist die Situation in den Kantonen ähnlich. Es besteht kein einheitliches System.

Die bestehenden Gefahrenkarten sind je nach der darin aufgenommenen Informationen sehr unterschiedlich. Man unterscheidet hauptsächlich zwischen "Gefahrenhinweiskarten" (GHK: Anzeichen für Gefahren, ohne Hinweis auf die Intensität und die Wahrscheinlichkeit) und "Gefahrenkarten" (GK: mit allen Informationen und so genau, dass es möglich ist, konkrete Entscheide zu treffen). Diese Karten werden vor allem zu raumplanerischen Zwecken entwickelt und als solche genutzt.

Die Einzelheiten, aus denen sich das Gefahreninventar zusammensetzt, sind sehr wichtig für die Einschätzung und Warnung vor potentiellen Gefahren.

9. RISIKOANALYSE UND SCHUTZZIELE

9.1 Gegenstand

Definitionsgemäss ist das Risiko die Kombination (mathematischer Erwartungswert) von potentiellen Gefahren und zugehörigem Schadenspotential:

$$\Sigma (R) = \Sigma (Dg \times Do)$$

mit:	R:	Risiko, d.h. Ausmass der Folgen während einer zum voraus festgelegten Zeitspanne Z.B. [z Tote / Jahr]
	Dg:	Gefahr, d.h. Häufigkeit von Ereignissen von einer vorgegebenen Intensität (I) während einer zum voraus festgelegten Zeitspanne Z.B. [x Steinblöcke (I) / Jahr]
	Do:	Schaden, d.h. Folgen eines Ereignisses von einer zum voraus festgelegten Intensität Z.B. [y Tote / Steinblöcke (I)].

Das Gesamtrisiko ist die Summe der individuellen Risiken, die für die voraussehbaren verschiedenartigen und unterschiedlich heftigen Ereignisse an einer gewissen Stelle errechnet werden.

Das Risiko wird hinsichtlich eines bestimmten Kriteriums ausgedrückt. Das können in unserem Fall die Anzahl Tote oder Verletzte oder die dadurch ausgelösten Kosten sein.

Dieser "Risiko"-Wert wird einem Schutzziel gegenübergestellt, das nach anderen Kriterien bestimmt wird. Aus dieser Gegenüberstellung kann rein logisch, mit der nachfolgend aufgeführten Gleichung, auf die zu treffenden Schutzmassnahmen (im Allgemeinen baulicher Art), die akzeptierten Risiken und allenfalls auf zusätzliche Sicherheitsmassnahmen (im Allgemeinen organisatorischer Art) geschlossen werden.

$$\Sigma (P + S + Ra) \geq \Sigma R$$

mit : **P:** Massnahmen zum Schutz vor dem Risiko
 S: Zusätzliche Massnahmen um das Risiko zu verkleinern
 Ra: In Kauf genommenes Risiko.

9.2 Risikoermittlung

Die Bestimmung der potentiellen Gefahr (vgl. Ziff. 8), d.h. die Bestimmung der Art des Ereignisses, seiner geographischen Lokalisierung und seiner topographischen Ausdehnung, die Beurteilung seiner voraussehbaren Intensität und die Einschätzung seiner Eintretenswahrscheinlichkeit gehören ins Fachgebiet des Geologen. Die einschlägigen Methoden und Hilfsmittel existieren und sind den Fachleuten bekannt. Im Wallis wird ein solches Verfahren seit vielen Jahren mit Erfolg angewandt. Die Beilage [12] beschreibt dieses Vorgehen in Form eines Modellberichts für die Wandanalyse.

Die Beurteilung des Schadens oder der Schäden obliegt dem Ingenieur, der über die zur Beurteilung nötigen Kenntnisse und Hilfsmittel verfügt. Mit Hilfe dieser beiden Berechnungselemente kann die Risikobestimmung realistisch und begründet vorgenommen werden.

Die Bestimmung der Frequenz (oder der Wahrscheinlichkeit) der erkannten möglichen Ereignistypen stellt die grösste Schwierigkeit dar. Dabei ist es entscheidend, dass das Risiko für möglichst viele Szenarien bestimmt wird und zwar je nach Art der physikalischen bzw. geologischen Mechanismen und entsprechend der Intensität der Ereignisse, für welche eine vernünftige Eintretenswahrscheinlichkeit angegeben werden kann.

9.3 Schutzziel – Akzeptierte Risiken

Schutzziel ist ein konventioneller, nicht wissenschaftlicher Begriff. Es wird auf Grund einer expliziten oder impliziten Entscheidung der "Gesellschaft" oder durch Fachleute festgelegt. Es wird in denselben Grössen ausgedrückt wie das Risiko, d.h. die Anzahl der in Kauf genommenen Toten oder Verletzten, übernommene Kosten oder in Kauf genommene Zeitspanne, während der eine Fahrbahn nicht befahrbar ist (Ausserbetriebsetzung). Es schliesst zwangsläufig, als logische Folge, ein akzeptiertes Risiko mit ein.

Das Schutzziel ist nicht eindeutig. Es hängt von der Schadensart ab, vom Eigentümer, der für die entstandenen Schäden verantwortlich ist, von der Antwort auf die Frage, ob sich der Strassenbenutzer dem Risiko unfreiwillig oder freiwillig ausgesetzt hat. Es kann auch vom Umfang der Mittel abhängen, die nötig wären, um den Schutz zu verbessern. Die Wahl eines Schutzziels liegt meistens in historischen Gegebenheiten und den gesellschaftspolitischen und wirtschaftlichen Möglichkeiten begründet, verbunden mit der Akzeptanz der individuellen Risiken durch die Bevölkerung.

Die Beilage 6 enthält zwei Beispiele von Kriterien und Werten im Zusammenhang mit der Akzeptanz des Todesrisikos durch die Gesellschaft.

Für den Spezialfall Steinschlag sind keine Schutzziele definiert. In einigen Kantonen (z.B. BE) existieren Teilvorschläge (qualitativer Art). In Bezug auf andere Naturgefahren existieren Regeln oder Weisungen (z.B. Hochwasserschutz / URI [7], BWG [13], [14], BUWAL [15]).

Hingegen scheinen in der Schweiz keine Daten bezüglich der Problematik der rechtlichen Akzeptanz von Regeln, die auf diesem Gebiet eine Entscheidung erlauben würden, zu existieren. Zudem ist eine Übernahme von allfälligen Untersuchungen aus andern Ländern wegen der unterschiedlichen Rechtssysteme nicht ohne weiteres möglich.

10. SCHUTZMASSNAHMEN OBERHALB DER FAHRBAHN

Gemeint sind damit alle Eingriffe ausserhalb des Strassentrasses (Tunnel, Galerie, Viadukt oder Lehnenviadukt), die die Gefahr bannen oder wenigstens ihre zerstörerische Wirkung vermindern. Dabei handelt es sich um künstliche Massnahmen in Ergänzung oder als Ersatz für die Aufforstungen, mit denen vor mehr als einem Jahrhundert unter der Aegide der Eidgenossenschaft im Kampf gegen Lawinen und Bodenerosion begonnen wurde.

10.1 Schutzwald

Der Wald ist ein bewährter Schutz vor Bodenerosion, Lawinen und Steinschlag. Ein Schutzwald mit voll ausgebildeter Bestockung (das bedeutet mindestens 50 Jahre Investition und nachher permanenten Unterhalt) ist ein multifunktionseller, in mehrfacher Hinsicht wirksamer Schutzschirm. Wie jeder Schirm bewirkt er das Anhalten oder eine Energieverminderung der Felsblöcke, ist jedoch relativ unwirksam gegen Felsstürze. Seine Ausdehnung in Hangrichtung ist eine langfristige Garantie und seine Dichte erhöht seine Wirksamkeit. Oft wird der Schutzeffekt durch das Erstellen von künstlichen Schutzeinrichtungen (Damm, Netz, etc.) ober-, inner- oder unterhalb des Waldes ergänzt.

Der Schwachpunkt dieser Schutzart ist die lange Zeit, die der Wald zum Nachwachsen braucht. Zudem ist der gezielten allmählichen Wiederaufforstung ständige Aufmerksamkeit zu widmen.

10.2 Eingriffe in Felswänden

Dabei werden entweder die Felsmassen, die die Gefährdung ausmachen, entfernt (mit dem Stossbohrer oder durch Sprengung) oder in der Wand stabilisiert (mit Nägeln, Verankerungen, verankerten Netzen, Betonunterstützung). Die Vorgehensweise wird durch den Geologen bestimmt. Die Ausführung erfolgt durch eine eigens für diese Art Eingriffe geschulte Bergführerequipe. Die Sprengung der drohenden Felsmassen ist häufig die kostengünstigste Lösung. Die Sprengung darf aber für das Schutzobjekt nicht ein zu grosses Risiko bedeuten.

Nach jedem Eingriff dieser Art wird die Felswand längerfristig in regelmässigen Abständen beobachtet. Dabei wird, im Hinblick auf eine allfällige weitere Säuberung, die Grösse der Spalten gemessen und der Verwitterungszustand der Felswand beurteilt.

10.3 Bau von Schutzwänden im Hang

In vielen Fällen – als kostengünstigere Alternative zu einer Galerie oder manchmal auch um den Schutz einer bestehenden Galerie zu verbessern – werden zwischen der Strasse und dem Fuss der Felswand in den Hang eine oder mehrere übereinander liegende Reihen von Schutzwänden gebaut (abhängig von der aufzufangenden Aufschlagsenergie).

Je nach topographischem Profil hat man die Wahl zwischen einem Netz (≤ 3000 kJ), einem "Merlon" (≤ 5000 kJ) und einem verstärkten Damm ($\geq 20'000$ kJ). Der "Merlon" stellt die wirtschaftlichste Massnahme dar. In zu steilen Hängen können keine "Merlons" angebracht werden. Dort werden übereinander liegende Netze installiert, um die Energie des Bemessungsblocks aufzufangen.

In der Vergangenheit hat man mangels Kenntnis der Gefahrenquelle häufig zu viele Reihen Schutzwände angebracht. Heute ist es dank einer vollständigen Analyse der Naturgefahren und der Flugbahnberechnung möglich, für die Netze ein optimales Kosten/Nutzen-Verhältnis zu erreichen.

10.4 Überwachungsmassnahmen

Überwachungsmassnahmen (und Unterhaltsmassnahmen) stellen auch passive Schutzmassnahmen dar. Sie werden unter Ziff. 13.2. behandelt.

11. SCHUTZMASSNAHMEN AUF DER HÖHE DER FAHRBAHN

11.1 Aktive Massnahmen

Diese gängigen Massnahmen werden der Fahrbahn entlang, in deren unmittelbarer Nähe oder über ihr angebracht. Die verschiedenen Schutzarten unterscheiden sich vor allem durch ihre Konstruktionsprinzipien, ihr Verhalten (Duktilität) und durch die Energien, die sie absorbieren können (vgl. Beilage 7).

- **Zäune und Wände unmittelbar entlang der Fahrbahn:**

- Eher zerbrechliches Verhalten;
- Kleines Energieabsorptionsvermögen (10 bis 50 kJ; 30 bis 300 kJ für Zäune mit diagonalen Netzen oder Ringen);
- Geringer Schutzeffekt, wirkungsvoll bei den Hang herunterrollenden kleinen Steinen oder Blöcken;
- Einfach in der Ausführung, in der Überwachung und im Unterhalt;
- Vergleichsweise geringe Kosten.

- **Netze in der Nähe der Fahrbahn:**
 - Duktiles und dissipatives Verhalten über ein weites Gebiet;
 - Ausserordentlich geeignet um Energie zu absorbieren (200 à 3'000 kJ);
 - Sehr wirkungsvolles System für rollende und springende Blöcke, jedoch mit möglichen Verformungen von 10 m und mehr;
 - Relativ einfach in der Montage, Überwachung und im Unterhalt, kann sich dem Terrain gut anpassen;
 - Mittlere Kosten im Vergleich zu anderen möglichen Lösungen.
- **Schutzwände mit Auffangzone:**
 - Bedingt genügend Platz zwischen Wand und Fahrbahn als Auffangzone;
 - Je nach Situation unterschiedliche Schutzwirkung;
 - Moderate Kosten.
- **"Merlons", verstärkte Dämme, Gräben:**
 - Braucht viel Platz oberhalb der Fahrbahn;
 - wirkungsvolles System für rollende und springende Blöcke;
 - geeignet für hohe Energien (1'000 bis 5'000 kJ, bei verstärkten Dämmen bis zu 30'000 kJ) ;
 - Mittlere bis hohe Kosten.
- **Galerien:**
 - Direkter, wirkungsvoller Schutz über der Fahrbahn, gegen alle Arten von Steinschlag, Eis (+ Schnee);
 - Sollte möglichst als robuste, hyperstatische und duktile Struktur gebaut werden;
 - Begrenzte Energieabbaufähigkeit (ungefähr 3'000 kJ);
 - Massive Platten, mit viel Erdeüberdeckung sind leichten oder vorgefertigten Strukturen vorzuziehen. In der Regel aus armiertem Beton ohne Vorspannung;
 - Hohe Kosten.

11.2 Passive Massnahmen

Die passiven Massnahmen sollen es ermöglichen, der exponierten Zone auszuweichen.

- **Brücken und Änderung der Linienführung:**
 - In steilem Gebirge sind diese Möglichkeiten begrenzt;
 - Häufig sehr hohe Kosten.
- **Tunnel:**
 - Nur in den Zonen der Tunneleingänge bleibt eine gewisse Steinschlaggefahr bestehen (ausgenommen die spezifische Problematik des sicheren Verkehrsflusses im Tunnel);
 - Sehr hohe Kosten, die häufig mit dem Steinschlagrisiko allein nicht gerechtfertigt werden können.

11.3 Auswahl und Ausführung

Die Wahl der Sicherheitsvorrichtung hängt in hohem Masse von den Energien, die im Spiel sind und von den lokalen Gegebenheiten ab. Die dafür nötigen Untersuchungen müssen von einem Ingenieur, in enger Zusammenarbeit mit einem Geologen gemacht werden. Die Beilage 7 gibt einen allgemeinen Hinweis auf das Energieabsorptionsvermögen der verschiedenen Systeme.

Unter vielen anderen Faktoren, die es zu berücksichtigen gilt, ist die Kosten/Nutzen-Analyse der ins Auge gefassten Schutzmassnahme eine wichtige Entscheidungsgrundlage. Ihr sollte in Zukunft besondere Beachtung geschenkt werden. Das BUWAL hat im Jahre 1999 das Dokument PRAXISHILFE [10] publiziert, um solche Überlegungen bei der Beurteilung von Lawinenschutzmassnahmen einzubeziehen. Bis heute fehlen entsprechende Modelle für andere Vorgänge wie z.B. Steinschlag. Das für Lawinenschutz vorgesehene Verfahren muss deshalb analog angewendet werden.

12. REGELUNG DER DIMENSIONIERUNG DER SCHUTZBAUTEN

Allgemeine Regelungen

Für die Dimensionierung der Bauten, sei es der passiven Schutzbauten im Bereich der Fahrbahnen oder der aktiven, stabilisierenden Schutzmassnahmen in der Felswand gelten die gängigen Regeln der Baukunst, v.a. die SIA- und VSS-Normen.

Besonderheiten bei Steinschlägen

Das Besondere am Steinschlag ist, dass die dynamischen Einwirkungen des Aufpralls vor allem vom Verhalten der Struktur abhängen.

[Bemerkung: Analog zur früheren Praxis bei Lawinenschutzbauten wäre ein alternativer, vereinfachter Weg möglich. Dabei würde man konventionelle, statische

Ersatzlasten festlegen und pauschal unterschieden für leichte, mittlere und schwere Schutzmassnahmen – das Gefahrenpotential würde entsprechend definiert.]

Spezialregelungen

- Für Galerien:

Richtlinie "Einwirkungen auf Steinschlagschutzgalerien" / ASTRA – SBB / 1998: Richtlinie für die Berechnung der statischen Ersatzlasten, die bei der Dimensionierung der Galerien gebraucht werden. [8].

Dokumentation "Planung, Bau und Unterhalt von Schutzgalerien gegen Steinschlag- und Lawineneinwirkungen" / ASTRA – SBB / 1998: technische Empfehlung [9].

- Für die Schutznetze:

"Richtlinie über die Typenprüfung von Schutznetzen gegen Steinschlag" / BUWAL / Juni 2001: Vorschriften für Typenprüfungsversuche: Die Liste der attestierten Produkte befindet sich im Web; ab 2004 werden die nicht attestierten Produkte durch die Bundesstellen nicht mehr subventioniert.

- Für andere Bauwerke:

Es ist keine Spezialregelung bekannt. Gewisse Bauwerke (besonders die steifen Schutzzäune) werden intuitiv, je nach praktischer Erfahrung dimensioniert.

13. BEOBACHTUNG UND ÜBERWACHUNG

13.1 Prinzip

Beobachten und Überwachen wirkt sich präventiv und schützend aus. Einerseits müssen die Wände und Hänge, an denen sich Steinschläge ereignen können, und die durch keine baulichen Massnahmen geschützt sind überwacht werden. Andererseits gilt es aber auch, die bereits bestehenden Schutzbauten und ihre Umgebung zu beobachten.

Mittels Überwachung kann man:

- Die Entwicklung einer potentiellen Gefahr erkennen und unterbrechen (Auslösung von präventiven baulichen Massnahmen) ;
- Verkehrsteilnehmer in exponierten Zonen schützen (Sperrung für den Verkehr) ;
- Unsicherheiten und Ungenauigkeiten bezüglich Auftretenswahrscheinlichkeit von potentiellen Ereignissen aus dem Wege räumen;
- Die Entwicklung durch periodische Wiederholung der Beobachtung verfolgen.

13.2 Mittel und Kenntnisstand

Überwachung der bestehenden Bauwerke

Die Überwachung der Kunstbauten (Galerien) wird systematisch mindestens alle 5 Jahre durchgeführt, entsprechend der diesbezüglichen ASTRA-Weisung.

Die Überwachung der Umgebung dieser Bauten, das Beobachten und eventuell die Überprüfung der Bauwerke je nach Gefahrenentwicklung (Aktualisierung der Sicherheitspläne) oder Entwicklung der Kenntnisse (Dimensionierungsmethoden) erfolgen jedoch nicht systematisch.

Für andere Schutzbauten ist die Überwachung wenig entwickelt. Für die Netze gibt es manchmal Empfehlungen der Hersteller.

Überwachung der Felswände und Hänge

Die Zonen, die als steinschlag- oder felssturzgefährdet erkannt wurden, werden, je nach bestehendem Risiko, mehr oder weniger streng überwacht.

Im Falle eines potentiellen Ereignisses in der Art eines Felssturzes stellt die Überwachung die einzige Alternative dar. Wenn nämlich das Volumen zu gross ist, um von einer Schutzmassnahme aufgefangen zu werden, stellt die Installation einer automatischen Überwachung in Verbindung mit einem Alarmsystem die einzig mögliche Alternative dar, um den bedrohten Strassenabschnitt zu sichern.

Die Palette der zur Verfügung stehenden Überwachungshilfsmittel ist sehr gross. Sie geht von der einfachen visuellen Überwachung der Stelle bis zur Überwachung durch ein System von Instrumenten (Extensometer, Geodesie, Pressiometer, etc.) oder durch Systeme mit Datenfernübertragung und Alarmauslösung. Die Beobachtungen und Massnahmen beziehen sich auf verschiedene Gruppen von Parametern: Bewegungen / Verformungen, auslösende Faktoren (z.B. Regenmessung und Temperaturmessung) und zerstörerische Faktoren, wenn sie sich von den auslösenden Faktoren unterscheiden.

Viele verschiedenartige Techniken werden dabei angewandt. Deren Leistungsfähigkeit nimmt ständig zu. Bei Steinschlägen und besonders beim Loslösen von Steinen und Blöcken ist die Ankündigungsfrist sehr kurz. Die automatischen Alarmsysteme können dabei noch wirkungsvoll sein, auch wenn sie relativ spät reagieren. Wie beim Lawinenschutz können oberhalb der Strasse Netze installiert werden, die beim geringsten Schock automatisch die Sperrung der Strasse auslösen.

In der kritischen Phase eines Ereignisses ersetzt die Überwachung häufig eine Schutzmassnahme. Die Überwachung genügt jedoch mittelfristig oder langfristig nicht.

Auch eine periodische Überwachung von bereits erkannten und beurteilten Zonen ist nötig. Die Periodizität der Interventionen muss von Fall zu Fall festgelegt werden.

Der Organisation sowie der Definition von Kompetenzen und Verantwortlichkeiten und der Koordination der Tätigkeiten der einzelnen Stellen ist besondere Beachtung zu schenken.

14. FESTGESTELLTE LÜCKEN UND VON DER "ExGr" EMPFOHLENE MASSNAHMEN

Durch die Auseinandersetzung mit Hilfsmitteln, aktuellen Kenntnissen und Praktiken in der Behandlung der verschiedenen Elemente der Thematik Steinschlag hat die "ExGr" eine gewisse Anzahl Lücken und Schwachstellen festgestellt. Um Abhilfe zu schaffen und eine Verbesserung des Schutzes der Fahrbahnen gegen Steinschlag zu erreichen, empfiehlt die "ExGr" die nachfolgend aufgeführten und kommentierten Massnahmen.

Primäres Ziel ist der Schutz der Nationalstrassen. Mehrere vorgeschlagene Massnahmen sind von allgemeinem Interesse und betreffen auch andere Fahrbahntypen und -klassen. Hingegen wurde nicht untersucht, was auf anderen Anwendungsgebieten nötig sein könnte.

14.1 Aspekt "A": Gefahrenpotentiale (vgl. Ziff. 8)

A1 Ereignisinventar, Kataster

- **Lücke:** Es existiert kein vollständiges, systematisches und einheitliches Ereigniskataster für die Nationalstrassen in allen Kantonen.
- **Massnahme:** Information der Kantone über die Datenbank StorMe des BUWAL und Aufforderung, die Ereignisse mit diesem Hilfsmittel zu dokumentieren und die Dokumentationen zu archivieren; Regelung von Zugang und Handhabung durch Kantone und Eidgenossenschaft.

A2 Eintretenswahrscheinlichkeit der potentiellen Ereignisse

- **Lücke:** Die Einschätzung der Eintretenswahrscheinlichkeit von Ereignissen ist sehr unterschiedlich, je nach angewandter Methode und beteiligtem Geologen (siehe auch Beilage 8).
- **Massnahme:** Entsprechend dem heutigen Kenntnisstand eine Empfehlung und einen Führer zuhanden der beauftragten Fachleute erarbeiten.

A3 Gefahrenkarte

- **Lücke:** Die Gefahrenkarten für die Zonen, in denen sich dem Steinschlag ausgesetzte Nationalstrassen befinden werden nicht systematisch erstellt. Dasselbe gilt für die SBB.
- **Massnahme:** Definition der zu erstellenden Kartenart (nach eidgenössischen Empfehlungen) und der Elemente, die im Hinblick auf die Wahl und die Dimensionierung der Schutzbauten genau angegeben werden müssen. Aufforderung an die Kantone, solche Karten für die

betroffenen Nationalstrassenzonen zu erstellen. Dito für die SBB.

14.2 Aspekt "B": Risikoanalyse und Schutzziele (vgl. Ziff. 9)

B1 Schutzziele

- Lücke: Kaum Hinweise zur Festlegung von Schutzzielen durch die Oberaufsichtsbehörde.
- Massnahme: Entwicklung eines Konzepts, einer Methode zur Beurteilung des akzeptierten Risikos und Bestimmung der erforderlichen Schutzgrade für die Nationalstrassen der verschiedenen Klassen, im Einklang mit der Behandlung der anderen Naturgefahren und koordiniert mit laufenden ähnlichen Projekten von anderen Ämtern (u.a. BUWAL, BWG).

B2 Methoden und Risikoanalysen

- Lücke: Es gibt viele verschiedene, oft nicht in die gleiche Richtung zielende Methoden, um die Risiken zu berechnen und zu analysieren.
- Massnahme: Harmonisierung der verschiedenen gegenwärtig angewandten Methoden der Risikoanalysen und Definition einer für die Nationalstrassen einheitlichen Art der Risikoermittlung, im Einklang mit laufenden ähnlichen Projekten von anderen Ämtern (u.a. BUWAL).

B3 Rechtliche Fragen im Zusammenhang mit der Behandlung der akzeptierten Risiken

- Lücke: Bei der Berücksichtigung von akzeptierten Risiken herrscht grosse Unsicherheit über die Verantwortlichkeiten zwischen den einzelnen Bundesämtern und den Kantonen.
- Massnahme: Analyse des rechtlichen Rahmens und Rechtsgutachten über die Gültigkeit und die Konsequenzen einer Definition von Schutzgrad und akzeptierten Risiken durch das Amt oder den Kanton. Wertung der Kriterien "gesellschaftlicher Konsens" und "Verhältnismässigkeitsprinzip".

14.3 Aspekt "C": Schutzmassnahmen oberhalb der Fahrbahn (vgl. Ziff. 10)

C1 Unterhalt der Schutzwälder

- Lücke: Die Überwachung und der Unterhalt der Schutzwälder oberhalb der Nationalstrassen erfolgen nicht systematisch.

- **Massnahme:** Beurteilung der Schutzwirkung des bestehenden Waldes und gegebenenfalls Überprüfung des Unterhalts der oberhalb der Fahrbahn gelegenen Schutzwälder durch die Eigentümer; je nach Situation zur Verfügung stellen der nötigen und angemessenen Mittel.

C2 Kosten der Interventionen oberhalb der Fahrbahn

- **Lücke:** Es fehlt eine Liste der gängigen Mittel und Richtpreise.
- **Massnahme:** Erstellen eines Katalogs der gängigen Mittel mit Richtpreisen.

14.4 Aspekt "D": Schutzmassnahmen auf Fahrbahnhöhe (vgl. Ziff. 11)

D1 Wahl der Schutznetze

- **Lücke:** Die Richtlinie des BUWAL über die Typenprüfung der einzusetzenden Produkte ist in den Kantonen nicht allgemein bekannt.
- **Massnahme:** Information (Zirkular) an die Kantone über die Existenz der BUWAL-Richtlinie und über die sich daraus ergebenden Verpflichtungen bezüglich Produktewahl.

D2 Bestimmung und Wahl der Schutzmassnahmen

- **Lücke:** Der Entscheid, ob ein Schutz erforderlich ist und die Wahl der adäquaten Mittel sind häufig ungenügend begründet.
- **Massnahme:** Information der Kantone und Aufforderung, die geplanten Massnahmen nach der "Kosten-Nutzen-Methode" zu begründen, in Analogie zur vom BUWAL in der Schrift "Praxishilfe" definierten Vorgehensweise zur Beurteilung der Lawinenschutzmassnahmen. Allenfalls Anpassung des BUWAL-Dokuments.

14.5 Aspekt "E": Reglementierung der Dimensionierung der Schutzbauten (vgl. Ziff. 12)

E1 Aktualisierung der ASTRA/SBB-Richtlinie (1998) über die Einwirkungen

- **Lücke:** Dieses Dokument bezieht sich auf SIA-Normen, die nächstens ausser Kraft gesetzt werden (Juni 2004).
- **Massnahme:** Aktualisierung der ASTRA/SBB-Richtlinie und Anpassung an die neuen technischen Normen der SIA (Swisscodes).

E2 Technische Besonderheiten der ASTRA/SBB-Richtlinie (1998) über die Einwirkungen

- **Lücke:** Seit dem Erscheinen diskutierte oder in Frage gestellte technische Besonderheiten und neue Erkenntnisse auf diesem Gebiet sind nicht berücksichtigt worden.
- **Massnahme:** Beratung durch Fachperson zum Problem harter Schock / weicher Schock, bei der Behandlung des Durchstanzens unter Berücksichtigung neuer Erkenntnisse. Wenn nötig gross angelegte Versuche in Walenstadt (Lochezen) mit einer armierten Betonplatte, mit und ohne Erdüberschüttung.

14.6 Aspekt "F": Begleitmassnahmen und Überwachung (vgl. Ziff. 13)

F1 Überprüfung der Nationalstrassentunnelportale – bereits realisierte Massnahme –

- **Lücke:** Infolge des Falles Chüebalm bestehen Zweifel über die Konformität der bestehenden Bauten.
- **Massnahme:** Aufforderung an die Kantone, die Tunnelportale mit Schutzfunktion gegen Steinschlag einer generellen Überprüfung zu unterziehen.
- **Resultat:** Diese durch das ASTRA-Rundschreiben vom 14. Januar 2003 ausgelöste Massnahme ist realisiert. Die Synthese der Resultate befindet sich in der Beilage 3: Acht Kantone waren betroffen. Es wurden keine Mängel festgestellt.

F2 Überprüfung der Steinschlagschutzgalerien

- **Lücke:** Der Zustand der bestehenden Galerien wird gemäss den ASTRA-Richtlinien für die Überprüfung der Bauwerke der Nationalstrassen periodisch durch die Kantone überprüft. Hingegen wurden die potentiellen Gefahren (Felswände und Hänge oberhalb der Strasse) und die Hypothesen und anfänglichen Dimensionierungsmethoden nie überprüft.
- **Massnahme:** Erstellung eines Pflichtenhefts und Aufforderung der Kantone, die Galerien und Tunnelportale mit Schutzfunktion gegen Steinschlag einer generellen Überprüfung hinsichtlich potentieller Gefahren in den Wänden, Dimensionierungsprinzip und effektiver Sicherheit der bestehenden Konstruktion zu unterziehen. Gegebenenfalls Identifizierung der Objekte, die einer detaillierten Überprüfung unterzogen werden müssen. Einführung einer periodischen Neubeurteilung der Gefahren in den Felswänden für diese Objekte. Die Häufigkeit wird von Fall zu Fall zu bestimmen sein.

F3 Überwachungsmethoden mittels Instrumenten in der Wand

- **Lücke:** Grosse Unterschiedlichkeit der angewandten Methoden und eingesetzten Hilfsmittel: Tendenz in jedem Fall "das Rad neu zu erfinden".
- **Massnahme:** Aufstellung einer Sammlung von typischen Fällen, die als Beispiele dienen können.

F4 Neue Überwachungsmethoden mit Instrumenten in der Wand

- **Lücke:** Die technischen Entwicklungen in der Schweiz und im Ausland werden zu wenig verfolgt. Die Schweiz hat keine Erfahrung mit der modernen Erdradarmethode und Radarinterferometrie. Die europäischen Länder machen sich diese Technik, die die gesamte Oberfläche einer gefährlichen Felswand bedeckt (feines Gitter) zunutze.
- **Massnahme:** Anwendung dieser Methode an einigen Stellen in der Schweiz. Pilotprojekt mit allfälliger Anpassung.

14.7 Aspekt "G": Allgemeine Massnahmen im Umgang mit Naturgefahren

G1 Interner Umgang und interdepartementale Koordination (vgl. Ziff. 6.2)

- **Lücke:** Es existiert keine Gesamtübersicht über die rechtlichen Vorschriften, die Massnahmen und Anforderungen anderer Ämter, die externen Entwicklungen und laufenden Projekte und über die Art und Weise, wie das ASTRA allein und mit anderen Ämtern zusammen Fragen im Zusammenhang mit Naturgefahren behandelt.
- **Massnahme:** Schaffung einer Stelle: "Spezialist/Spezialistin auf dem Gebiet der Naturgefahren" im ASTRA.

G2 Umgang mit schadenverursachenden Ereignissen

- **Lücke:** Es ist nicht klar genug bestimmt, was nach einem durch einen Steinschlag verursachten Unfall auf einer Nationalstrasse unternommen werden muss, welche Instanzen mit welchen Kompetenzen und Aufgaben beteiligt sind und wie die Information zwischen Kanton und ASTRA zu erfolgen hat.
- **Massnahme:** Erstellung einer Wegweisung, eines Katalogs und eines Aktionsplans.

14.8 Aktionsplan									
Act. N°	Gebiet	Massnahme Kurztext der Ziff. 14.1 à 14.7	Verantwortliche Stellen ⁽¹⁾	Priorität	Geschätztes Planning				
					Jahr 1	Jahr 2	Jahr 3	Später	
A1	Gefahrenpotential	Ereignisinventar, Kataster	ASTRA resp. BAV und Kantone resp. SBB	1					
A2	Id.	Eintretenswahrscheinlichkeit der potentiellen Ereignisse	ASTRA-OFEFP-OFEG	1	→				
A3	Id.	Gefahrenkarte	ASTRA-BUWAL-BWG	1	→				
B1	Risikoanalyse und Schutzziele	Schutzziele	ASTRA-BUWAL-BWG	1					
B2	Id.	Methoden zur Risikoanalyse	ASTRA-BUWAL-BWG	2		→			
B3	Id.	Rechtliche Fragen im Zusammenhang mit der Behandlung der akzeptierten Risiken	ASTRA-BUWAL-BWG	2	→				
C1	Schutzmassnahmen oberhalb der Fahrbahn	Unterhalt der Schutzwälder	ASTRA-BUWAL	3		→			
C2	Id.	Katalog der gängigen Mittel und Richtpreise	ASTRA-BUWAL	3		→			
D1	Schutzmassnahmen auf der Höhe der Fahrbahn	Wahl der Schutznetze	ASTRA	Realisiert				→	
D2	Id.	Bestimmung und Wahl der Schutzmassnahmen	ASTRA-BUWAL-BWG	2					
E1	Regelung der Dimensionierung	Aktualisierung der ASTRA/SBB-Richtlinie - 1998 Über die Einwirkungen...	ASTRA-SBB	1	→		→		
E2	Id.	Technische Besonderheiten der ASTRA/SBB-Richtlinie - 1998 Über die Einwirkungen...	ASTRA-SBB	2					
F1	Beobachtung und Ueberwachung	<i>Überprüfung der Tunnelportale</i>	ASTRA-Kantone	Realisiert			→		
F2	Id.	Überprüfung der Galerien	ASTRA-Kantone	1				→	
F3	Id.	Überwachungsmethoden mittels Instrumenten in der Wand	ASTRA-BUWAL-BWG	2			→		
F4	Id.	Überwachung der Wand mittels Radar, Pilotprojekte	ASTRA-BUWAL-BWG	2				→	
G1	Allgemeine Massnahmen im Umgang mit Naturgefahren	Interner Umgang und interdepartementale Koordination	ASTRA resp. SBB	1	→				
G2	Id.	Umgang mit schadenverursachenden Ereignissen	ASTRA resp. SBB	1	→				

(1) Stelle die die Initiative ergreift eine Massnahme einzuleiten und zu steuern

15. SCHLUSSFOLGERUNGEN

Die vom ASTRA ins Leben gerufene "ExGr" Steinschlag hat von Februar bis Juli 2003 gearbeitet und sich viermal zu einer Sitzung zusammengefunden.

Sie hat zuerst die Thematik der Naturgefahr "Steinschlag" strukturiert. Im Folgenden hat sie die Bedeutung dieser Gefahr für die Fahrbahnen, den aktuellen Wissensstand und die gängigen Praktiken auf diesem Gebiet ermittelt. Zusammen mit dem ASTRA / Bereich Kunstbauten hat sie bei den Kantonen zwei Umfragen über die Bedeutung des Phänomens, die Grösse und die Lage der bestehenden Schutzbauten auf dem Nationalstrassennetz und über die markanten verzeichneten Ereignisse durchgeführt.

Im Weiteren hat die "ExGr" die Lücken und Schwachstellen im gegenwärtigen Umgang mit dieser Naturgefahr ausgemacht. Die sechs folgenden Gebiete wurden evaluiert:

- A Erkennen und Charakterisieren der potentiellen Gefahr, Inventar- und Gefahrenkartenerstellung;
- B Risikoanalyse, Definition des Schutzgrades und der akzeptierten Risiken, Bewertung der Zweckmässigkeit der Schutzvorrichtungen;
- C Schutzmassnahmen oberhalb der Fahrbahn;
- D Schutzmassnahmen auf Fahrbahnhöhe;
- E Reglementierung der Schutzbautendimensionierung;
- F Überwachungs- und Alarmmittel und –strategie.

In 14 Kantonen bedeutet der Steinschlag eine echte Gefahr für die Nationalstrassen. Dessen Bedeutung erscheint jedoch im Vergleich zu anderen Naturgefahren, denen der Strassenverkehr ausgesetzt ist, nicht dominant. In den letzten Jahren wurden 39 Steinschlagereignisse auf den Nationalstrassen verzeichnet.

Mehrere dieser Fälle, insbesondere die Unfälle, die sich in den Jahren 2002 und 2003 ereignet haben, enthielten ein hohes Schadenspotential. Sie sind glimpflich abgelaufen. Es ist ein "Glück", dass es dabei keine Toten und Verletzten gegeben hat. Die Folgen hätten viel tragischer sein können. Auf andern Strassen war der Faktor Glück umgekehrt proportioniert und es sind mehrere Todesfälle bekannt.

Dank den vom ASTRA getroffenen Sofortmassnahmen wurden die Eingangsbereiche der Tunnel kontrolliert, und es konnte bestätigt werden, dass die Bauwerke in den acht von diesen Gefahren betroffenen Kantonen keine Mängel aufweisen. Spezielle Sofortmassnahmen erübrigten sich dementsprechend. In den erkannten, ausgerüsteten, geschützten und überwachten Zonen wurde keine offenkundige, schwerwiegende Schwäche ausgemacht.

Infolge seiner Analyse empfiehlt die "ExGr" 18 Massnahmen, um den Aufgaben und Verantwortlichkeiten als Werkeigentümer (Kantone) und als Oberaufsichtsbehörde (ASTRA) gerecht zu werden. Die Massnahmen zielen darauf ab, ein gerechtfertigstes und homogenes Sicherheitsniveau in Bezug auf die Steinschlaggefahr zu erreichen. 16 Massnahmen sind technischer oder administrativer Natur und betreffen die Kantone, das ASTRA und andere Ämter, die aufgrund von Gesetzgebung und Gewohnheitsrecht mit diesen Aufgaben zu tun haben. Zwei Massnahmen sind allgemeiner und organisatorischer Natur und betreffen das ASTRA. Die Situation der SBB wird analog behandelt.

Mit der Veröffentlichung dieses Berichts hat die Expertengruppe ihre Aufgabe erfüllt. Sie steht jedoch zur Verfügung um zu präzisieren, abzugrenzen und um die Umsetzung der vorgeschlagenen Massnahmen zu leiten oder zu begleiten.

Der Präsident**M. Donzel**

ASTRA/Bereich Kunstbauten

Bern, den

Der Verfasser**J. Jacquemoud**

Ingenieurbüro

Sion, den

BIBLIOGRAPHIE

- [1] BFS: Statistik "Strassenverkehrsunfälle in der Schweiz seit 1970" und "Pressemitteilung":
[www.statistique.admin.ch/...]
- [2] BRP – BWW – BUWAL: Naturgefahren, Empfehlungen 1997, "Berücksichtigung der Massenbewegungsgefahren bei raumwirksamen Tätigkeiten"
[auch im pdf: www.bwg.admin.ch/themen/natur\...]
- [3] BUWAL – WSL: W. Gerber + al: "Richtlinie über die Typenprüfung von Schutznetzen gegen Steinschlag", Vollzug Umwelt, 2001 [auch im www.buwalshop.ch]
- [4] BABS: Katanos, "Katastrophen und Notlagen in der Schweiz – eine vergleichende Übersicht", 1995
- [5] B. Loup, "Problématique et prise en compte des dangers naturels en suisse ", OCAT-Fribourg, journées HES – so du 26 nov. 1999, rapport GC – 1999 – 4
- [6] ETHL-MCS: div. Auteurs, " Niveau de sécurité requis pour l'évaluation de ponts-routes existants ", mandat de recherche 84/99, avril 2002, DETEC/ASTRA N° 566
- [7] Kanton URI: "Richtlinie für den Hochwasserschutz, Januar 1995
- [8] ASTRA-SBB: "Einwirkungen auf Steinschlagschutzgalerien", Richtlinie, 1998, N° 308-317.f/d
- [9] ASTRA-SBB: "Planung, Bau und Unterhalt von Schutzgalerien gegen Steinschlag- und Lawineneinwirkungen", Dokumentation, 1998, N°308-324.f/d
- [10] BUWAL: "Kosten Wirksamkeit von Lawinenschutz - Massnahmen an Verkehrsachsen. Vorgehen, Beispiele und Grundlagen der Projektevaluation. Praxishilfe", 1999, [www.umweltschutz.ch/buwal/shop/...]
- [11] ASTRA-BAV-BWW-SBB: "Sicherheit von Bauwerken im Wasser" Empfehlung, 1998, N°804.202 f/d
- [12] CREALP: "Musterbericht für Felswandstudien", Wegleitung Kt.VS, Nr. Crealp/98.13d (f), Dez. 1998
- [13] D.L.Vischer: "Wahl des Bemessungshochwassers - einige Gedanken zur Schutzzielmatrix des BWG", Artikel "Wasser Energie Luft", 95 Jahrg. 2003, Heft 5/6
- [14] BWG: "Hochwasserschutz an Fliessgewässern", Wegleitung d/f, 2001
- [15] BUWAL: "Risikoanalyse bei gravitativen Naturgefahren", Methode + Fallbeispiele und Daten, 1999, [auch über www.buwalshop.ch]