



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Schweizerische Eidgenossenschaft
Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr und Kommunikation UVEK
Bundesamt für Strassen ASTRA

Naturgefahren Nationalstrassen Schweiz, Gefahrenhinweiskarten

Technischer Bericht



Impressum

Projektbearbeitung

geo7 AG, geowissenschaftliches Büro

Neufeldstrasse 5 – 9, CH-3012 Bern
Tel. +41 (0)31 300 44 33

Gabi Hunziker
Dr. Serena Liener
Daniel Zinniker
Peter Gsteiger

tur gmbh

Promenade 129, CH-7260 Davos-Dorf
Tel. ++41 (0)31 420 15 31

Roderick Kühne
Eva Frick

Änderungskontrolle

Version	Datum	Name / Stelle	Bemerkungen
0.1	11.03.2009	Gabi Hunziker	Berichtsentwurf
1	5.6.2009	Dr. Serena Liener	Fertigstellung Bericht

Anmerkungen zum Dokument

Erstellt mit Microsoft Office Word, Version 2003

Dateiname g:\projekte\2009\803_ghkns2\3_projektergebnisse\34_bericht\be01hu, bericht ghkns2_v2.doc

Dateigrösse 3570 KBytes

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	3
1.1	Ausgangslage	3
1.2	Auftrag	3
1.3	Aufgabe und Zielsetzung der Gefahrenhinweiskarte	3
1.4	Projektorganisation und Bearbeitung	4
2	Berücksichtigte Prozesse.....	5
2.1	Lawinen	5
2.2	Stein-/Blockschlag	6
2.3	Murgänge.....	6
2.4	Überflutung und Übersarung	7
2.5	Hangmuren/spontane Rutschungen.....	7
2.6	Permanente Rutschungen/Sackungen.....	7
3	Methodisches Vorgehen zur Erstellung der Gefahrenhinweiskarte	9
3.1	Grundlagendaten und deren Aufbereitung	9
3.1.1	Darstellungsgrundlagen.....	9
3.1.2	Gefahrenhinweisprozesse	9
3.1.3	Schadenpotenzial.....	13
3.2	Berücksichtigung von Schutzmassnahmen	16
3.3	Perimeter	16
3.3.1	Perimeter Schadenpotenzial.....	17
3.3.2	Perimeter Gefahrenpotenzial.....	17
3.3.3	Perimeter Risikoanalyse.....	17
3.4	Methodik zur Aufbereitung der synoptischen Gefahrenhinweisbereiche.....	18
3.5	Ermittlung der schadenpotenzialrelevanten Prozessräume.....	18
3.5.1	Festlegung der gefährdeten Strassenabschnitte.....	20
3.5.2	Festlegung der gefährdeten Nebenanlagen.....	20
3.6	Berechnung des Naturgefahrenindex.....	21
3.6.1	Berechnung Risiko	21
3.6.2	Synoptische Berechnungen.....	21
3.6.3	Naturgefahrenindex.....	22
4	Datenmodell	23
4.1	Ausgangslage	23
4.2	Datenmodell Gefahrenhinweiskarten	23
4.2.1	Geometrieanforderungen.....	23
4.2.2	Namenskonventionen.....	24
4.2.3	Konventionen für die Benennung von Attributen Risiko	25
4.2.4	GKD_StrasseSwisstopo	25
4.2.5	GKD_StrasseDTV	25
4.2.6	GKD_MGHMLFSS / GKD_RUSA.....	25

4.2.7	GKD_NebenanlagenASTRA.....	26
4.2.8	GKD_NebenanlagenRisiko.....	26
4.2.9	GKD_ProzArea.....	26
4.2.10	GKD_RisikoStrasse.....	27
5	Dokumentation der Resultate.....	28
5.1	Technischer Bericht	28
5.2	Anwenderhandbuch	28
5.3	Karten	28
6	Verbindlichkeit und Aussagekraft der Gefahrenhinweiskarte	30

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Verwendetes Nationalstrassennetz: orange = Strassenabschnitte mit Strada-ID welche sowohl im Vector25 wie auch im Datensatz ASTRA enthalten sind rot = Strassenabschnitte des Vector25 ohne Strada-ID, die jedoch im ASTRA-Datensatz enthalten sind grün = Strassenabschnitte des Vector25 ohne Strada-ID, die nicht im ASTRA-Datensatz enthalten sind. Diese Elemente wurden gelöscht.....	14
Abbildung 2:	Darstellung des Perimeter Schadenpotenzial und des Schadenpotenzials: Perimeter Schadenpotenzial = hellrot; relevante Strassenachsen = orange, Tunnel = blau, Tunnelportalbereich (50 m) = gelb, Nebenanlagen = purpur.....	17
Abbildung 3:	Gesamtschweizerische Übersicht über die Gefahrenbereiche im Perimeter Gefahrenpotenzial.....	18
Abbildung 4:	Darstellung der gepufferten schadenpotenzialrelevanten Sturztrajektorien (rot/magenta) welche den Perimeter Schadenpotenzial (orange) erreichen und derjenigen Sturztrajektorien (hellgrün) die den Perimeter Schadenpotenzial nicht erreichen.....	19
Abbildung 5:	Durch Stein- und Blockschlag gefährdete Strassenabschnitte (blau).....	20
Abbildung 6:	Durch Lawinen oder Murgänge gefährdete Bereiche der Nebenanlagen Lawinen = hellblau, Murgang = violett, gefährdete Nebenanlagen = rot, nicht gefährdete Bereiche der Nebenanlagen = gelb	20
Abbildung 7:	Ausschnitt aus der Übersichtskarte mit Darstellung des Projektperimeters (gelb, grün) basierend auf der Blatteinteilung gemäss UHPeri, (gelb: Zuständigkeitsgebiet Filiale 4, grün: Zuständigkeitsgebiet Filiale 3)	29

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Naturgefahrenprozesse in den Gefahrenhinweiskarten	5
Tabelle 2:	Zusammenstellung der verwendeten Grundlagen	9
Tabelle 3:	Prozesstrajektorien aus dem Projekt Silvaprotect-CH	11
Tabelle 4:	Perimeter	16
Tabelle 5:	Formeln für Berechnung Einzelrisiken	21
Tabelle 6:	Abgegebene Daten	24
Tabelle 7:	Geometrietypen.....	24
Tabelle 8:	Abkürzungen Präfix / Suffix	25
Tabelle 9:	Attribute GKD_StrasseDTV	25
Tabelle 10:	Attribute GKD_MGHMLFSS und GKD_RUSA.....	26
Tabelle 11:	Attribute GKD_NebenanlagenRisiko	26
Tabelle 12:	Attribute GKD_ProzArea	26
Tabelle 13:	Attribute GKD_RisikoStrasse	27

Referenzierte Dokumente

- [1] BAFU, (2008): Flutzonen Aquaprotect, Medienmitteilung
- [2] Bundesamt für Raumplanung (BRP), Bundesamt für Wasserwirtschaft (BWW), Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL), 1997: Berücksichtigung der Massenbewegungsgefahren bei raumwirksamen Tätigkeiten. Empfehlungen 1997, EDMZ, Bern.
- [3] Bundesamt für Raumplanung (BRP), Bundesamt für Wasserwirtschaft (BWW), Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL), 1997: Berücksichtigung der Hochwassergefahren bei raumwirksamen Tätigkeiten. Empfehlungen 1997, EDMZ, Bern.
- [4] Bundesamt für Landestopografie (Swisstopo), 2007: Geologische Karte der Schweiz, digitale Daten Stand 2007, Wabern.
- [5] BUWAL 1999, Risikoanalyse bei gravitativen Naturgefahren
- [6] Gamma, P. (2000): dfwalk – Ein Murgang-Simulationsprogramm zur Gefahrenzonierung, Geographica Bernensia G66, Verlag des Geogr. Inst. Univ. Bern.
- [7] Geotest, geo7, Oeko-B. (2006): SilvaProtect-CH, Schutzwaldhinweiskarte der Schweiz, Modul EVENT, Los 1: Prozess Steinschlag / Blockschlag, Los 2: Prozesse Hangmure / Rutschung, Murgang, Schlussbericht.
- [8] Geo7 (2006): SilvaProtect-CH, Datenmodell
- [9] Geo7 (2008): SilvaProtect-CH, Prozessmodellierung Übersarung und Überflutung steile Gewässer
- [10] Gruber, U., Baltensweiler, A. (2006): SilvaProtect-CH, Prozess Lawinen, Dokumentation, Eidgenössische Forschungsanstalt WSL, Birmensdorf.
- [11] Liener, S. (2000): Zur Feststofflieferung in Wildbächen. Geographica Bernensia G64, Verlag des Geogr. Inst. Univ. Bern.
- [12] Liniger, M. (2000): Computersimulation von Stein- und Blockschlägen. Sonderdruck aus Felsbau 18 (2000) Nr.3: 56-63.
- [13] ASTRA, (2007): Pflichtenheft Naturgefahren Nationalstrassen Schweiz, Gefahrenhinweiskarte (GHK).
- [14] BAFU, (2006): SilvaProtect-CH, Schutzwaldhinweiskarte der Schweiz, Modul Event.

Glossar

Begriff	Erläuterung
ASTRA	Bundesamt für Strassen
BAFU	Bundesamt für Umwelt
Blockschlag	Absturz von mehr oder weniger isolierten Blöcken ($\varnothing > 50$ cm, aber Volumen < 100 m ³) mit Geschwindigkeiten von 5 – 30 m/s (frei fallend, springend, rollend); vgl. auch → Steinschlag
Gefahr	Zustand, Umstand oder Vorgang, aus dem ein Schaden für die Umwelt, Mensch und/oder Sachgüter entstehen kann
Gefährdung	→ Gefahr, die sich konkret auf eine bestimmte Situation oder ein bestimmtes Objekt bezieht
Gefahrenhinweiskarte	Übersichtskarte, die nach wissenschaftlichen Kriterien erstellt wird und auf → Gefahren hinweist, die erkannt und lokalisiert, aber nicht im Detail analysiert und bewertet sind
Gefahrenpotenzial	Gesamtheit der → Gefahren in einem Gebiet
Hangmuren	Oberflächlich abfahrendes, schnell fliessendes Gemisch aus stark wasserdurchtränktem Lockermaterial (meist nur Boden und Vegetation). Oft aus spontanen Rutschungen heraus an meist steilen Hängen entstehend. Zusammenhalt des Materials und eine klare Gleitfläche fehlen meistens. Volumina des verlagerten Materials in der Regel zwischen wenigen m ³ und $< 20'000$ m ³ .
Hochwasser	Zustand in einem Gewässer, bei dem der Wasserstand oder der Abfluss einen bestimmten Schwellenwert überschritten hat.
MISTRA	Managementinformationssystem Strasse und Strassenverkehr
Naturgefahren/Naturgefahrenprozesse	Sämtliche Vorgänge in der Natur, die für den Menschen und/oder Güter schädlich sein können
NFA	Neugestaltung des Finanzausgleichs und der Aufgabenteilung zwischen Bund und Kantonen
Lawine	Plötzliche und schnelle Talwärtsbewegung von Schnee oder Eis als gleitende, fliessende oder rollende Masse
Murgang	Langsam bis schnell fliessendes Gemisch von Wasser und Feststoffen mit einem hohen Feststoffanteil, das häufig in mehreren Schüben niedergeht
Naturgefahrenindex	Relatives Mass für die Grösse einer Gefährdung (Wahrscheinlichkeit und Schadenausmass)
Permanente Rutschung	Abgesehen von kurzfristigen, i.a. saisonalen Schwankungen mehr oder minder kontinuierlich, vielfach langsam verlaufende Rutschung
Prozessraum	Geländebereich, der durch einen bestimmten (meist gefährlichen) Prozess (z.B. → Steinschlag, Überflutung, → Rutschung) betroffen wird

Begriff	Erläuterung
Rutschung	Hangabwärts gerichtete, kontinuierlich oder schnell ablaufende Bewegung von Erd-, Fels- oder Lockergesteinsmassen entlang einer mehr oder weniger tief liegenden Gleitfläche. Ausgelöst in der Regel durch mangelnde Hangstabilität. Spontane Rutschung: Rutschbewegung erfolgt abrupt, nur über kurzen Zeitraum und schnell. → Permanente Rutschung: Rutschbewegung verläuft über längeren Zeitraum mehr oder weniger kontinuierlich und langsam
Sackung	→ Gravitativer Prozess in Festgesteinen mit ausgeprägt vertikaler Bewegungskomponente entlang von Trennflächen; häufig fliessende Übergänge zu → Rutschungen, daher oft unter diesen zusammengefasst
Schadenpotenzial	Gesamtheit der möglichen durch eine → Gefahr verursachten Schäden
SilvaProtect CH	Projekt Schutzwaldhinweiskarte Schweiz
Steinschlag	Absturz von mehr oder weniger isolierten Steinen ($\varnothing < 50$ cm) mit Geschwindigkeiten von 5 – 30 m/s (frei fallend, springend, rollend); vgl. auch → Blockschlag
swisstopo	Bundesamt für Landestopographie
Synoptischer Gefahrenhinweis	Alle Prozessflächen umfassende Darstellung der Gefahrensituation
Überflutung	Vorübergehende Bedeckung einer Landfläche ausserhalb des Gewässerbetts mit Wasser und häufig auch mit Feststoffen
Übersarung	Prozess der Ablagerung von vorwiegend groben Feststoffen, die aus dem Bett eines hochwasserführenden Fliessgewässers ausgetreten sind
UHPeri	Unterhaltssperimeter (Datenbank → MISTRA)
vector25	Digitale Datensätze des Bundesamtes für Landestopographie
Wirkungsräume	Flächen und Gebiete in denen mit der Einwirkung von → Naturgefahrenprozessen zu rechnen ist

1 Einleitung

1.1 Ausgangslage

Im Hinblick auf das Inkrafttreten des NFA und dem damit verbundenen Übergang der Nationalstrassen von den Kantonen zum Bund, wurde vom ASTRA das Projekt Naturgefahren und Nationalstrassen gestartet. Das vorliegende Projekt umfasst die Erstellung der Gefahrenhinweiskarte für das gesamte Nationalstrassennetz der Schweiz und die Ausscheidung eines Naturgefahrenindex zur qualitativen Einstufung der Risiken auf den Strassenabschnitten. Im Frühling/Sommer 2008 wurde die Gefahrenhinweiskarte für die Prozesse Lawinen, Sturz, Murgang und Rutschungen erstellt. Nach Vorliegen der Datengrundlagen für die Hochwassergefahren wurde Gefahrenhinweiskarte Nationalstrasse um die Prozesse Überflutung und Übersarung ergänzt.

1.2 Auftrag

Das ASTRA, Filiale Thun, erteilte am 24.09.2007 der Firma IMPULS AG den Auftrag, eine Situationsanalyse durchzuführen und in der Folge die Ziele und das Vorgehen zur Erstellung von Gefahrenhinweiskarten vorzuschlagen. Auf der Basis dieses Berichtes erfolgte per 15.10.2007 die Erstellung eines Pflichtenheftes zur Ausarbeitung der Gefahrenhinweiskarten.

Am 1.11.2007 hat das ASTRA, Filiale Thun der Arbeitsgemeinschaft geo7 AG und tur GmbH den Auftrag zur Ausscheidung von Gefahrenhinweiskarten für das gesamte Nationalstrassennetz der Schweiz erteilt. Die Bearbeitung umfasste die Prozesse Lawinen, Sturz, Murgang und Rutschungen. Am 29.01.2009 wurde durch das Bundesamt für Strassen, ASTRA der Folgeauftrag erteilt, für die Integration der neu vorliegenden Gefahrenprozesse Überflutung und Übersarung.

1.3 Aufgabe und Zielsetzung der Gefahrenhinweiskarte

Das vorliegende Teilprojekt ist Bestandteil des Gesamtprojektes „Naturgefahren Nationalstrassen Schweiz“ und hat die Erstellung von Gefahrenhinweiskarten für das gesamte Nationalstrassennetz der Schweiz zum Ziel. Dieses Netz umfasst gut 1'900 km Strassen verschiedener Klassen.

Die Gefahrenhinweiskarte hat zur Aufgabe, diejenigen Gebiete respektive diejenigen Strassenabschnitte abzugrenzen, in denen eine Naturgefahr potentiell vorhanden ist (Gefahrenhinweisgebiete). Die Intensität und die Wahrscheinlichkeit der Ereignisse wird nicht dargestellt.

Die in den Gefahrenhinweiskarten abgegrenzten Prozessräume stellen die Umhüllende der von den betrachteten Naturgefahren betroffenen Flächen dar. Die Abgrenzung der Gefahrenhinweisgebiete erfolgt mit der Genauigkeit des Massstabs 1:25'000. Lokale Gegebenheiten können nicht in jedem Fall berücksichtigt werden.

Die Gefahrenhinweiskarten Nationalstrassen sollen folgende Ergebnisse liefern:

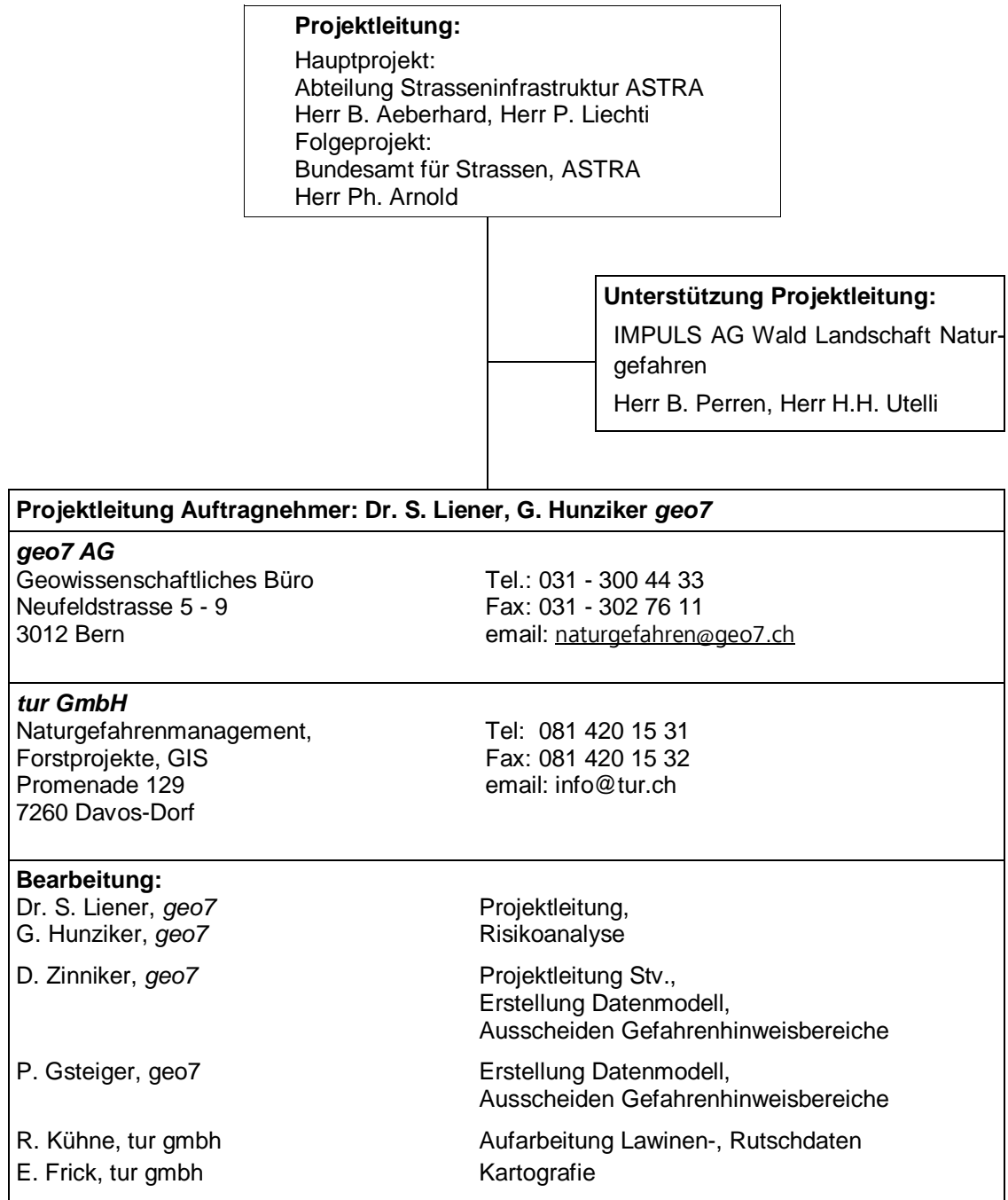
- Darstellung der Prozessräume von gravitativen Naturgefahren: Lawinen-, Sturz-, Wasser- und Rutschprozesse, welche die Nationalstrassen tangieren.
- Darstellung der Streckenabschnitte mit bestehenden Risiken bezüglich der genannten Naturgefahren. Innerhalb der verschiedenen betroffenen Streckenabschnitte können Prioritäten anhand eines Naturgefahrenindex gesetzt werden.

Damit dienen die Gefahrenhinweiskarten als Grundlage zur Festlegung der prioritären Perimeter für eine vertiefte Analyse der Naturgefahren.

1.4 Projektorganisation und Bearbeitung

Die *geo7 AG* und die *tur gmbh* haben sich für die Ausarbeitung der Gefahrenhinweiskarte Nationalstrassen Schweiz zu einer Arbeitsgemeinschaft zusammengeschlossen. Mit den dadurch zur Verfügung stehenden fachlichen und personellen Ressourcen konnte eine effiziente Bearbeitung der gestellten Aufgaben gewährleistet werden.

Die Arbeiten wurden in der nachstehenden Projektstruktur durchgeführt:



2 Berücksichtigte Prozesse

Die Gefahrenhinweiskarten Naturgefahren Nationalstrassen Schweiz berücksichtigen die Gefahrenprozesse: Lawinen, Sturz (Stein-/Blockschlag), Rutschung (Hangmuren und permanente Rutschungen), Murgänge und Hochwasser (Überflutung, Übersarung).

Tabelle 1: Naturgefahrenprozesse in den Gefahrenhinweiskarten

Hauptprozesse (HP)	Nebenprozess (NP)	berücksichtigt	Ergänzung evt. später möglich
Lawinengefahr	Fliesslawine	ja	-
	Staublawine	nein	ja
Sturzgefahr	Steinschlag, Blockschlag, kleine Felsstürze	ja	-
Wassergefahr	Übersarung, Überflutung	ja	-
	Übermuring	ja	-
Rutschgefahr	Rutschungen und Sackungen	(ja)	ja
	Hangmuren	ja	-
Einsturz/Absenkung	-	nein	ja

2.1 Lawinen

Unter Lawinen wird das Abgleiten der Schneedecke und die plötzliche, schnelle Talwärtsbewegung von Schnee als gleitende, fliessende oder rollende Masse verstanden. Staublawinen bestehen aus einem schwereren Fliessanteil, der sich entlang der Geländeoberfläche bewegt sowie der turbulenten Saltations- und Suspensionsschichten aus einem Schnee-Luft-Gemisch. Fliesslawinen hingegen weisen eine höhere Dichte und allgemein tiefere Geschwindigkeiten auf. In der Sturzbahn können durch Schneeaufnahme resp. – abgabe markante Volumenänderungen stattfinden. Dabei können auch beträchtliche Mengen an Fremdmaterial (Steine, Holz, usw.) mobilisiert und bewegt werden. Lawinenanrisse sind grundsätzlich in Flächen mit einer Neigung über 28° und Höhenlagen von über ca. 900 – 1'200 m ü. M. möglich.

Wald im Anrissgebiet beeinflusst den Schneedeckenaufbau und vermag die Lawinenbildung zu vermindern oder gänzlich zu verhindern. So wirken innerhalb von Beständen Faktoren wie Interzeption, gestörte Schneeschichtung, Mikroklima, Windschutz, erhöhte Bodenrauigkeit sowie aufrechte und liegende Stämme und Stöcke hemmend auf Lawinenanrisse. Wald im Transit- und Auslaufgebiet kann bremsend auf Fliesslawinen wirken.

Topographie und Vegetation bestimmen die Grunddisposition während Schneedeckenaufbau und Witterung (Niederschlag, Wind, Temperaturen) die variable Disposition zum Auftreten von Lawinen beeinflussen. Diese führen in ungünstiger Konstellation zu einer deutlich höheren Auslösebereitschaft, sind zeitlich aber begrenzt und relativ gut prognostizierbar. Das Lawinenrisiko ist somit zeitlich beschränkt, was die Bedeutung von organisatorischen Massnahmen erhöht. Aufgrund der hohen Druckwerte stellen Lawinen in ihrem Wirkungsbereich eine erhebliche Gefährdung von Personen und Sachwerten dar.

Unter Annahme der beschriebenen Waldwirkung sind für Risikoüberlegungen die Prozessräume von Lawinen mit Anrissgebieten ausserhalb von Wald relevant, welche das Schadenpotenzial betreffen können. Die Lawinenprozessräume umfassen Anriss-, Transit- und Auslaufgebiete.

2.2 Stein-/Blockschlag

Stein- und Blockschlag sind charakterisiert durch isolierte Sturzbewegungen (Fallen, Springen, Rollen) von Einzelkomponenten von bis zu mehreren Kubikmetern Grösse. Es werden Geschwindigkeiten bis zu 30 m/s erreicht. Bei Hangneigungen unter 30° kommen bewegte Steine und Blöcke im Allgemeinen zum Stillstand. Wald kann die kinetische Energie der Blöcke stark reduzieren.

Weitere Sturzprozesse nebst Stein-/Blockschlag sind Fels- und Bergsturz. Die Unterscheidung von Steinschlag, Fels- und Bergsturz erfolgt meist nach dem Volumen und dem Bewegungsmechanismus der abstürzenden Masse.

Beim Felssturz löst sich ein grösseres, in sich mehr oder weniger fragmentiertes Gesteinspaket «en bloc» aus dem Gebirgsverband und stürzt ab. Das verlagerte Volumen liegt meist zwischen 100 und mehreren 100'000 m³ pro Ereignis. Im Gegensatz zum Bergsturz sind die Interaktionen zwischen den Sturzkomponenten und der dabei entstehende Energieaustausch relativ gering. Ein Bergsturz ergibt sich aus dem gleichzeitigen Loslösen sehr grosser Gesteinsmassen (1 Mio. bis mehrere Mio. m³). Der Verlagerungsprozess des Bergsturzes wird durch die Topographie sowie die Fragmentierung der Gesteinsmasse und die Interaktion zwischen den Bruchstücken bestimmt.

Für mittlere und grössere Felsstürze sowie für Bergstürze haben Waldflächen keine Schutzfunktion. Für das Projekt SilvaProtect-CH wurde der Prozess Stein-/Blockschlag modelliert. Fels- und Bergsturzgebiete wurden nicht ausgeschieden.

2.3 Murgänge

Die Hochwassergefahren umfassen ein breites Spektrum verschiedener Prozesse mit unterschiedlichen Wirkungsmechanismen.

Bei **steilen Gewässern** (Wildbächen) spielen neben den reinen Wasserprozessen (Überflutung) vor allem die mit intensiven Feststoffverlagerungen verbundenen Gefahren eine wichtige Rolle.

Als steile Fliessgewässer (Wildbäche) werden oberirdische Gewässer mit zumindest streckenweise grossem Gefälle, rasch und stark wechselndem Abfluss und zeitweise hoher Feststoffführung bezeichnet. Die dabei auftretenden Vorgänge werden mit den Teilprozessen Überflutung, Übersarung und Übermurung beschrieben. Häufig spielen begleitende Prozesse wie das Mitführen von Schwemmholtz, Erosionsprozesse oder Geschiebeablagerungen eine entscheidende Rolle.

Murgänge sind langsam bis schnell fliessende Gemische von Wasser und Feststoffen mit einem hohen Feststoffanteil von ca. 30% bis 60%. Murgänge gehen häufig in mehreren Schüben nieder und treten in Wildbachgerinnen sowie auf steilen Schutthalden auf. Sie stellen für den Siedlungsraum und Verkehrsträger ein grosses Gefahrenpotenzial dar.

Murganganrisse können sich dort bilden, wo ein minimales Geschiebepotenzial vorhanden ist und die Hangneigung sowie der mögliche Abfluss für die Entstehung von Murgängen ausreichen. Der Wald vermindert die für die Geschiebeaufbereitung und Geschiebelieferung massgebenden Hangprozesse (Rutschungen und Oberflächenerosion) und reduziert dadurch das vorhandene Geschiebepotenzial. Murgänge werden aufgrund dieser Schutzwirkung des Waldes in ihrem Ausmass und in ihrer Reichweite vermindert.

Die für das Geschiebepotenzial massgebenden Hangprozesse in den Wildbacheinzugsgebieten treffen in der Regel nicht direkt auf ein Schadenpotenzial und sind somit nicht direkt schadenpotenzialrelevant. Sie gefährden die Siedlungsgebiete jedoch indirekt über Murgänge, welche den Kegelbereich tangieren und dadurch die Siedlungsräume gefährden.

2.4 Überflutung und Übersarung

Überflutungen treten dann auf, wenn das Abflussvermögen eines Gewässers überschritten wird und Wasser über die Ufer austreten kann. Oft spielen begleitende Prozesse wie das Mitführen von Schwemmholz, Geschiebeablagerungen im Gerinne oder Dammbrüche eine entscheidende Rolle. Man unterscheidet zwischen statischer (Kriterium: Wasserpegel) und dynamischer (Kriterium: Produkt von Fliessgeschwindigkeit x Abflusshöhe) Überflutung. Hohe Intensitäten treten auf, wenn im Überflutungsbereich grössere Wassertiefen oder starke Strömungen, oft auch Erosion, möglich sind.

Übersarung tritt dort auf, wo Feststoffe (Geschiebe) durch fliessende Wassermassen («fluvialer Geschiebetransport») ausserhalb des Gerinnes, abgelagert werden. Dies tritt meist im Bereich von Schwemmkegeln auf. Die Hauptschadenwirkung ergibt sich aus den mächtigen Ablagerungen von Geröll und Schutt.

Während die steilen Fliessgewässer aufgrund ihrer Lage in den oberen und dadurch kleineren Einzugsgebieten in der Regel eher auf kurze, heftige Gewitter reagieren, sind es bei den Talflüssen eher länger dauernde, ausgedehntere Niederschlagsereignisse, welche Überflutungen und teilweise Übersarungen verursachen.

2.5 Hangmuren/spontane Rutschungen

Rutschungen sind hangabwärts gerichtete Bewegungen von Hangteilen aus Fels- und / oder Lockergesteinen an mässig geneigten bis steilen Böschungen, die als Ergebnis eines Scherbruchs an der Untergrenze der bewegten Massen stattfinden. Natürliche Instabilitäten dieser Art sind in der Schweiz häufig und weisen eine grosse Vielfalt von Erscheinungsformen auf. Sehr viele dieser Rutschungserscheinungen sind alt und heute weitgehend ruhig («schlafend»), können aber allmählich oder plötzlich neu belebt werden. Bei Rutschungen spielt das Wasser meist eine entscheidende Rolle, sei es durch die Wirkung von Porenwasserdruck, von Sickerströmung oder von Quelldruck infolge des Quellens von Tonmineralen.

Von besonderer Bedeutung sind die Hangmuren, welche sich am freien Hang, unabhängig von einem Gerinne, ereignen. Sie sind oberflächlich abfahrende, schnellfliessende Gemische aus Lockergestein (meist nur Boden und Vegetation) und viel Wasser. Der verhältnismässig grosse Wasseranteil hat eine grosse Prozessgeschwindigkeit (1 - 10 m/s) mit entsprechend zerstörender Wirkung zur Folge. Er führt auch dazu, dass die von der Materialverfrachtung betroffene Fläche oft um einen Faktor von 10 bis 100 grösser ist als die oftmals sehr kleine Anrissfläche. Falls eine Hangmure den Weg in ein Gerinne nimmt, kann sie dort zur Entwicklung eines grösseren Murganges beitragen.

Besonders disponiert für Hangmuren sind steile Hänge, die mit gering durchlässigen, erosionsanfälligen Quartärbildungen bedeckt sind. Hangmuren entstehen oft an Stellen mit Quellaustritten oder als Sekundärbildungen von meist flachgründigen Rutschungen. Die Auslösung erfolgt bei Starkniederschlägen, nach langandauernden Regenperioden oder auch bei intensiver Schneeschmelze.

Für das Projekt SilvaProtect-CH wurden ausschliesslich flachgründige Bodenrutschungen (soil slips/spontane Rutschungen) und Hangmuren modelliert.

2.6 Permanente Rutschungen/Sackungen

Permanente Rutschungen weisen grundsätzlich den gleichen Mechanismus wie im vorhergehenden Abschnitt beschrieben auf. Es handelt sich um Pakete aus Fels- und/oder Lockergestein, welche sich aufgrund eines Scherbruchs hangabwärts bewegen. Sackungen sind durch höhere vertikale Bewegungsbeträge charakterisiert, wobei der Übergang fliessend und die Wirkungsweise ähnlich ist. Die Aktivität von permanenten Rutschungen/Sackungen kann zeitlich variabel sein. Sowohl die Reaktivierung einer zeitweise stabilen Masse als auch eine Abschwächung der Bewegung ist möglich, dies unter anderem aufgrund von Veränderungen im Wasserangebot (BRP 1997).

Im Gegensatz zu spontanen Rutschungen und Hangmuren sind permanente Rutschungen und Sackungen langsam ablaufende Prozesse mit grösserem bewegtem Volumen. Es gleiten Schichten oder Schichtpakete auf einer bestehenden Schwächezone in Form von Schicht-, Schieferungs-, Kluft- oder Bruchflächen ab. Vor allem Gebiete mit Kalk-/Mergelschiefern, Flysch oder metamorphen Schiefern neigen zur Ausbildung von permanenten Rutschungen und Sackungen. Bei Mächtigkeiten von bis zu mehreren Zehnern von Metern kann die flächige Ausdehnung bis mehrere km² erreichen. Die Bewegungsbeiträge reichen normalerweise von einigen mm (substabil) bis zu mehreren dm (aktiv) pro Jahr. In seltenen Fällen werden Verschiebungen von mehreren Dezimeter im Tag erreicht, wobei auch Beträge von mehreren Metern möglich sind.

Aufgrund der langsamen Bewegungen betrifft die von permanenten Rutschungen und Sackungen ausgehende Gefährdung ausschliesslich Sachwerte wie Infrastruktur, Gebäude oder Wald. Die Beschädigung besteht aus Rissbildung und Verkippen.

3 Methodisches Vorgehen zur Erstellung der Gefahrenhinweiskarte

3.1 Grundlagendaten und deren Aufbereitung

Für die Ausscheidung der gefährdeten Nationalstrassenabschnitte und die Berechnung des Naturgefahrenindex wurden die folgenden Daten verwendet, respektive aufbereitet:

Tabelle 2: Zusammenstellung der verwendeten Grundlagen

Thema	Datensatz	Stand	Datenherr
Darstellungsgrundlagen	▪ PK25		swisstopo
Gefahrenhinweisprozesse	▪ Modul Event aus SilvaProtect CH (prozessspezifische Gefahrenhinweisflächen)	2006 / 2008	BAFU
	▪ Aquaprotect	2008	BAFU
	▪ Geologische Generalkarte	2007	swisstopo
Schadenpotenzial	▪ Vector25: Strassennetz	2007	swisstopo
	▪ Nebenanlagen	2007	ASTRA
	▪ Verkehrsdaten (DTV)	2002 - 2006	ASTRA

Die Gefahrenhinweiskarten bilden den Stand der verwendeten Daten ab. Um Änderungen im Schadenpotenzial oder bei der Prozessmodellierung zu berücksichtigen, müssten die Prozessräume neu mit dem Schadenpotenzial überlagert und die Karten neu erstellt werden.

3.1.1 Darstellungsgrundlagen

Als Darstellungsgrundlage wurde die digitale Landeskarte der Schweiz (PK25) im Massstab 1:25'000 verwendet.

3.1.2 Gefahrenhinweisprozesse

Die prozessspezifischen Gefahrenhinweisflächen konnten aus dem Projekt SilvaProtect CH, aus Aquaprotect sowie aus der digitalen geologischen Karte übernommen werden. Verwendet wurden die Daten aus dem Datensatz des Moduls EVENT von SilvaProtect CH, welches im Wesentlichen die Prozessflächen umfasst. Da die Daten nur für die Hauptprozesse vorliegen, wurden die Nebenprozesse nicht berücksichtigt. Aus Aquaprotect wurden die Überflutungsflächen der 500-jährigen Wiederkehrdauer als Berechnungsgrundlage gewählt.

Murgang, Steinschlag, Hangmuren

Im Rahmen des Projektes SilvaProtect-CH, Modul Event des BAFU wurden u.a. die Gefahrenhinweisflächen für die Prozesse Sturz, Hangmuren/spontane Rutschungen und Murgang schweizweit modelliert (vgl. [7]).

Die für SilvaProtect-CH eingesetzten Modelle sind bewährte 3D-Modelle, welche seit Jahren für die Erarbeitung der kantonalen Gefahrenhinweiskarten im Massstab 1:25'000 eingesetzt wurden.

Damit die Modellierungsergebnisse für die ganze Schweiz vergleichbar sind, wurden als Modell-Input ausschliesslich schweizweit verfügbare, einheitliche digitale Datengrundla-

gen verwendet. Die wichtigste digitale Grundlage bildet das Höhenmodell DHM25/10, welches als 10 m - Grid zur Verfügung gestellt wurde. Für Hangmuren/Rutschungen sowie für Murgänge bildet der geologische Untergrund eine zentrale Eingangsgrösse. Hierzu wurde, mangels detaillierter Alternativen, die neue Geotechnische Karte der Schweiz 1:200'000 der Schweizerischen Geotechnischen Kommission SGTK verwendet.

Im Rahmen des Projektes SilvaProtect-CH wurde folgende Vorgehensweise angewandt:

- **Stein-/Blockschlag:** Die Trajektorien wurden mit dem 3D-Steinschlagmodell Geotest+Zinggeler (vgl. [12]) berechnet. Innerhalb der definierten Ausbruchzonen wurden Startpunkte mit einem gegenseitigen Abstand von 20m generiert. Ausgehend von diesen Punkten wurde der Sturz eines Blockes als Abfolge von Kontaktreaktionen des Blockes mit dem Untergrund, Flugparabeln sowie von Rollprozessen modelliert. Die Ausbruchzonen sind mit der Verwendung der 'Felsmasken' (Abmaskierung des Relieftons über der Felszeichnung auf der LK25) und einem gegenseitigen Abstand der Startpunkte von 20m gut abgebildet. Für die Geländeparameter werden jedoch (analog den kantonalen Hinweiskarten) lediglich standardisierte, eher pessimistische Modellparameter eingesetzt. Dadurch zeigen die ermittelten Prozessräume, welche Gebiete bei ungünstigen Voraussetzungen betroffen sein könnten. Die modellierten Trajektorien können kleinräumige Situationen bezüglich der Topographie (DHM) nicht abbilden. Schutzbauten wurden bei der Modellierung nicht berücksichtigt. Ausnahmen bilden grössere Geländeschüttungen (Schutzdämme), welche sich morphologisch im DHM25/10 abzeichnen.
- **Hangmuren/Rutschungen:** Die Modellierung des Prozesses Hangmure ist zweistufig. Zuerst wurden mit dem Modell SliDisp (vgl. [11]) die Anrissflächen modelliert. Anschliessend wurden mit dem Modell SlideSim die Transit- und Auslaufbereiche berechnet. Die Teilprozesse, welche zur Auslösung einer spontanen Rutschung oder einer Hangmure führen, sind komplex und die räumliche Variabilität der zugrundeliegenden Einflussfaktoren ist sehr hoch: So kann z.B. der Aufbau und die Mächtigkeit des Lockermaterials lokal recht stark variieren. Bei der Kohäsion des Lockermaterials kommt eine hohe zeitliche Variabilität hinzu. Die schweizweit verfügbaren einheitlichen Datengrundlagen zeigen massstabsbedingt eine starke Generalisierung und können daher dieser Variabilität nicht genügend Rechnung tragen. Die Modellierung der Hangmuren ergibt generell ein eher pessimistisches Bild. Effektive Hangmurenereignisse betreffen nur einen geringen Flächenanteil der modellierten Prozessfläche. Zudem können die Auslaufzonen bei Hangmuren und insbesondere bei spontanen Lockermaterialrutschungen oft kürzer sein als die modellierten Trajektorien.
- **Murgang:** Die Murgang-Trajektorien wurden mit dem Programmpaket MGSIM/ dfwalk simuliert (vgl.[6]), welches in einem ersten Schritt die Murganganrissgebiete bestimmt. Ausgehend von den Anrissen wurde die Reichweite und Ausbreitung der Murgänge modelliert. Es wurden ausschliesslich Murgänge im Gerinne modelliert. Murgänge im Hang (beispielsweise in alpinen Schutthalden) wurden als Hangmuren ausgeschieden und sind als Hangmurentrajektorien abgelegt. Andere geschiebeführende Prozesse im Gerinne (Geschiebetransport, Erosion, Übersarung) sind im Prozessraum Murgang nicht enthalten.

Im Rahmen des Projektes SilvaProtect CH wurden die Modellresultate in einem Datenmodell (vgl. [8]) beschrieben und in einer Geodatenbank unter ArcSDE abgelegt. In diese Datenbank wurden alle Informationen der verschiedenen Module integriert und bildeten die Grundlage für die Anwendungsapplikation.

Für die Prozesse Stein-/Blockschlag, Hangmuren/Spontanrutschungen und Murgänge beinhaltet die Datenbank die Prozessbereiche in Form von Prozessstrajektorien.

Tabelle 3: Prozessstrajektorien aus dem Projekt Silvaprotect-CH

Thema	Anzahl Elemente
Stein-/Blockschlag	9.3 Mio. Sturz-Trajektorien
Hangmuren/spontane Rutschungen	47.6 Mio Hangmuren-Trajektorien
Murgänge	6.7 Mio Murgang-Trajektorien

Für die Ausscheidung der gefährdeten Abschnitte der Nationalstrassen, werden die Prozessstrajektorien aus dem Projekt SilvaProtect CH übernommen und weiterverarbeitet.

Überflutung und Übersarung von steilen Gerinnen

In einem Folgeprojekt wurde Silvaprotect CH um die Prozesse Übersarung und Überflutung von steilen Gerinne (Gerinneneigung > 3 %) erweitert (siehe [9]). Die Grundlagendaten (Reliefparameter, Geschiebe) wurden aus dem Hauptprojekt SilvaProtect-CH übernommen. Die Simulation der Übersarung und Überflutung für sämtliche Gerinne steiler als 3% erfolgte mit dem Programmpaket WGSIM/ dfwalk gemäss folgendem Ablaufschema:

Übernahme der Grundlagendaten (Reliefparameter, Geschiebe) aus dem Hauptprojekt SilvaProtect-CH



Ausscheidung der Ausbruchstellen für Überflutung und Übersarung:
Modell **WGSIM**



Modellierung der Reichweite und Ausbreitung für Überflutung und Übersarung:
Modell **WGSIM**



Nachbereitung der Prozessflächen für Überflutung und Übersarung:
Modell **WGSIM**

Die Modellresultate wurden als überlagernde Polygone, im Shape-Format abgelegt. Zusätzlich zu den Prozessflächen wurden die zugehörigen Ausbruchstellen, getrennt nach Prozess geliefert. Mit den vorliegenden Daten kann zu jeder Ausbruchstelle die zugehörige Überflutungs- resp. Übersarungsfläche zugeordnet werden. Die Zuordnung erfolgt über das Attribut ID.

Überflutung von flachen Gerinnen

Das BAFU hat im Rahmen von Aquaprotect in Zusammenarbeit mit Fachexperten der Swiss Re Flutzonen für Überflutungen ausgeschieden (vgl. [1]). Dabei wurde folgendes Verfahren angewendet:

Die Methode von Aquaprotect berücksichtigt für einen beliebigen Geländepunkt drei Parameter: die horizontale und vertikale Distanz eines Punktes zum Gewässer sowie die

Grösse des Teileinzugsgebietes. Aus diesen Parametern und mit weiteren Faktoren werden für die 50, 100, 250 und 500-jährliche Wiederkehrdauer Flutzonen bestimmt. Bereits bestehende Schutzbauten sind dabei nicht berücksichtigt, die Zonen widerspiegeln demzufolge die potentielle Überschwemmungsfläche, falls vorhandene Schutzbauten versagen sollten.

Sämtliche Flutzonen wurden nach der automatischen Erstellung durch Intermap kontrolliert und wo nötig von Hand überarbeitet.

Aquaprotect kann Hinweise auf mögliche Überflutungen liefern. Die ausgeschiedenen Flutzonen weisen gemäss Datenbeschreibung [1] nicht die Qualität einer Gefahrenhinweiskarte auf.

Da Schweizweit keine anderen homogenen Daten zur Überflutung von flachen Gewässern zur Verfügung stehen, wurden die Überflutungsflächen der 500-jährigen Wiederkehrdauer aus Aquaprotect als Berechnungsgrundlage für die Gefahrenhinweiskarten Nationalstrassen gewählt.

Lawinen

Die Prozessflächen der Lawinenprozesse (Fliesslawinen) wurden durch die eidgenössische Forschungsanstalt WSL, resp. das Institut für Schnee- und Lawinenforschung SLF modelliert. Für die Berechnungen wurde das zweidimensionale Modell nach Voellmy-Salm verwendet. Dieses beschreibt die Lawine als nicht-stationäre Fließbewegung in einem quasi-dreidimensionalen Gelände. Modelliert wurden nur Fliesslawinen, also der relativ schwere, am Boden fließende Teil einer Lawine. Das schweizweit in einheitlicher Qualität verfügbare digitale Höhenmodell DHM25/10 stellt die topographische Grundlage der Berechnungen dar. Die Abhängigkeit der Berechnungsparameter von der geographischen Lage sowie die zur Verfügung stehende Rechenleistung machte eine Aufteilung der Schweiz in 30 Teilgebiete nötig.

Es erfolgte eine Unterteilung in bewaldete und unbewaldete Anrissgebiete. Potenzielle Lawinenanrissgebiete wurden zwischen Hangneigungen von 28° – 60° ausgeschieden, wobei zusätzlich die Kriterien minimale Anrissgebietsfläche von 5000m^2 und minimale Länge des Anrissgebiets von 50 m erfüllt sein mussten. Die Anrissmächtigkeit von Lawinen mit einer theoretischen Wiederkehrperiode von 300 Jahren wurde für jedes Teilgebiet mittels extremwertstatistischer Analysen von Messdaten langjähriger Stationen ermittelt. Die minimale Höhe über Meer, bei der grössere Lawinenereignisse noch auftreten können, wurde nordalpin bei 900 m, inneralpin bei 1100 m und südalpin bei 1200 m festgelegt. Da die Reibungsparameter in Abhängigkeit der Lawinengrösse variieren, wurde zusätzlich eine Aufteilung nach Anrissvolumen in die Lawinengrössen Kategorien klein ($V < 25'000\text{m}^3$), mittel und gross ($V > 60'000\text{m}^3$) vorgenommen. Das Resultat der Modellierungen sind flächige Prozessräume, welche Anriss-, Transit- und Auslaufgebiet des jeweiligen Lawinenzugs umfassen. Die Berechnungen wurden so aufgebaut, dass der Auslaufbereich jeder Lawine zum entsprechenden Anrissgebiet zurückverfolgt werden kann. Für die Berechnung der modellierten Fläche von über $25'000\text{km}^2$ waren insgesamt ca. 10'000 Simulationsdurchgänge nötig (Gruber et al. 2006).

Die Qualität der Berechnungsergebnisse entspricht grundsätzlich den Ansprüchen des vorliegenden Projekts. Unsicherheiten in der Parameterwahl, das mögliche gleichzeitige Losbrechen benachbarter Anrissgebiete, die modellbedingte vereinfachte Abbildung des Prozesses sowie die nicht berücksichtigte Wirkung von Schutzbauten machen aber die kritische Betrachtung der Resultate nötig. Im vorliegenden Projekt wurden die Lawinenprozessräume mit Anrissgebieten ausserhalb von Wald mit mittleren und grossen Anrissvolumina verwendet. Aufgrund einer systematischen Überschätzung der kleinen Anrissgebiete wurden diese nicht berücksichtigt.

Permanente Rutschungen/Sackungen

Aufgrund der über längere Zeit ablaufenden Prozesse sind Gebiete mit vorhandenen permanenten Rutschungen/Sackungen in der Regel bekannt. Neu auftretende Gebiete sind hingegen nicht oder nur schwer prognostizierbar.

Im vorliegenden Projekt wurden die Rutschungen und Sackungen aus der digitalen geologischen Karte der Schweiz (swisstopo 2007) verwendet. Diese wurden aus den geologischen und tektonischen Karten der Schweiz extrahiert und liegen als Vektordatensätze (Polygone) vor. Damit steht eine schweizweit vorhandene Grundlage in genügender und homogener Qualität zur Verfügung, welche die Berücksichtigung von permanenten Rutschungen und Sackungen in den Gefahrenhinweiskarten ermöglicht.

Die digital vorhandenen Daten aus der Geotechnischen Karte der Schweiz konnten aufgrund der fehlenden Lagegenauigkeit nicht verwendet werden.

3.1.3 Schadenpotenzial

Als Schadenpotenzial gelten die eigentliche Nationalstrasse (Strasse, Rampen, Zubringer) sowie die Nebenanlagen (Raststätten, Rastplätze, Parkplätze, Werkhöfe, Polizeistützpunkte und Zollanlagen). Die zugrunde liegenden Datensätze des ASTRA und der swisstopo umfassen Linien-, Polygon- und Punktobjekte. Aufgrund verschiedener Unstimmigkeiten (unvollständig, widersprüchlich, fehlerhaft) im Datensatz der Achsen, Rampen und Zubringer wurde an der Sitzung vom 07.12.2007 entschieden anstelle der Strassenachsen des ASTRA den vollständigen Datensatz des Vector25 der swisstopo zu verwenden. Aus dem Datensatz des ASTRA wurden die Nebenanlagen übernommen.

Strassenanlagen

Als Grundlage für das Strassennetz wurden die Daten des Vector25 der swisstopo (Ebene Strassennetz) verwendet. Dazu wurden die Strassenachsen aus dem Gesamtdatensatz extrahiert und das zu verwendende Strassennetz in einem mehrstufigen Verfahren aufgrund von verschiedenen Attributen zusammengestellt.

- Aus dem Gesamtdatensatz wurden alle Objekte mit der folgenden Bedingung in eine Featureclass als Zwischenergebnis exportiert:
`OBJECTVAL IN ('A_Zufahrt', 'Autob_Ri', 'Autobahn', 'Autostr', 'Ein_Ausf') AND STRADA_ID = ''`
- Über die Bedingung `STRADA_ID <> ''` wurde eine weitere Featureclass als Zwischenergebnis gespeichert.
- Die so erfassten Geometrieobjekte des Vector25-Datensatzes wurden mit dem Datensatz des ASTRA überprüft und bereinigt:
 - STRADA_ID: Elemente, welche im UH-Peri nicht enthalten sind, werden gelöscht.
 - OBJECTVAL: Elemente, die nicht eindeutig einer Autobahn oder Autostrasse (UH-Peri) zugewiesen sind, werden entfernt. Eine Ausnahme bildet die Strasse Landquart Davos, welche in Absprache mit der Projektleitung bereinigt wurde.
 - fehlende Elemente in Verzweigungsbereichen wurden ergänzt.

In der nachfolgenden Grafik sind alle Elemente, welche aus dem Datensatz entfernt wurden, grün dargestellt. In der Regel handelt es sich um kantonale Autobahnen oder Schnellstrassen.

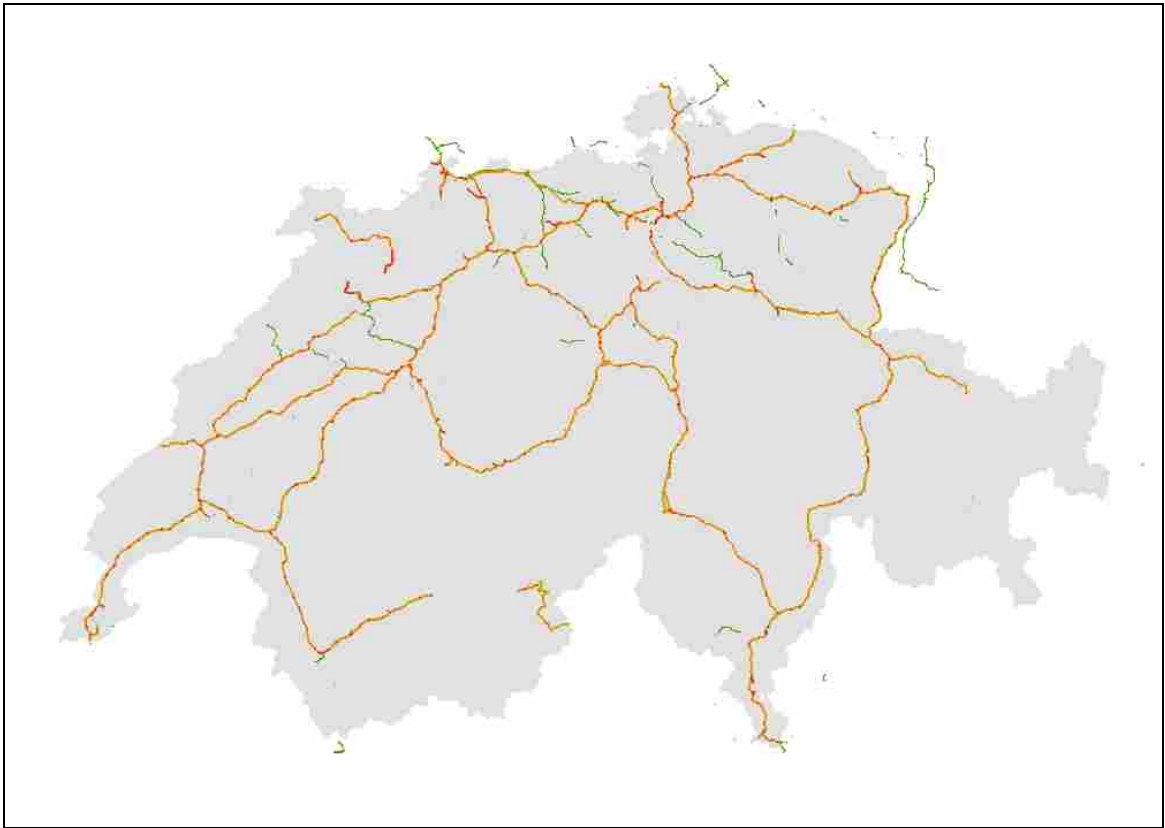


Abbildung 1: Verwendetes Nationalstrassennetz:
orange = Strassenabschnitte mit Strada-ID welche sowohl im Vector25 wie auch im Datensatz ASTRA enthalten sind
rot = Strassenabschnitte des Vector25 ohne Strada-ID, die jedoch im ASTRA-Datensatz enthalten sind
grün = Strassenabschnitte des Vector25 ohne Strada-ID, die nicht im ASTRA-Datensatz enthalten sind. Diese Elemente wurden gelöscht.

Nebenanlagen

Die Nebenanlagen umfassen Informationen zu Raststätten, Rastplätzen, Parkplätzen, Polizeistützpunkten, Zollanlagen und Werkhöfen. Die Daten wurden aus der Datenbank UH-Peri des Astra direkt übernommen. Die Datenlieferung vom 16.11.2007 umfasste die Formate Punkte, Polygone und Linien. Für den Einsatz im vorliegenden Projekt wurden die Daten wie folgt aufbereitet:

- Mit Ausnahme der Überführungen (1420) und der Unterführungen (1430) wurden sämtliche Bauwerkstypen übernommen.
Das Ergebnis enthält folgende Bauwerkstypen: Werkhof (1810), Polizeistützpunkt (1820), Zollanlage (1840), Rastplatz (1850), Raststätte (1860) und Parkplatz (1870)
- Punktinformationen wurden nur übernommen, wenn sie ausserhalb bereits verwendeter Flächen liegen. Um die Punkte ebenfalls in der Flächengeometrie (Polygone) verarbeiten zu können, erfolgte durch Pufferung mit einem Abstand von 20 Meter eine Überführung in ein Flächenobjekt.
- Linienelemente wurden nicht übernommen, da sich diese bereits alle schon innerhalb von Flächenobjekten befanden.
- Problemfälle wurden mit der Projektleitung (Bernhard Perren) durchgesehen und in klaren Situationen bereinigt oder gelöscht.

Verkehrsdaten (DTV)

Die Verkehrsdaten umfassen Angaben zum durchschnittlichen Tagesverkehr (DTV) und flossen in die Berechnung des Naturgefahrenindex ein.

Für die Verwendung der DTV Angaben in der Risikoanalyse waren die an den Zählstellen gemessenen Werte auf den Achsen des Strassennetzes abzubilden. Dazu wurden folgende Regeln etabliert:

- Zwischen zwei benachbarten Zählstellen auf demselben Objekt STRASSE wechselt der DTV-Wert in der Mitte, zwischen den beiden Zählstellen oder am Ort des Wechsels der Anzahl Fahrspuren.
- Der erste/letzte gemessene DTV-Wert auf einem Objekt STRASSE gilt ab Anfang bis zum Ende des Objektes STRASSE.
- Wo ein Objekt STRASSE in den Geodaten über 2 Achsen modelliert wird, wird der DTV-Wert hälftig auf die beiden Achsen verteilt.

Datenbasis

Die massgeblichen Verkehrsdaten wurden vom Auftraggeber als Excel-Tabelle bereitgestellt. Der DTV-Datensatz ist georeferenziert (KOORDINATE OST, KOORDINATE NORD). Er bildet zu allen Zählstellen die Entwicklung des DTV 2002 – 2006 ab. Projektrelevant sind alle Zählstellen, die in der Spalte STRASSE eine Nationalstrasse (A *) referenzieren. Für die Risikoberechnung massgebend ist der in der Tabelle ausgewiesene MITTELWERT 2002 – 2006. Die Verwendung eines Mittelwertes über 5 Jahre erlaubt es kurzfristige Unregelmässigkeiten, z.B. aufgrund von Baustellen, auszugleichen.

Es wurde folgende Aufbereitung durchgeführt:

Die im DTV Datensatz referenzierten Objekte STRASSE sind auf dem verwendeten Strassennetz von swisstopo nicht bekannt und mussten zuerst gebildet werden. Die Analyse der swisstopo Vektorgeometrie ergab, dass die im DTV-Datensatz referenzierten Objekte STRASSE weitgehend aus den im Strassennetz von swisstopo bekannten Objekten STRADA_ID zusammengesetzt werden können.

Die Aufbereitung umfasste folgende Schritte:

1. Berechnung der Geometrien der Objekte STRADA_ID, basierend auf Vector25.
2. Attributierung der Objekte STRADA_ID mit einer Routennummer RGEO7 für alle Objekte, denen DTV-Zählstellen eines Objekts STRASSE zugewiesen werden können. Richtungsgetrennte Abschnitte bilden 2 Objekte RGEO7.
3. Kilometrierung der Objekte RGEO7, basierend auf SHAPE.LENGTH.
4. Verortung der DTV-Zählstellen auf den kilometrierten Objekten RGEO7.
5. Berechnung der Abschnitte mit gleichbleibenden DTV-Werten auf den Objekten RGEO7, gemäss definierten Regeln.
6. Halbierung der DTV-Werte auf richtungsgetrennten Abschnitten.

3.2 Berücksichtigung von Schutzmassnahmen

Auf Stufe Gefahrenhinweiskarte werden generell – wie auch im vorliegenden Projekt – bestehende Schutzmassnahmen (Schutzbauten, Warnanlagen, organisatorische Massnahmen, Wald) gegen Lawinen, Rutschungen, Steinschlag, Murgänge und Hochwasser nicht berücksichtigt. Es wurden lediglich Schutzbauten berücksichtigt, welche sich morphologisch im Geländemodell abzeichnen, das heisst grössere Geländeschüttungen wie z.B. Schutzwälle, Schutzdämme und ähnliche.

Ebenfalls nicht berücksichtigt wurden Brücken und Galerien, da bei der Verwendung der vorhandenen Datengrundlagen eine zu grosse Unsicherheit bezüglich deren Wirkung im Zusammenhang mit den verschiedenen Gefahrenprozessen besteht.

Als Schutzbauten gegenüber den Prozessen Lawine, Sturz, Hangmure und Murgang berücksichtigt wurden hingegen Tunnel mit einer Länge > 100 m. Im Bereich der Portale wurde ein Pufferbereich von 50 m ab Portal ausgeschieden, in welchem die Gefahrenprozesse eine Gefährdung darstellen können.

Die resultierenden Gefahrenhinweisflächen sind daher etwas überzeichnet. Damit wird aber gewährleistet, dass potenzielle Konfliktstellen (Risikoverdachtsflächen) erkannt werden.

Wälder können einen guten Schutz vor Lawinenanriss, Anriss von Hangmuren und Steinschlag bilden. In den vorliegenden Modellierungen wurde die Schutzwirkung des Waldes in den potenziellen Lawinenanrissgebieten berücksichtigt. D.h. es wurden nur Lawinen aus Anrissgebieten ausserhalb des Waldes dargestellt. Diese Schutzwirkung ist erfahrungsgemäss bewährt und grossflächig. Eine Nichtberücksichtigung dieser Wirkung hat grossflächige Gefahrenggebiete zur Folge, welche in der Realität so nicht vorhanden sind und damit den Nutzwert der Gefahrenhinweiskarte erheblich vermindern. Bei den übrigen Prozessen ist die Waldwirkung mit wesentlich grösseren methodischen und grundlegenden Unsicherheiten behaftet und wurde daher nicht berücksichtigt.

Die Berücksichtigung der Schutzmassnahmen muss auf Stufe Gefahrenkarte erfolgen, wo detaillierte Abklärungen bezüglich der Funktionstauglichkeit und die Beurteilung der Schutzwirkung erforderlich sind.

3.3 Perimeter

Im Projekt werden folgende Perimeter verwendet:

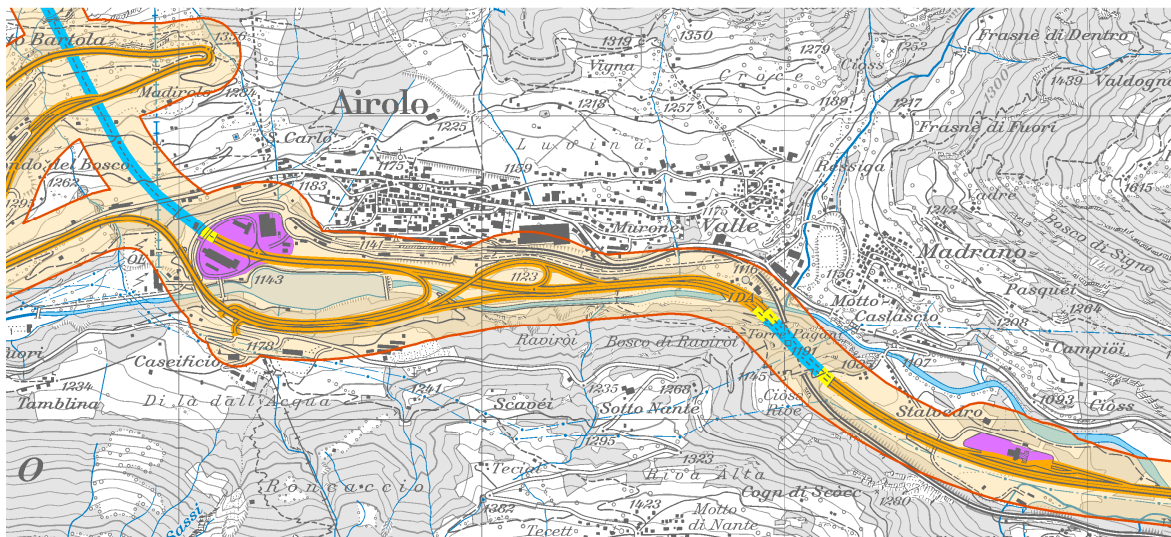
Tabelle 4: Perimeter

Perimeter	Inhalt
Perimeter Schadenpotenzial	Der Perimeter Schadenpotenzial wird definiert durch das Schadenpotenzial und dessen Umgebung bis zu einem allseitigen Pufferabstand von 100 m um die Strassenachsen und die Nebenanlagen (ausgenommen Tunnelstrecken). Er stellt diejenigen Bereiche dar, in welchen Einwirkungen der Gefahrenprozesse zu erwarten sind. Der Einbezug der näheren Umgebung des Schadenpotenzials dient dazu, auch an das Schadenpotenzial angrenzende Prozessräume zu erfassen, die bei einer vertieften Gefahrenbeurteilung mit beurteilt werden sollten.
Perimeter Gefahrenpotenzial	Der Perimeter Gefahrenpotenzial umfasst sämtliche Prozessflächen welche den Perimeter Schadenpotenzial berühren.
Perimeter Risikoanalyse	Der Perimeter Risikoanalyse stellt denjenigen Perimeter dar, in welchem die Risikoanalyse durchgeführt wurde. Er umfasst den Bereich der Strasse und der Nebenanlagen.

3.3.1 Perimeter Schadenpotenzial

Der Perimeter Schadenpotenzial umfasst den Bereich von 100 Metern um die Strassenachsen und die Nebenanlagen. Art und Wirkungsgebiet von Gefahrenprozessen, die näher als 100 Meter an das Schadenpotenzial (Nationalstrassennetz und Nebenanlagen) heranreichen, sind in diesem Perimeter auszuweisen.

Abbildung 2 zeigt den Perimeter Schadenpotenzial und die für die Risikoanalysen relevanten Strassenabschnitte und Flächen der Nebenanlagen.



Grundlagen: UHP, Daten Mistra, PK25 © swisstopo (RP ASTRA DV82600 1563)

Abbildung 2: Darstellung des Perimeter Schadenpotenzial und des Schadenpotenzials:
 Perimeter Schadenpotenzial = hellrot; relevante Strassenachsen = orange,
 Tunnel = blau, Tunnelportalbereich (50 m) = gelb, Nebenanlagen = purpur

3.3.2 Perimeter Gefahrenpotenzial

Der Perimeter Gefahrenpotenzial umfasst sämtliche Prozessflächen, welche den Perimeter Schadenpotenzial berühren.

3.3.3 Perimeter Risikoanalyse

Strassen

Im Perimeter Schadenpotenzial sind auf den Strassenachsen die Risiken für jene Gefahrenprozesse auszuweisen, welche die Strassenachsen queren. Relevant für die Prozesse Murgang, Steinschlag, Hangmuren, Fliesslawinen und Überflutung/Übersarung sind alle Strassenachsen ausserhalb von Tunnels sowie die ersten 50 Meter innerhalb der Tunnels. Für die permanenten Rutschungen sind alle Strassenachsen relevant.

Nebenanlagen

Im Perimeter Schadenpotenzial sind ferner auf den Nebenanlagen die Risiken für jene Gefahrenprozesse auszuweisen, welche Nebenanlagen tangieren. Bei sich räumlich überlagernden Nebenanlagen bildet die äusserste Grenze (Umhüllende) der verschiedenen sich überlagernden Anlagen den massgeblichen Perimeter.

3.4 Methodik zur Aufbereitung der synoptischen Gefahrenhinweisbereiche

Grundlage für die Erstellung der synoptischen, alle Prozesse umfassenden, Gefahrenhinweisbereiche, bildeten die Prozessdaten aus dem Projekt SilvaProtect CH (siehe Kapitel 2), die permanenten Rutschungen aus der geologischen Generalkarte und die Überflutungsflächen von Aquaprotect. Die im Vektorformat (Trajektorien, Polygone) vorliegenden Datensätze wurden für die weitere Bearbeitung in ein Rasterformat mit 10 m Auflösung überführt. Diese Aufbereitung erfolgte für den Perimeter Gefahrenpotenzial. Dadurch können die Gefahrenprozesse auch ausserhalb des ausgewerteten Perimeters als Prozessumhüllende dargestellt werden.

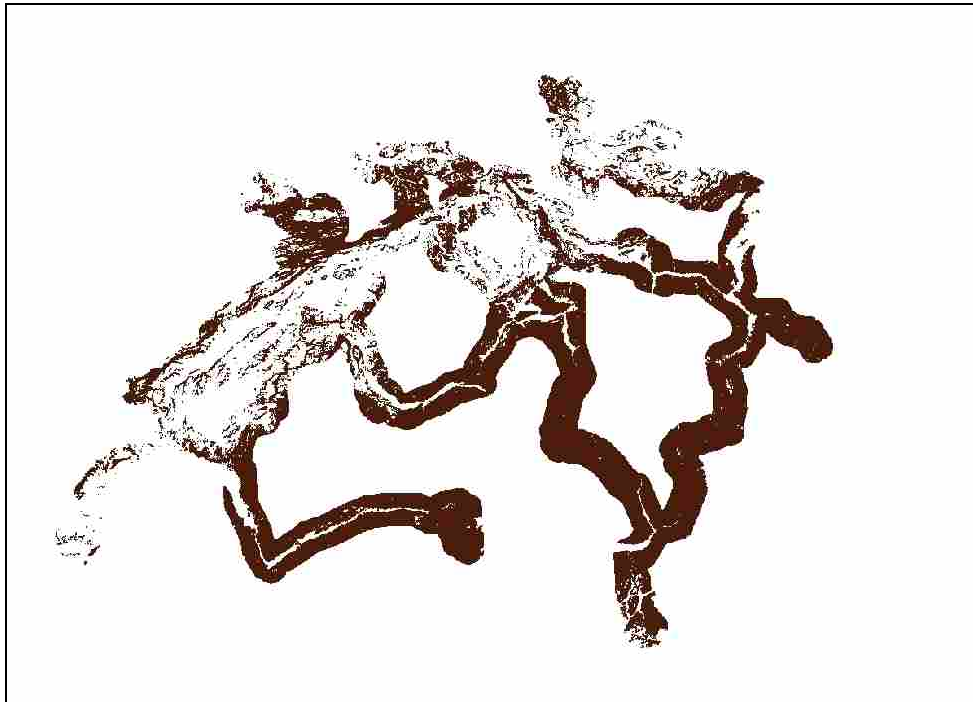


Abbildung 3: Gesamtschweizerische Übersicht über die Gefahrenbereiche im Perimeter Gefahrenpotenzial

3.5 Ermittlung der schadenpotenzialrelevanten Prozessräume

Als schadenpotenzialrelevante Prozessräume werden diejenigen Wirkungsgebiete von Gefahrenprozessen bezeichnet, welche näher als 100 Meter an das Schadenpotenzial (Nationalstrassennetz und Nebenanlagen) heranreichen, respektive dieses treffen.

Die verwendeten Gefahrenprozessdaten wurden inhaltlich im Kapitel 3.1.2 vorgestellt. Sie liegen als Geoprodukte in folgenden Geometriemodellen vor:

Gefahrenart	Geometriemodell	Pufferdistanz
Murgang	Linie	20 m
Stein- / Blockschlag	Linie	20 m
Hangmuren	Linie	10 m
Fliesslawinen	Polygon	0 m
Permanente Rutschungen	Polygon	0 m
Übersarung	Polygon	0 m
Überflutung	Polygon	0 m

Für die Ermittlung der schadenpotenzialrelevanten Prozessräume wurden folgende Arbeitsschritte ausgeführt:

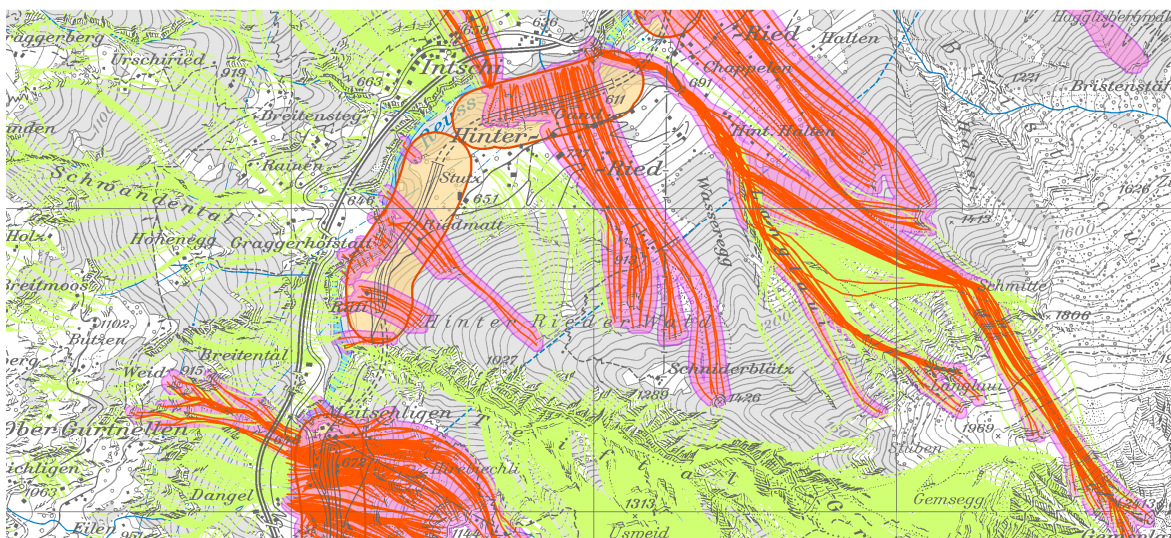
1. Selektion der schadenpotenzialrelevanten Geometrieobjekte:

Im ersten Schritt wurden die Trajektorien und Flächenobjekte aller Gefahrenprozesse selektiert, welche den Perimeter Schadenpotenzial (siehe Kapitel 3.3.1) erreichen oder vollständig innerhalb des Perimeters Schadenpotenzial liegen. Es handelt sich dabei um die schadenpotenzialrelevanten Geometrieobjekte.

2. Überführung der schadenpotenzialrelevanten Linienobjekte in Flächenobjekte:

Im zweiten Schritt wurden die schadenpotenzialrelevante Geometrieobjekte, die als Linien (Trajektorien) vorliegen durch eine Pufferung in Flächen überführt. Die Murgang- und Sturztrajektorien wurden beidseitig mit 20 m gepuffert, die Hangmurentrajektorien mit 10 m. Die derart aufbereiteten Flächen bilden zusammen mit den bereits als Flächen vorliegenden Prozessflächen für Fliesslawinen, permanente Rutschungen, Überflutung und Übersarung die schadenpotenzialrelevanten Gefahrenräume.

Abbildung 4 zeigt am Beispiel der Sturzgefahr (Stein- / Blockschlag) den für die Sturzprozesse relevanten Perimeter Schadenpotenzial (orange), die nicht schadenpotenzialrelevanten Sturztrajektorien (hellgrün), die schadenpotenzialrelevanten Sturztrajektorien (rot) und die daraus gewonnenen schadenpotenzialrelevanten Gefahrenräume (magenta, flächig). Die Abbildung zeigt, dass die gesamten schadenpotenzialrelevanten Gefahrenräume ausgeschieden werden – auch ausserhalb des Perimeters Schadenpotenzial.

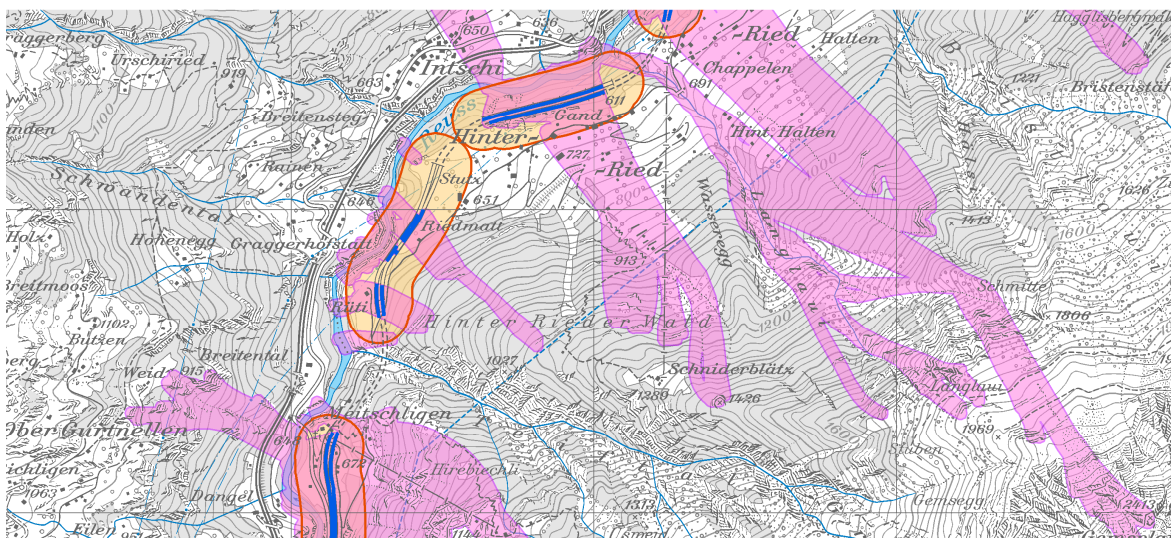


Grundlagen: SilvaProtect CH, PK25 © swisstopo (RP ASTRA DV82600 1563)

Abbildung 4: Darstellung der gepufferten schadenpotenzialrelevanten Sturztrajektorien (rot/magenta) welche den Perimeter Schadenpotenzial (orange) erreichen und derjenigen Sturztrajektorien (hellgrün) die den Perimeter Schadenpotenzial nicht erreichen.

3.5.1 Festlegung der gefährdeten Strassenabschnitte

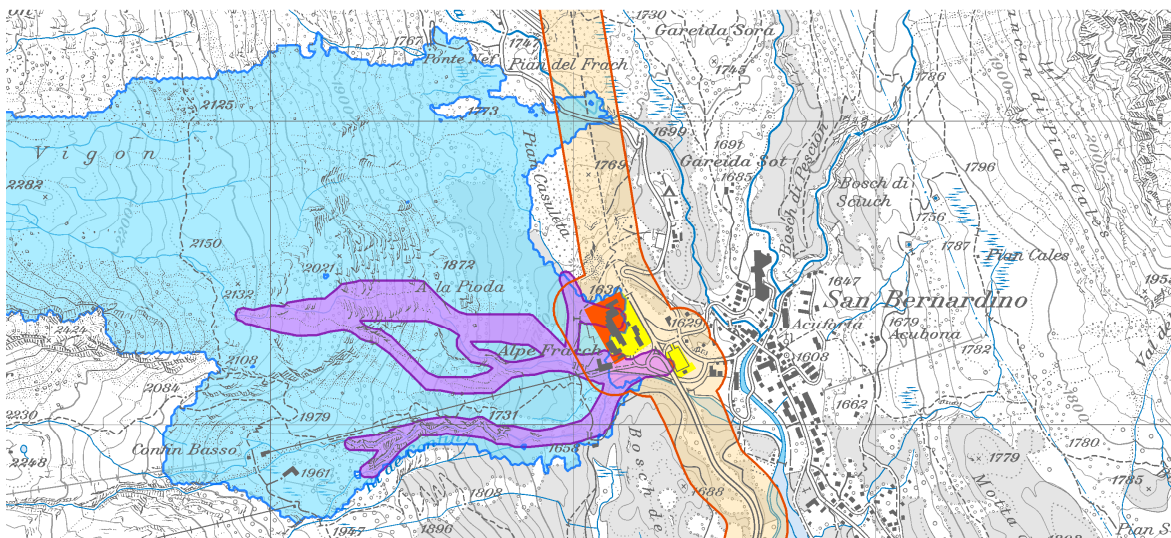
Als gefährdet gelten diejenigen Strassenabschnitte, welche von schadenpotenzialrelevanten Gefahrenräumen tangiert werden. Zur Ermittlung der gefährdeten Strassenabschnitte wurden die schadenpotenzialrelevanten Gefahrenräume mit den Strassenachsen verschnitten. Abbildung 5 zeigt die gefährdeten Strassenabschnitte (blau) für den Gefahrenprozess Stein- und Blockschlag.



Grundlagen: SilvaProtect CH, PK25 © swisstopo (RP ASTRA DV82600 1563)

Abbildung 5: Durch Stein- und Blockschlag gefährdete Strassenabschnitte (blau)

3.5.2 Festlegung der gefährdeten Nebenanlagen



Grundlagen: SilvaProtect CH, PK25 © swisstopo (RP ASTRA DV82600 1563)

Abbildung 6: Durch Lawinen oder Murgänge gefährdete Bereiche der Nebenanlagen
Lawinen = hellblau, Murgang = violett, gefährdete Nebenanlagen = rot, nicht gefährdete Bereiche der Nebenanlagen = gelb

Als gefährdete Nebenanlagen werden diejenigen Flächen in Nebenanlagen bezeichnet, welche durch schadenpotenzialrelevante Gefahrenräume überlagert werden. Zur Ermittlung der gefährdeten Nebenanlagen wurden die schadenpotenzialrelevanten Gefahrenräume mit den Nebenanlagen verschnitten. Abbildung 6 zeigt die durch Fliesslawinen (hellblau) oder Murgänge (violett) gefährdeten Flächen (rot) der Nebenanlagen. Die nicht gefährdeten Bereiche der Nebenanlagen sind in gelb dargestellt.

3.6 Berechnung des Naturgefahrenindex

Die Berechnung des Naturgefahrenindex (siehe Anhang) erfolgt nach den Vorgaben des Auftraggebers vom 11.3.2008. Darin werden drei unterschiedliche Risiken unterschieden:

- Personenrisiken
- Sachrisiken
- Verfügbarkeit

Der Naturgefahrenindex wird für die Strassenanlagen berechnet. Bei den Nebenanlagen wird der Naturgefahrenindex nicht berechnet und lediglich angegeben ob diese durch einen Gefahrenprozess getroffen werden oder nicht.

3.6.1 Berechnung Risiko

Die Berechnung der einzelnen Risiken erfolgte mit den im Anhang Naturgefahrenindex erläuterten Formeln. Nachfolgende Tabelle zeigt die auf die wesentlichen Teile reduzierten Berechnungsformeln.

Tabelle 5: Formeln für Berechnung Einzelrisiken

Prozess	Risiko		
	Personenschaden	Sachschaden	Verfügbarkeit
Murgang	$0.50 * dtv * 0.3 / 12$	$0.01 * 0.50 * 3400$	$0.12 * dtv / \text{Länge}$
Sturz	$0.01 * dtv * 0.5 / 12$	$0.01 * 0.01 * 3400$	$0.12 * dtv / 200$
Hangmure	$0.05 * dtv * 0.3 / 12$	$0.01 * 0.05 * 3400$	$0.12 * dtv / 500$
Lawine	$0.70 * dtv * 0.2 / 12$	$0.01 * 0.70 * 2040$	$0.12 * dtv / \text{Länge}$
Rutschung	$0.00 * dtv * 0.3 / 12$	$0.01 * 0.80 * 680$	$0.12 * dtv / \text{Länge}$
Sackung	$0.00 * dtv * 0.3 / 12$	$0.01 * 0.80 * 680$	$0.12 * dtv / \text{Länge}$
Wasser	$0.00 * dtv * 0.3 / 12$	$0.01 * 0.60 * 2720$	$0.12 * dtv / \text{Länge}$

Bei permanenten Rutschungen und Sackungen sowie bei den Wasserprozessen (Überflutung und Übersarung) ist das Personenrisiko äusserst gering. Es wird entsprechend in der Formel mit dem Wert Null multipliziert. Dies ist notwendig, um die Berechnungen einheitlich zu gestalten und die nachfolgenden Summenbildungen nicht mit Ausnahmen versehen zu müssen.

Für die Berechnung der Verfügbarkeit wird die Länge des betroffenen Abschnitts verwendet. Bei Überlagerungen verschiedener Prozesse wird nicht die gesamte betroffene Abschnittslänge verrechnet sondern nur die jeweilige Länge des spezifischen Prozesses.

Ein Resultat wird nur dann berechnet, wenn ein gültiger DTV vorhanden ist.

3.6.2 Synoptische Berechnungen

Die synoptischen Berechnungen bilden immer die Summe einer Gruppe von Resultaten, welche aus der Berechnung Risiko entstanden sind. Die Berechnung der Personen- und Sachrisiken sowie der Verfügbarkeit erfolgten identisch, gemäss nachfolgenden Formeln:

Die Summe aller Personenrisiken ergibt den Wert für Syn_Pers.

$$Syn_Pers = \sum Pers_ [Pr o z e s s]$$

Die Summe aller Risiken für einen Prozess setzt sich wie folgt zusammen:

$$\text{Beispiel Murgang: } Syn_mg = Pers_mg + Sach_mg + Verf_mg$$

Die Summe aller Risiken wird im Attribut 'Synoptisch' gespeichert und wird nach der Formel:

$$Synoptisch = \sum Pers_ [Pr o z e s s e] + \sum Sach_ [Pr o z e s s e] + \sum Verf_ [Pr o z e s s e] \text{ berechnet.}$$

3.6.3 Naturgefahrenindex

Anhand der Summe aller Risiken welche im Feld 'Synoptisch' gespeichert sind, wurde eine sinnvolle Gruppierung für die Risikoindizes festgelegt. Dabei wurde die folgende Gliederung definiert:

Naturgefahrenindex	Synoptischer Wert
0	0
1	0 bis 20
2	20 bis 40
3	40 bis 100
4	> 100

4 Datenmodell

4.1 Ausgangslage

Im Rahmen des Gesamtprojektes Naturgefahren Nationalstrassen soll neben der Erstellung der Gefahrenhinweiskarten auch ein einheitliches Datenkonzept zur Verwaltung der Naturgefahren Daten ausgearbeitet werden. Das Konzept wird durch das ASTRA erstellt muss kompatibel sein mit dem Managementinformationssystem Strasse und Strassenverkehr (MISTRA) und dem Metadatenkatalog gemäss swisstopo (Geographischer Datenkatalog der Schweiz: geocat).

Für das Datenmodell der Gefahrenhinweiskarten muss ebenfalls die Kompatibilität mit MISTRA und dem Metadatenkatalog sichergestellt werden.

4.2 Datenmodell Gefahrenhinweiskarten

Als Produkte aus der Bearbeitung der Gefahrenhinweiskarte liegen Daten zu Schadenpotenzial, Gefahrenpotenzial und Naturgefahrenindex in digitaler Form vor. Damit diese Daten durch das ASTRA genutzt und allenfalls weiterverarbeitet werden können, wurden die entsprechenden Geometrie- und Sachdaten in strukturierter Form gemäss Anforderungen Datenmodell erhoben und dokumentiert. Dabei regelt das Datenmodell die Erfassung der Inhalte und der Sachverhalte.

Es wurden die folgenden Inhalte erfasst:

- Schadenpotenzial
- Gefahrenpotenzial
- Gefährdung
- Naturgefahrenindex

Durch die Verwendung des Vector25 für das Schadenpotenzial Strasse ergaben sich Änderungen gegenüber den Datenmodell-Anforderungen im Pflichtenheft. So mussten beispielsweise alle Berechnungen zu einem Resultatelayer zusammengeführt werden.

Zudem wurden in der Definition des Kartenlayouts Zusatzanforderungen bezüglich der Darstellung des Karteninhalts formuliert.

4.2.1 Geometrieanforderungen

Das Datenmodell regelt die Erfassung der Geometrien. Alle Daten müssen topologisch bereinigte Strukturen aufweisen. Dies umfasst die folgenden Anforderungen:

- Polygone sind geschlossen
- Grenzlinien enden wieder in einer Grenzlinie
- Aneinandergrenzende Polygone müssen durch eine Grenzlinie getrennt sein. Es gibt keine Kleinstpolygone durch Doppelerfassung der Grenzlinie
- Es sind nur Geraden (straights) zugelassen
- Die Geometrie muss mit 'double-coordinate precision' abgespeichert werden und die Toleranzen (fuzzy, dangles) betragen 0.002 m
- Die Georeferenzierung bezieht sich auf das Schweizerische Landeskoordinatensystem (CH1903 LV03) analog Vector25.

4.2.2 Namenskonventionen

Als Basis für die Benennung der Datenlayer dient das Dokument:

<https://portal.mistra.ch/Documents/aufStartSeite/Deutsch/Datenkatalog%20Sockeldaten%20V4.5.2.pdf>

Die Namenskonventionen MISTRA sind im oben erwähnten Datenkatalog Sockeldaten des MISTRA (in Kapitel 5) ersichtlich und beschrieben.

Benennung der Featureklassen:

Die Benennung der Featureklassen/Tabellen besteht gemäss den Namenskonventionen des MISTRA aus drei Teilen, die durch Underscore abgetrennt werden. Die Featureklassen werden gemäss Kapitel 5.1 mit dem Präfix 'GKD_' benannt. Diese Benennung erfolgte in Absprache mit der Geschäftsstelle MISTRA. Dabei steht 'GK' für die Gefahrenhinweiskarte und 'D' für Datentabelle. Die nachfolgenden Stellen dienen zur Benennung des Inhaltes (siehe Tabelle 6). Auf den Postfix wird verzichtet.

Tabelle 6: Abgegebene Daten
















Feature-Dataset	Name	Geom. Typ	Kurzbeschreibung
	SIPRO_Hinweis SIPRO_Hinweis_2009		Zusatzinformation zur Darstellung von nicht ausgewerteten Hinweisbereichen.
Strassen	GKD_StrasseSwisstopo		Aufbereitete Grundlagen des Vector25 mit den Nationalstrassen
	GKD_StrasseDTV		GKD_StrasseSwisstopo mit den Durchschnittlichen täglichen Verkehrsfrequenzen (DTV)
Perimeter	GKD_MGHMLFSS		Perimeter in welchem die Prozesse Murgang, Hangmure, Rutschungen, Lawinen und Sturz analysiert wurden.
	GKD_RUSA		Perimeter in welchem die Prozesse Permanente Rutschungen und Sackungen analysiert wurden.
Nebenanlagen	GKD_NebenanlagenASTRA		Vorhandene Nebenanlagen welche zu Polygonen umgewandelt wurden
	GKD_NebenanlagenRisiko GKD_NebenanlagenRisiko_2009		Getroffene Flächen von Nebenanlagen
Resultat	GKD_ProzArea GKD_ProzArea_2009		Schadenpotentialrelevante Prozessräume Nationalstrassen
	GKD_RisikoStrasse GKD_RisikoStrasse_2009		Nationalstrassen mit berechnetem Risiko
Karto	GKD_ProzArea_Wasser		Kartografie der Prozessräume Wasser (wird nur für die Darstellung verwendet)

Tabelle 7: Geometrietypen

Symbol	Bemerkung
	Tabelle
	Polygon
	Polyline
	Punkt
	Raster

4.2.3 Konventionen für die Benennung von Attributen Risiko

Für die Attribute welche sich auf einzelne Prozesse beziehen gilt: [Präfix]_[Suffix] für den Feldnamen.

Tabelle 8: Abkürzungen Präfix / Suffix

Präfix	Erläuterung / Beschreibung	Suffix / Prozess	Erläuterung / Beschreibung
Haz	Wird getroffen von Prozess	mg	Murgang
Pers	Personenschaden	ss	Sturz
Sach	Sachschaden	hm	Hangmure
Verf	Verfügbarkeit	lf	Lawine
Syn	Synoptischer Wert (Summe)	ru	Rutschung
		sa	Sackung
		ww	Wasser (Silvaprotect + Aquaprotect zusammengefasst)
		wa	Wasser Aquaprotect
		ws	Wasser Silvaprotect

Um die Hinweise auf die Grundlage im Wasser zu ermöglichen wurden in der Berechnung für die Flächenausscheidungen die Quellen in den Grundinformationen belassen. Damit aber die Risikoberechnung für die Wasserprozesse nicht zu stark gewichtet ist, wurden die Wasserprozesse zu ww zusammengefasst. Das Suffix ww ist nur in der Risikoberechnung der Strassen zu finden.

4.2.4 GKD_StrasseSwisstopo

Diese Featureklasse entspricht der Struktur des Vector25 aus dem Jahr 2007. Die genaue Bezeichnung der Attribute sind der Dokumentation der swisstopo zu entnehmen. Insgesamt wurden 12457 Elemente aus dem Vector25 im Projekt übernommen.

4.2.5 GKD_StrasseDTV

Diese Featureklasse wurde aus den Verkehrsdaten und dem Vector25 abgeleitet. Sie enthält eine homogene Geometrie mit den Verkehrszahlen.

Tabelle 9: Attribute GKD_StrasseDTV

Name	Typ	Beschreibung	Bemerkung
ID	OID	Interne Nummerierung der Elemente	
Shape	Geometrie		PolylineM
m_dtv	Integer	Durchschnittlicher Täglicher Verkehr	Mittelwert über 5 Jahre
Shape_Length	Double	Berechnete Länge	

4.2.6 GKD_MGHMLFSS / GKD_RUSA

Die Elemente dienen nur für die Darstellung auf der Karte. Aus diesem Grund enthalten sie nur die Information welche vom System vorgegeben ist.

Tabelle 10: Attribute GKD_MGHMLFSS und GKD_RUSA

Name	Typ	Beschreibung	Bemerkung
OBJECTID	Double	Interne Nummerierung der Elemente	
Shape	Geometrie		Polygon
Shape_Length	Double	Berechnete Länge	
Shape_Area	Double	Berechnete Fläche	

4.2.7 GKD_NebenanlagenASTRA

Die Elemente wurden direkt aus dem UHPeri übernommen und entsprechen der dort beschriebenen Struktur.

4.2.8 GKD_NebenanlagenRisiko

Durch die Verarbeitung der Nebenanlagen entstehen neue Flächen, welche alle von Prozessen getroffene Flächen enthalten.

Damit allfällige Risiken später über eine Multiplikation berechnet werden können, wurde mit Integer gearbeitet. Siehe Kapitel 4.2.3 Konventionen für die Benennung von Attributen Risiko.

Tabelle 11: Attribute GKD_NebenanlagenRisiko

Name	Typ	Beschreibung	Bemerkung
OBJECTID	Double	Interne Nummerierung der Elemente	
Shape	Geometrie		Polygon
haz_[Suffix]	Integer	Siehe Tabelle 8: Abkürzungen Präfix / Suffix für die Prozesse: mg, ss, hm, lf, ru, sa, wa, ws	Wenn getroffen dann Wert = 1
Shape_Length	Double	Berechnete Länge	
Shape_Area	Double	Berechnete Fläche	

4.2.9 GKD_ProzArea

Tabelle 12: Attribute GKD_ProzArea

Name	Typ	Beschreibung	Bemerkung
OBJECTID	Double	Interne Nummerierung der Elemente	
Shape	Geometrie		Polygon
GKD_Prozess	String(8)	Prozessbezeichnung: mg, ss, hm, lf, ru, sa, wa, ws	Siehe Tabelle 8: Abkürzungen Präfix / Suffix
Shape_Length	Double	Berechnete Länge	
Shape_Area	Double	Berechnete Fläche	

4.2.10 GKD_RisikoStrasse

Tabelle 13: Attribute GKD_RisikoStrasse

Name	Typ	Beschreibung	Bemerkung
OBJECTID	Double	Interne Nummerierung der Elemente	
Shape	Geometrie		Polygon
m_dtv	Integer	Verkehrszahlen	aus GKD_StrasseDTV
haz_[Suffix]	Integer	Siehe Tabelle 8: Abkürzungen Präfix / Suffix	Wenn getroffen dann Wert = 1
pers_[Suffix]	Double	Siehe Tabelle 8: Abkürzungen Präfix / Suffix	Risiko Personen
sach_[Suffix]	Double	Siehe Tabelle 8: Abkürzungen Präfix / Suffix	Risiko Sachwert
verf_[Suffix]	Double	Siehe Tabelle 8: Abkürzungen Präfix / Suffix	Risiko Verfügbarkeit
syn_[Suffix]	Double	Siehe Tabelle 8: Abkürzungen Präfix / Suffix	Summe aller Risiken[Suffix]
syn_[Präfix]	Double	Siehe Tabelle 8: Abkürzungen Präfix / Suffix (pers, sach, verf)	Summe aller Risiken[Präfix]
Synoptisch	Double	Summe aller Risiken	
Naturgefahrenindex	Integer	Kategorisierung des Wertes Synoptisch	Wertebereich: 1 bis 5
Shape_Length	Double	Berechnete Länge	

5 Dokumentation der Resultate

Die Dokumentation der Gefahrenhinweiskarten Naturgefahren Nationalstrassen Schweiz umfasst drei Produkte: den Technischen Bericht, das Anwenderhandbuch und das Kartenwerk.

5.1 Technischer Bericht

Der Technische Bericht wendet sich an das Fachpublikum, das mit der Erstellung, Ergänzung, Nachführung und Verwaltung der Gefahrenhinweiskarten und weiterführenden Risikoanalysen betraut ist. Er beinhaltet im Wesentlichen die Dokumentation der verwendeten Grundlagen und beschreibt nachvollziehbar und transparent das Vorgehen und die angewendete Methodik zur Erstellung der Gefahrenhinweiskarten. Unsicherheiten und Annahmen bei der Bearbeitung werden im Bericht deklariert.

Der vorliegende Technische Bericht besteht aus dem beschreibenden Hauptteil und dem Anhang Naturgefahrenindex. Der Bericht ist integrierender Bestandteil der Gefahrenhinweiskarten.

5.2 Anwenderhandbuch

Im Gegensatz zum Technischen Bericht wendet sich das Anwenderhandbuch an den Benutzer der Gefahrenhinweiskarten. Es sind dies die MitarbeiterInnen des ASTRA in der Zentrale, den Filialen und den Gebietseinheiten, welche zukünftig mit den Gefahrenhinweiskarten arbeiten werden.

Das Anwenderhandbuch enthält Angaben zu den verwendeten Grundlagen und Methoden. Es zeigt die Anwendungsmöglichkeiten auf, weist aber auch auf die Grenzen der Anwendbarkeit hin.

5.3 Karten

Die Darstellung der Gefahrenhinweiskarten erfolgt in einem 300 Kartenblätter umfassenden Kartenwerk. Die Gefahrenhinweiskarten wurden im Massstab 1:25'000 gedruckt. Entsprechend den Sprachregionen sind die Titelblätter und Legenden der Kartenblätter in deutscher, französischer und italienischer Sprache ausgeführt.

Die Kartenausschnitte wurden gemäss UHPeri so definiert, dass die Nationalstrasse zentral dargestellt wird und seitlich ein möglichst grosser Anteil der Prozessräume sichtbar ist.

Die Sortierung der einzelnen Kartenblätter richtet sich nach der Bezeichnung der Nationalstrasse (z.B. A2). Die genaue Lokalisierung erfolgt mittels Abschnittsnummer, welche sich aus der Nationalstrassenbezeichnung, dem Unterhaltsabschnitt sowie einer Kilometrierung zusammensetzt. So steht z.B. die Abschnittsnummer „13.24.109“ für die A13, den Unterhaltsabschnitt 24 und den Kilometer 109. Fehlende Angaben wurden mit „xx“ ausgefüllt. Es wurde jedoch sichergestellt, dass trotzdem jedes Kartenblatt über eine eindeutige Nummer verfügt.

Die Orientierung in den 300 Kartenblättern wird mittels der Übersichtskarte (Massstab 1:500'000) sichergestellt.

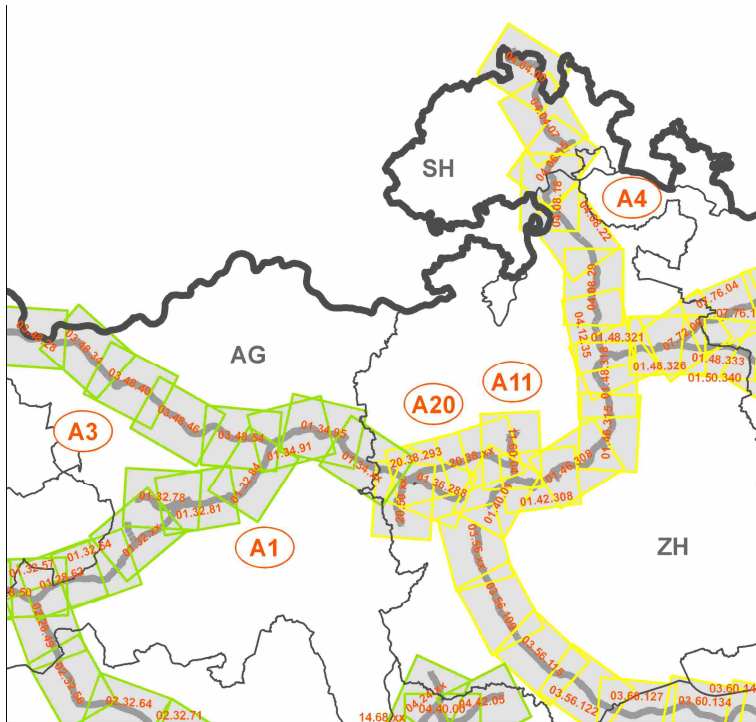


Abbildung 7: Ausschnitt aus der Übersichtskarte mit Darstellung des Projektperimeters (gelb, grün) basierend auf der Blatteinteilung gemäss UHPeri, (gelb: Zuständigkeitsgebiet Filiale 4, grün: Zuständigkeitsgebiet Filiale 3)

6 Verbindlichkeit und Aussagekraft der Gefahrenhinweiskarte

Die Gefahrenhinweiskarte Nationalstrassen Schweiz veranschaulicht diejenigen Strassenabschnitte der Nationalstrasse, die durch Lawinen, Steinschlag, Murgänge, Rutschungen, Übersarung und Überflutung bei einem Extremereignis betroffen sein können. Die Prozesse StaUBLawine, Einsturz und Absenkung konnten nicht abgebildet werden. Der Prozess Rutschungen sowie die Überflutung durch flache Gewässer konnten nur mit eingeschränkter Qualität dargestellt werden. Die Karten geben einen Hinweis auf eine mögliche Gefährdung und zeigen eine qualitative Einstufung der Risiken auf den einzelnen Strassenabschnitten.

Die abgegrenzten Gefahrenhinweisgebiete weisen aufgrund der zur Verfügung stehenden Grundlagen gewisse Unschärfen auf und können lokale Gegebenheiten nicht in jedem Fall berücksichtigen. Im Gegensatz zur Gefahrenkarte macht die Gefahrenhinweiskarte keine Aussagen über die Intensität und die Eintretenswahrscheinlichkeit der betrachteten Gefahr.

Die auf der Gefahrenhinweiskarte dargestellten Flächen basieren auf realistischen, durch Erfahrung und Beobachtungen abgestützten Modellrechnungen. Gewisse Ungenauigkeiten bestehen jedoch in der Auswertung der topographischen Gegebenheiten.

Bestehende Verbauungen gegen Rutschungen, Steinschlag, Murgänge, Übersarung und Überflutung sowie Brücken mit genügender Durchlasskapazität konnten bei der Bearbeitung nicht berücksichtigt werden. Der stabilisierende Einfluss von Drainagemassnahmen oder die stabilisierende Wirkung von Bebauungen auf spontane Rutschungen wurden bei der Modellierung nicht einbezogen. Es wurden lediglich Schutzbauten berücksichtigt, welche sich morphologisch im Geländemodell abzeichnen, das heisst grössere Geländeschüttungen, wie z.B. Schutzwälle, Schutzdämme und ähnliche. Dadurch zeigen die ermittelten Prozessräume, welche Gebiete bei ungünstigen Voraussetzungen betroffen sein könnten (Gefahrenhinweis).

In Einzelfällen kann es vorkommen, dass bei den Modellierungen nicht sämtliche potenziellen Gefahrenherde und damit auch nicht alle möglichen gefährdeten Gebiete erfasst werden.

Aus den erwähnten Gründen muss die Gefahrenhinweiskarte mit entsprechender Sorgfalt und mit dem steten Bewusstsein über ihre Aussagegrenzen eingesetzt werden.

Die Berechnung des Naturgefahrenindex gliedert die Nationalstrassen in Kategorien mit unterschiedlichen Risikostufen. Es handelt sich dabei um ein relatives Mass für das mögliche Risiko. Eine wesentliche Rolle spielen dabei die Verkehrsdaten (DTV). Sie tragen massgeblich zur Einstufung des Risikos bei.

Bern, 5. Juni 2009

geo7 AG

tur GmbH

Anhang A: Berechnung Naturgefahrenindex

NATURGEFAHRENINDEX

Ziel des Naturgefahrenindex und Vorgehen

Ein wesentliches Ziel der Gefahrenhinweiskarten ist deren Verwendbarkeit zur Festlegung von prioritären Perimetern für eine vertiefte Analyse der Naturgefahren (Risikoanalyse).

Da die verschiedenen Prozesse unterschiedliche Risiken verursachen und die Bedeutung der verschiedenen Strassenabschnitte unterschiedlich ist soll diese Priorisierung nicht alleine darauf abstützen, ob eine Streckenabschnitt von einem Gefahrenprozess getroffen werden kann oder nicht. Es wird daher versucht anhand eines Naturgefahrenindex die wichtigsten Unterschiede der Prozesse und die Bedeutung eines Strassenabschnitts anhand vorhandener einfacher Parameter so gut als möglich abzubilden. Das ist mit der auf Stufe Gefahrenhinweiskarte vorhandenen Bearbeitungstiefe des Gefahren- und Schadenpotenzials und damit der überhaupt vorliegenden Parameter natürlich nur bedingt möglich. Aus diesem Grunde handelt es sich bei den berechneten Indizes lediglich um relative Werte und nicht um absolute, in Geldwerten ausgedrückte, Schadenerwartungswerte.

Die Berechnung erfolgt grösstenteils nach der Risikoanalyse Stufe 2, ergänzt mit Elementen aus der Stufe 3 gemäss der Methode in: BUWAL; 1999; Risikoanalyse bei gravitativen Naturgefahren und in Anlehnung an die Methode des Projektes: Gefahrenbeurteilung, Risikoanalyse und Massnahmenplanung Nationalstrassen Kanton Bern 2004 - 2008.

Der Index stellt eine Verhältniszahl der Risiken für verschiedene Stellen des Schadenpotenzials dar. Um eine möglichst hohe Qualität dieser Verhältniszahl zu erreichen wird versucht alle einigermaßen bestimmbar Elemente der quantitativen Risikoanalyse gemäss BUWAL 1999 mit einzubeziehen. Inwiefern mit diesen Berechnungen auch absolute, quantitative Aussagen zum Risiko möglich sind, kann möglicherweise durch Vergleiche mit detaillierten Risikoanalysen ermittelt werden.

Naturgefahrenindex Strassenanlagen

Personenrisiken

Personenrisiken werden für die Prozesse **Lawinen**, **Sturz**, **Murgang** und **Hangmuren** berechnet. Bei Rutschungen und Überflutungen sind die Personenschäden von untergeordneter Bedeutung.

Berücksichtigt wird das Schadenbild des Direkttreffers. Auffahrunfälle sind gemäss den bekannten Ereignissen (StorMe National- und Kantonsstrassen Kanton Bern) recht häufig. Bei ca. 15% der Ereignisse, die die Fahrbahn betreffen kommt es zu einem Auffahrunfall. Die Letalität ist allerdings mit 0.0036 (SN640007) gegenüber jener bei Direkttreffern von etwa 0.004 - 0.7, je nach Prozess und Intensität, sehr klein. Aus diesem Grunde ist das Schadensbild des Direkttreffers weit bedeutender für das Gesamtrisiko. Zudem sind die Parameter für Auffahrunfälle (Sichtweite, Fahrgeschwindigkeit, Kurvigkeit, Kurvenradien) nur bei einer detaillierten Analyse fassbar oder es könnte ersatzweise mit Verhältniszahlen aus statistischen Daten gearbeitet werden. Das Schadenbild Auffahrunfall wird aus diesen Gründen nicht berücksichtigt.

Schadenhäufigkeit h_s :

$$h_s = h_E \times P_{rA} \text{ (Anzahl Schadenereignisse/Jahr)}$$

h_E : Eintretenshäufigkeit (reziproker Wert der Wiederkehrperiode $h_E = 1/T$)

Die Gefahrenbeurteilungen für die Gefahrenhinweiskarte erfolgen ohne Szenarien verschiedener Wiederkehrdauern. Die Gefahrenbereiche entsprechen in etwa der Umhüllenden für die Ereignisse aller gängigen Wiederkehrperioden bis 300 Jahre. Das Schadenpotential ist teilweise aber auch schon bei Ereignissen kürzerer Wiederkehrperiode betroffen. Für die Berechnungen soll eine "mittlere" Wiederkehrperiode von 100 Jahren verwendet werden.

$$h_E = 1/100 = 0.01$$

P_{rA} : räumliche Auftretenswahrscheinlichkeit

Die räumliche Auftretenswahrscheinlichkeit wird pro Prozess festgelegt (Mittelwerte):

Prozess	P_{rA}
Fliesslawine	0.7
Sturz	0.01
Murgang	0.5
Hangmure	0.05

Bei den Prozessen Sturz und Hangmuren treten sehr grosse Gefahrenbereiche auf. Hier muss darauf geachtet werden, dass die Eintretenshäufigkeit und die räumliche Auftretenswahrscheinlichkeit nicht vermischt werden. Die Eintretenshäufigkeit gibt für ein Liefergebiet an, dass, z.B. beim 100-jährlichen Szenario, im Durchschnitt einmal in 100 Jahren ein Ereignis auftritt. Dieses Ereignis kann dann eine bestimmte Fläche betreffen woraus sich die räumliche Auftretenswahrscheinlichkeit für dieses Ereignis ergibt.

Im Projekt Risikoanalyse Nationalstrassen des Kantons Bern wurden bei der Gefahrenbeurteilung die verschiedenen Liefergebiete ausgeschieden und zu jedem aus einem Szenario und Liefergebiet resultierenden Gefahrenbereich die räumliche Auftretenswahrscheinlichkeit angegeben.

Eine grobe Auswertung dieser Angaben führte zu den folgenden Annahmen für die Abschätzung der obigen Tabellenwerte für Sturz und Hangmuren:

Prozess	Sturz	Hangmure
BL Breite eines durchschnittlichen Liefergebietes (hier gleich der Breite im Bereich des Schadenpotenzials)	200m	500m
BE Breite eines Ereignisses	2m	25
$P_{rA} = BE / BL$	0.01	0.05

Schadenausmass Personenrisiken S_p

$$S_p = N_F \times \lambda \times \beta \text{ (Anzahl Todesfälle/Schadenereignis)}$$

N_F : Anzahl betroffener Fahrzeuge

$$N_F = (DTV \times g) / (v \times f)$$

DTV: aus Verkehrszählung (AVZ)

v: Annahme: 50 km/h

f: Umrechnungsfaktor: 24'000

g: Gefährdeter Streckenabschnitt

λ : Letalität: gemäss Stufe 3 bei jeweils mittlerer Intensität:

Prozess	λ
Fliesslawine	0.2
Sturz	0.5
Murgang	0.3
Hangmure	0.3

Bei den Gefahrenbeurteilungen für die Gefahrenhinweiskarte werden keine Intensitäten ermittelt. Für die Berechnungen sollen jeweils die Letalitäten bei mittleren Intensitäten gemäss obiger Tabelle verwendet werden.

β : Mittlerer Besetzungsgrad Fahrzeuge: 2 Personen

Objektrisiko r_p

$$r_p = h_s \times S_p \text{ (Anzahl Todesfälle pro Jahr)}$$

Damit die Personenrisiken mit den Sachwertrisiken verrechnet werden können müssen diese monetarisiert werden. Dabei werden gängige Werte (Kanton Bern, RIKO) verwendet:

$$r_{pm} = r_p \times 5'000'000 \text{ (Fr./Jahr)}$$

Sachrisiken

Sachrisiken werden für alle Prozesse berechnet.

Dabei wird das Schadenbild Verschüttung mit Schäden an den Bauwerken und Räumungskosten berücksichtigt.

Schadenhäufigkeit h_s

Die Schadenhäufigkeit wird analog jener bei den Personenrisiken berechnet.

Prozess	P_{rA}
Übersarung / Überflutung WÜ	0.6
Rutschung / Sackung	0.8

Schadenausmass Sachrisiken S_S

$$S_S = S_{sp,L} \times g \text{ (Fr./Schadenereignis)}$$

$S_{sp,L}$: spezifisches Schadenausmass Linienelement. Die Pauschalwerte für das objektart - spezifische Schadenausmass werden aus den Tabellen (EconoMe) entnommen. Dabei wurden jeweils die Werte für die mittlere Intensität der Objektarten Nationalstrasse, 25m Breite und Kantonsstrasse, 12m Breite (arithmetisches Mittel) verwendet. Für eine richtungsgetreunte Anwendung müssen die Werte jeweils halbiert werden.

Prozess	Empfindlichkeit	Ssp.L
Basiswerte = Fr. 9'500/m' und Fr. 4'1007m' Mittelwert = Fr. 6'800/m'		Fr./m'
Fliesslawine FL	0.3	2'040.--
Sturz S	0.5	3'400.--
Murgang WM	0.5	3'400.--
Übersarung / Überflutung WÜ	0.4	2'720.--
Rutschung / Sackung	0.1	680.--
Hangmure	0.5	3'400.--

g: Gefährdeter Streckenabschnitt

Objektrisiko r_S

$$r_S = h_S \times S_S \text{ (Fr./Jahr)}$$

Verfügbarkeit

Die Kosten aus der fehlenden Verfügbarkeit werden für alle Prozesse berechnet.

Schadenhäufigkeit h_S

$$h_S = h_E \text{ (Anzahl Schadenereignisse/Jahr)}$$

Analog zu den Personen- und Sachschäden wird die Wiederkehrperiode von 100 Jahren verwendet.

$$h_E = 1/100 = 0.01$$

Schadenausmass Verfügbarkeit S_V

$$S_V = d_{sp} \times DTV \times K_{Stau} \times d_U$$

d_{sp} : durchschnittliche Sperrdauer bei Unterbruch durch ein Ereignis, bei mittlerer Prozessintensität beträgt diese im Durchschnitt etwa 1 Tag.

K_{Stau} : Kosten pro Staustunde und Fahrzeug, gemäss Daten des ASTRA belaufen sich diese auf etwa Fr. 30.-- im Schnitt.

d_U : benötigte zusätzliche Fahrzeit auf einem offenen Umfahrungsweg, diese lag für die Nationalstrassen des Kantons Bern im Schnitt bei etwa 0.4 Std

Objektrisiko r_V

$$r_V = h_S \times S_V \text{ (Fr./Jahr)}$$

Naturgefahrenindex Nebenanlagen

Diese Risiken können nicht mit einer sinnvollen Genauigkeit ermittelt werden. Die Zahl der sich bei den Nebenanlagen aufhaltenden Personen und der Sachwert der vorhandenen Anlagen sind bei den einzelnen Objekten extrem unterschiedlich (kleiner Rastplatz bis Autobahnraststätte oder Werkhof) und Angaben dazu liegen nicht in einer geeigneten Form vor. Eine sinnvolle Ermittlung der jeweiligen Risiken ist mit den vorliegenden Angaben zu den Objekten nicht möglich. Diese könnten nur mit einer detaillierten Analyse entsprechend Stufe 3 erfasst werden.

Auch zeigen die Erfahrungen aus dem Projekt des Kantons Bern, dass die Risiken der Nebenanlagen einen relativ kleinen Beitrag zum Gesamtrisiko leisten (unter 10%).

Aus diesen Gründen wird auf die Berechnung eines Naturgefahrenindex für die Nebenanlagen verzichtet. In den Karten wird lediglich angegeben, ob eine Nebenanlagen von einem Gefahrenprozess getroffen wird oder nicht.

Berechnung und Darstellung Naturgefahrenindex

Der Naturgefahrenindex wird pro Längeneinheit von 1m' berechnet. Das bedeutet, dass der gefährdete Streckenabschnitt $g = 1\text{m}$ gesetzt wird. Bei den Verfügbarkeitsrisiken muss das berechnete Risiko eines Prozessraumes durch g geteilt werden. Die Berechnung erfolgt pro Prozess getrennt nach Personen-, Sach- und Verfügbarkeitsrisiken.

Folgende Resultate und Zwischenresultate der Berechnungen sollen abgegeben werden:

- pro Prozess jeweils die Personen-, Sach- und Verfügbarkeitsrisiken und deren Summe
- für die Summe aller Prozesse jeweils die Personen-, Sach- und Verfügbarkeitsrisiken und deren Summe

Auf den gedruckten Karten wird die Gesamtsumme aller Prozesse und Risiken dargestellt. Dabei werden 5 Klassen gebildet.

Bemerkungen

Ob mit den Berechnungen basierend auf einem "mittleren" Szenario mit 100-jährlicher Wiederkehrdauer und mittlerer Prozessintensität grob auf die vorhandenen Gesamtrisiken (absolute und relative Werte) geschlossen werden kann lässt sich nicht mit Sicherheit sagen.

Vergleiche mit Zahlen aus detaillierten Risikoanalysen entlang von Nationalstrassen sind nur bedingt möglich. Insbesondere liegt das daran, dass in den Gefahrenbeurteilungen bei Gefahrenhinweiskarten und detaillierten Analysen grössere Unterschiede z.B. bei den Brücken, Tunnels und auch der Berücksichtigung von Schutzmassnahmen resultieren.

Die hier berechneten Naturgefahrenindizes stellen einen ersten Versuch dar die Priorisierung von detaillierten Risikoanalysen zu verbessern. Daher sind sie mit der entsprechenden Vorsicht anzuwenden. Nach vorliegen solcher detaillierter Analysen könnte ein Vergleich gemacht und die Güte der Indizes abgeschätzt werden.