

QUANTIFIZIERUNG DER NATURGEFAHRENBASIERTEN RISIKEN AUF DEM NETZWERK DER SCHWEIZERISCHEN BUNDESBAHNEN

Serena Liener¹, Peter Gsteiger², Esther Schönthal³ and Marc Hauser⁴

ZUSAMMENFASSUNG

Für das gesamte Streckennetz der Schweizerischen Bundesbahnen (SBB) soll eine Übersicht über die durch Naturgefahren verursachten Risiken erstellt werden. Als Grundlage für die Risikoübersicht werden schweizweit verfügbare Geodaten verwendet. Das **Gefahrenpotenzial** wurde mit verschiedenen Prozessmodellen nach einheitlichen Kriterien modelliert. Dabei wurden ausser den Tunnelstrecken keine Schutzbauten berücksichtigt. Die Schutzwirkung des Waldes ist lediglich in den potenziellen Lawinenanrissgebieten berücksichtigt, indem die potenziellen Gefahrengebiete nur für Fliesslawinen aus Anrissgebieten ausserhalb des Waldes berechnet werden.

Als **Schadenpotenzial** werden das Streckennetz der SBB sowie die massgebenden Angaben zur Streckennutzung (Durchfahrten pro Tag, mittlere Belegung, Geschwindigkeit) verwendet. Das Gefahrenpotenzial wird mit dem Schadenpotenzial überlagert. Dabei werden die potenziell gefährdeten Streckenabschnitte ausgeschieden und die naturgefahrenbedingten Risiken bestimmt.

Keywords: Risikoanalyse, Simulationsmodell, Gefahrenhinweiskarte, Risiko auf Verkehrswegen

ABSTRACT

In Switzerland different natural hazards such as snow avalanches, rockfall, shallow landslides, debris flow and flooding were modelled nationwide by means of different simulation approaches (Liener et al. 2008). The hazard potential affecting the SBB network is determined based upon this set of spatial data. Thereby, protective structures (such as rock fall catch fences) are not considered unless they are clearly visible in the elevation model. Protective effects of forests are only considered in avalanche starting zones, whereas tunnels are assumed to offer a complete protection against all types of hazards.

The damage potential comprises the value of the SBB line. In order to quantify a realistic damage potential, the number of passenger trains per section and day, the respective occupancy rate as well as the speed of the composition has to be considered.

The hazard potential is connected to the damage potential by overlaying both data layers. Thereby, the potentially vulnerable parts of the network are determined and the natural hazards-related risks are quantified.

Keywords: risk analysis, simulation model, hazard index map

AUSGANGSLAGE UND ZIELSETZUNG

Naturgefahren wie Steinschlag, Hangmuren, Wassergefahren oder Lawinen können einzelne Abschnitte des Streckennetzes der schweizerischen Bundesbahnen (SBB) tangieren. Im Projekt “Übersicht Risiken Naturgefahren SBB” wird basierend auf schweizweit verfügbaren Daten eine Übersicht über die durch Naturgefahren verursachten Risiken erarbeitet.

¹ Serena Liener. geo7 AG, Neufeldstrasse 5-9, 3012 Bern, Switzerland (e-mail: serena.liener@geo7.ch)

² Peter Gsteiger. geo7 AG, Switzerland (e-mail: peter.gsteiger@geo7.ch)

³ Esther Schönthal. geo7 AG, Switzerland (e-mail: esther.schoenthal@geo7.ch)

⁴ Marc Hauser. SBB, Infrastructure, Natural Hazard, Mittelstr. 43, 3000 Bern 65, Switzerland (e-mail: marc.hauser@sbb.ch)

Das Projekt soll folgende Ergebnisse liefern:

- Gefahrenhinweiskarte: Lokalisierung potenziell gefährdeter Streckenteile zu definierten Gefahrenarten auf der Basis landesweit verfügbarer Geodaten auf Gefahrenhinweisstufe.
- Risikoanalyse und Risikokarte: Analyse, Lokalisierung und Quantifizierung der naturgefahrenbedingten Risiken auf dem Streckennetz der SBB auf der Grundlage der Gefahrenhinweiskarte und unter Einbezug streckenbezogener Informationen (beispielsweise Anzahl Züge pro Tag) der SBB zum Schadenpotenzial.

VORGEHEN

Das Projekt umfasst folgende Schritte:

1. Identifikation der Gefahren- und Schadenpotenziale
2. GIS-Analyse Schadenpotenzialrelevanz
3. Validierung der Gefahrenpotenziale durch Streckenkenner
4. Berechnung des kollektiven und individuellen Todesfallrisikos

IDENTIFIKATION DER GEFAHREN- UND SCHADENPOTENZIALE

Für die Gewinnung der Übersicht Risiken Naturgefahren SBB werden bestehende, landesweit verfügbare Geodaten verwendet.

Das **Gefahrenpotenzial** wurde schweizweit mit verschiedenen Prozessmodellen nach einheitlichen Kriterien modelliert (SILVAPROTECT-CH siehe auch Liener et al., 2008). Die Modellierungen liefern keine Angaben zu Intensität und Häufigkeit der Gefahrenprozesse. Sie weisen die Bearbeitungstiefe Gefahrenhinweis auf und bezeichnen den potenziellen Wirkungsbereich der modellierten Gefahr unter pessimistischen Rahmenbedingungen (ohne Berücksichtigung von Schutzbauten).

Gewisse Unschärfen bestehen in der Abbildung der topografischen Gegebenheiten. Bedingt durch die verfügbare Grundlage (DTM10 auf Basis DTM25) werden prozessrelevante Erhebungen wie zum Beispiel Dämme nur dann annähernd abgebildet, wenn sie eine gewisse Ausdehnung aufweisen.

Die Gefahrenpotenziale entsprechen somit einer Gefahrenhinweiskarte und berücksichtigen keine Schutzbauten. Die Schutzwirkung des Waldes ist lediglich in den potenziellen Lawinanrissgebieten berücksichtigt, indem die potenziellen Gefahrenggebiete nur für Fliesslawinen aus Anrissgebieten ausserhalb des Waldes berechnet werden. Somit werden alle potenziellen Gefahrenbereiche ausgeschieden und bilden eine einheitliche Basis für weitergehende Überprüfungen und Beurteilungen. Es wird keine Differenzierung nach Wiederkehrperioden gemacht.

Das **Schadenpotenzial** umfasst das schweizweite Streckennetz der SBB (siehe Fig. 1). Für die Risikoanalyse notwendig sind streckenbezogene Angaben über die Anzahl Durchfahrten pro Tag, den mittleren Besetzungsgrad der Züge sowie die Geschwindigkeit. Weiter werden Angaben zu den Tunnelstrecken berücksichtigt.

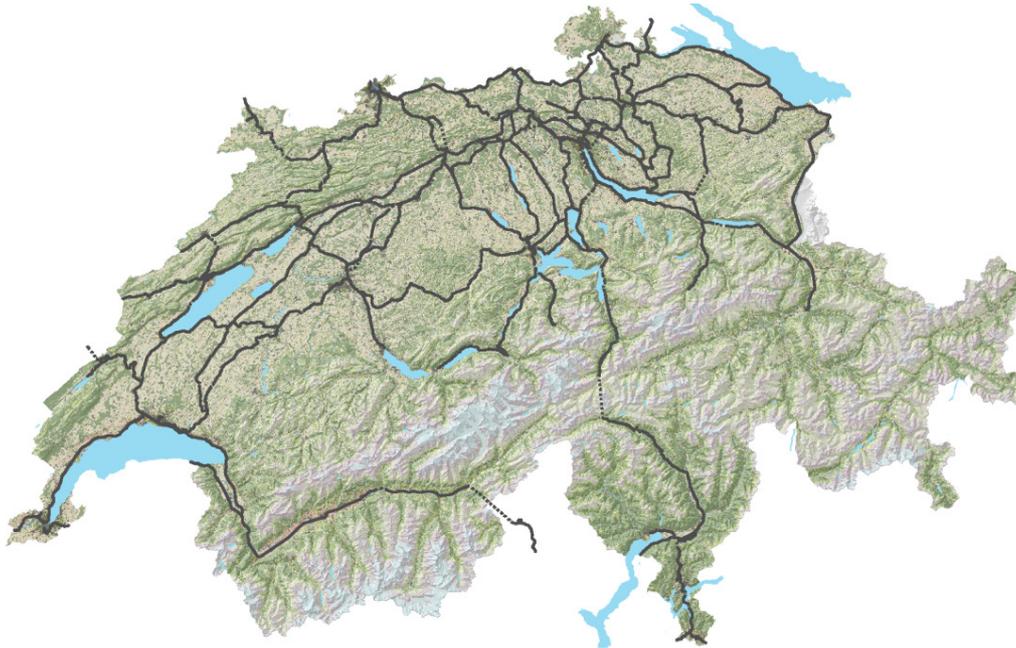


Fig. 1 Streckennetz zur Übersicht Risiken Naturgefahren SBB (Daten: SBB/ Kartengrundlage: Bundesamt für Statistik)

Fig. 1 Railway network for an overview of hazard risks SBB (Data: SBB/ Map: swiss federal statistical office)

GIS-ANALYSE SCHADENPOTENZIALRELEVANZ

In einem nächsten Schritt werden die Gefahrenpotenziale mit dem Streckennetz SBB überlagert. Im Bereich von Tunneln werden die Gefahrenpotenziale Lawine, Sturz, Hangmure und Murgang ausgeblendet. Am Beispiel Sturzgefährdung wird der Analyseprozess illustriert und erläutert. Die modellierten Wirkungsgebiete der Prozesse Sturz, Hangmuren und Murgang (Silvaprotect CH, BAFU) liegen als so genannte Trajektorien vor. Sie zeigen die berechnete Bahn des Prozesses zwischen Quelle und Ablagerungsort.

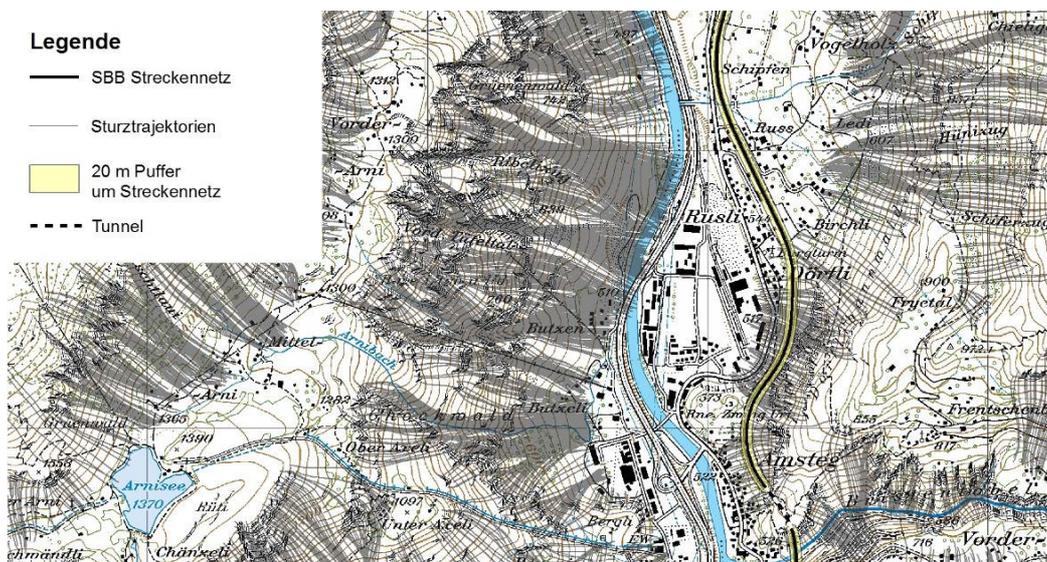


Fig. 2 Die Sturz-Trajektorien, die ausserhalb der Tunnel den 20 Meter Puffer um das Streckennetz (auf der östlichen Talseite berühren), sind schadenpotenzialrelevant. (Kartengrundlage:swisstopo)

Fig. 2 The rock fall trajectories (on the east side of the valley) are touching the railway line (black) and/or its surrounding (yellow). They are thus relevant for the damage potential (map: swisstopo).

Fig. 2 zeigt die Ausgangslage der GIS-Analyse für die Sturztrajektorien. Trajektorien, die ausserhalb der Tunnel den 20 Meter Puffer um das Streckennetz berühren, gelten als potenziell schadenpotenzialrelevant. Für die Weiterverarbeitung im GIS werden die Trajektorien mit unterschiedlichen Pufferdistanzen in Polygone überführt.

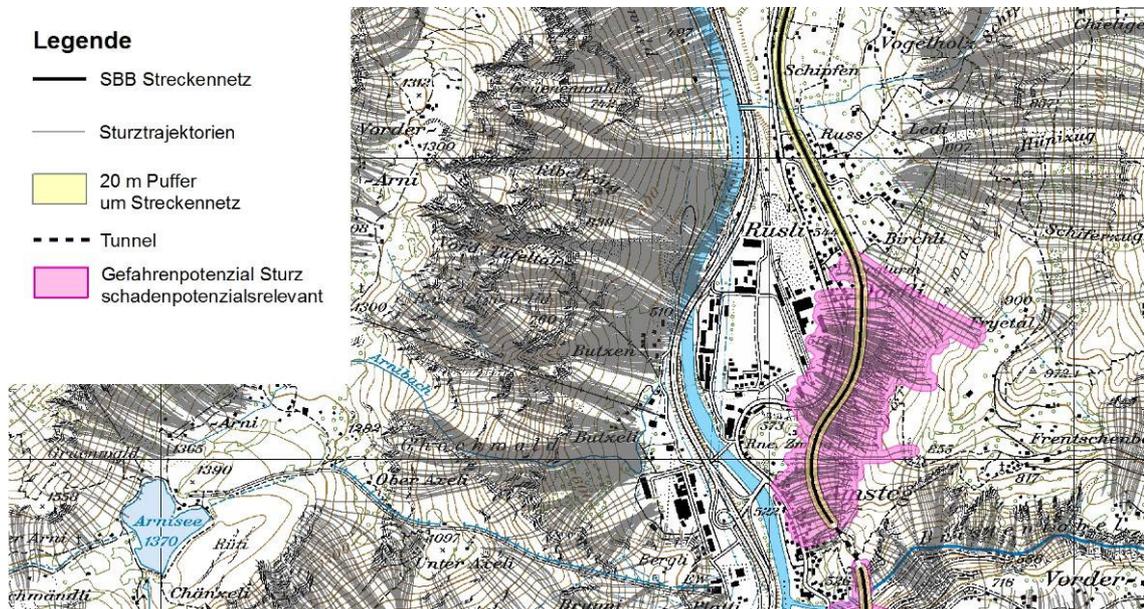


Fig. 3 Schadenpotenzialrelevantes Gefahrenpotenzial Sturz und Streckennetz SBB (Kartengrundlage: swisstopo)

Fig. 3 Hazard potential (on the east side of the valley) for rock fall that is relevant for the damage potential (map: swisstopo).

Auf Fig. 3 ist das Ergebnis der Polygonisierung der schadenpotenzialrelevanten Sturztrajektorien ersichtlich. Die Sturztrajektorien werden mit 20 Meter gepuffert und so zu Polygonen zum Gefahrenpotenzial Sturz weiterverarbeitet. Innerhalb der Polygone liegende kleine Löcher werden eliminiert.

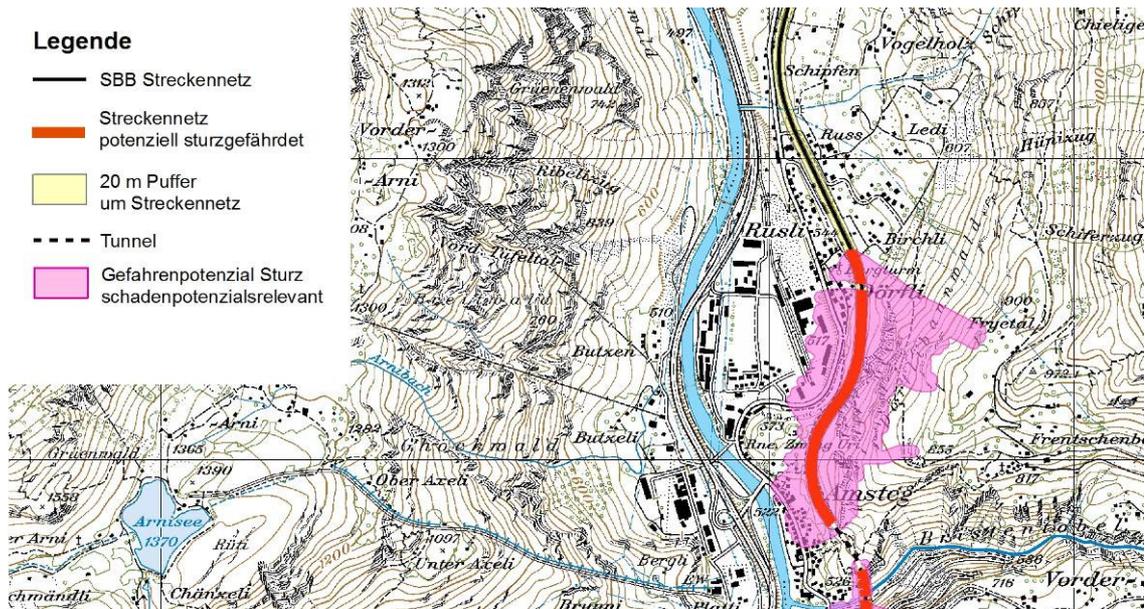


Fig. 4 Gefahrenpotenzial Sturz und das potenziell gefährdete Streckennetz der SBB (Kartengrundlage: swisstopo)

Fig. 4 Hazard potential and the potentially vulnerable railway network if the SBB (map: swisstopo).

Fig. 4 zeigt die potenziell sturzgefährdeten Abschnitte auf dem Streckennetz ausserhalb der Tunnels sowie die relevanten Prozessräume. Sie werden anhand der im vorangehenden Schritt berechneten Polygone und der Strecken SBB ausserhalb der Tunnel identifiziert.

VALIDIERUNG DER GEFAHRENPOTENZIALE DURCH STRECKENKENNER

Die verwendeten Grundlagen zum Gefahrenpotenzial enthalten mit Ausnahme der Überflutungsflächen der Talflüsse und Seen (Aquaprotect, BAFU) keine Angaben zur Wiederkehrperiode der abgebildeten Prozesse. Zur Berechnung der Risikodisposition wird deshalb für die restlichen Prozesse eine einheitliche Wiederkehrperiode von mindestens 100 Jahren eingesetzt. In einer zweiten Projektetappe werden die Gefahrenpotenziale mit dem betriebsinternen Erfahrungswissen von der SBB validiert und bezüglich Wiederkehrperioden präzisiert.

Die Validierung umfasst folgende Aufgaben:

- Plausibilisierung
- Zuweisung Wiederkehrperioden
- Lokalisierung Gefahrenpotenziale Ufererosion und permanente Rutschungen

Bei der Plausibilisierung werden Gefährdungen, die nach Einschätzung des Streckenkenner dort nicht vorliegt, gelöscht. Dies betrifft beispielsweise Hangmuren, welche aufgrund einer Dammlage die Bahngleise nicht erreichen können. Dort, wo Schutzbauten vorhanden sind, wird die Schutzwirkung berücksichtigt und das Gefahrenpotenzial entsprechend reduziert. Ist eine bekannte Gefahrenstrecke auf der digitalen Gefahrenübersicht nicht abgebildet, wird diese ergänzt.

Die Bearbeiter weisen jedem potenziell gefährdeten Streckenabschnitt eine Wiederkehrperiode zu, je einzeln für die Prozesse Steinschlag, Hangmuren, Murgänge und Lawine. Die Wiederkehrperiode entspricht der persönlichen Einschätzung des Bearbeiters und basiert auf dessen Erfahrung und Lokalkennntnis. Der Ereigniskataster SBB soll bei der Abschätzung konsultiert werden. In jedem Fall ist die geschätzte Wiederkehrperiode des Prozesses für die Situation ohne Verbauungen anzugeben. Die Wiederkehrperiode ist wie folgt abzubilden:

Ufererosion sowie permanente Rutschungen sind im Hinblick auf die zu bewertenden Risiken relevante Gefahrenprozesse, der durch den vorliegenden Datenbestand nicht abgebildet werden. Abschnitte, die gemäss Einschätzung der Streckenkenner SBB potenziell von Ufererosion resp. permanenten Rutschprozessen betroffen werden könnten, werden lokalisiert und können dann in der Risikoberechnung ebenfalls berücksichtigt werden.

BERECHNUNG DER KOLLEKTIVEN UND INDIVIDUELLEN RISIKEN

Für sämtliche durch Naturgefahren tangierte Streckenabschnitte wurden das kollektive sowie das individuelle Personenrisiko berechnet. Die Risikoberechnung erfolgt im Wesentlichen gemäss EconoMe Railway (vgl. BAFU et al. 2011). EconoMe Railway ist eine standardisierte Risikoberechnung, welche für Nutzen - Kosten – Berechnungen eingesetzt werden kann. Zur Berechnung werden Angaben zum Gefahrenpotential (Prozessart, Intensität, Wiederkehrdauer) sowie zum Schadenpotential (Zugsdichte, Geschwindigkeit usw.) benötigt.

Tab. 1 Massgebende Gefahrenprozesse und die für die Risikoberechnung gewählten Parameter
Tab. 1 Significant hazard processes and the parameters chosen for the calculation of risk.

Prozess	Eintretenshäufigkeit	Prozess gemäss EconoMe 2.0	Räumliche Auftretensw.	Intensität
Fliesslawine, Anriss ausserhalb Wald	Gemäss Validierung Streckenkenner	Lawinen	0.6	mittel
Steinschlag, Blockschlag, kleine Felsstürze	Gemäss Validierung Streckenkenner	Stein- / Blockschlag	0.03	mittel
Übersarung, Überflutung steile Gerinne	100	Dynamische Überschwemmung	0.7	mittel
Überflutung Talflüsse, Seen	100	Statische Überschwemmung	1	mittel
Übermürung	Gemäss Validierung Streckenkenner	Murgang	0.6	mittel
Hangmuren	Gemäss Validierung Streckenkenner	Hangmure/ spontane Rutschung	0.5	mittel

Die grundlegenden Parameter wurden gemäss Tab. 1 übernommen. Die Wahrscheinlichkeiten der vorsorglichen Sperrung und die Wahrscheinlichkeit, dass ein Zug nicht in die Ablagerung fährt, werden prozessweise entsprechend den Vorgaben von EconoMe Railway in die Berechnung übernommen. Des Weiteren werden auch die Letalitätswerte gemäss EconoMe Railway verwendet. EconoMe Railway gibt für die statische Überschwemmung bei einem 100 jährlichen Szenario eine vorsorgliche Sperrung von 100% und für die restlichen Wassergefahren 95% vor (siehe Tab. 2).

Tab. 2 Werte pro Prozess für vorsorgliche Sperrung, Zug fährt nicht in Ablagerung sowie Letalitätswerte für Direkttreffer und für Auffahrunfall (gemäss EconoMe Railway)

Tab. 2 Values per process for precautionary blocking probability, probability that the train does not run in the deposition and lethality values for direct hit and for rear-end collision (according EconoMe Railway)

Prozess	Wahrscheinlichkeit in %		Letalitätswerte			
	Vorsorgliche Sperrung (100j.)	Zug fährt nicht in Ablagerung	Direkttreffer (100j)	Auffahrunfall 30 – 50 km/h	Auffahrunfall 81 - 100 km/h	Auffahrunfall > 120 km/h
Fliesslawine	95	55	0.03	0.001	0.03	0.08
Steinschlag, Blockschlag, kleine Felsstürze	0	10	0.25	0.001	0.03	0.08
Übersarung, Überflutung steile Gerinne	95	60	4.25E-05	0.001	0.03	0.08
Überflutung Talflüsse, Seen	100	30	8E-09	0.001	0.03	0.08
Übermuring	95	19	0.00095	0.001	0.03	0.08
Hangmuren	0	10	0.0007	0.001	0.03	0.08

AUSWERTUNG SCHADENPOTENZIALRELEVANZ

Erste Auswertungen, welche auf den modellierten (nicht validierten) Prozessdaten basieren, zeigen folgende Resultate: Schweizweit sind insgesamt rund 1200 km des Streckennetzes durch Naturgefahren betroffen (siehe Tab. 3). Dies entspricht etwa 38 % des Streckennetzes. Der grösste Teil davon entfällt auf die Wassergefahren gefolgt von Hangmurenprozessen. Nur gerade 4 % des Streckennetzes sind durch Stein- und Blockschlag gefährdet. Die durch Fliesslawinen betroffenen Strecken sind mit einer Streckenlänge von 17 km relativ unbedeutend. Zu beachten ist, dass die Gesamtstrecke, welche durch Naturgefahren betroffen ist (synoptisch), nicht der Summe der gefährdeten Strecken der Einzelprozesse entspricht, da gewisse Teilstrecken eine Gefährdung durch verschiedene Gefahrenprozesse aufweisen.

Tab. 3 Länge der durch Naturgefahrenprozesse tangierten Strecken

Tab. 3 Length of the sections touched on by natural hazard processes

	Länge [km]	Streckenlänge in [%]
Untersuchtes Streckennetz SBB	3114	100
davon Tunnel	225	7
Exposition Naturgefahren (synoptisch)	1171	38
Exposition Hangmuren	319	10
Exposition Stein- und Blockschlag	117	4
Exposition Fliesslawinen (Anriss ausserhalb Wald)	17	0.5
Exposition Wassergefahren (inkl. Murgang), steile Gerinne	382	12
Exposition Wassergefahren Talflüsse und Seen (100j.)	647	21

RESULTATE RISIKOANALYSE

Die Risiken werden für jede Teilstrecke, welche von einer Naturgefahr betroffen ist, einzeln berechnet. Zuerst werden die Risiken pro Prozessart gemäss EconoMe Railway (BAFU et al. 2011) bestimmt.

Anschliessend werden diese Risiken zusammengesetzt um eine Aussage zum synoptischen Risiko zu

erhalten. Grundsätzlich wird dafür die Summe aller Einzelprozessrisiken gebildet. Bei der Überlagerung der einzelnen Prozesse entstehen Teilstrecken, welche von einem Prozess oder mehreren betroffen sind. Um eine Aussage zum synoptischen Risiko für diese Teilstrecken zu erhalten, wird der prozentuale Streckenanteil der Teilstrecke an der Prozessstrecke bestimmt. Die berechneten Risikowerte werden anschliessend mit dem erhaltenen Anteil multipliziert. Mit diesem Vorgehen bleibt das synoptische Risiko konstant und es kann eine Aussage für jede Teilstrecke (abhängig von den einzelnen Prozessarten) gemacht werden.

Die beiden Risikowerte (kollektiv, individuell) wurden einerseits für das gesamte SBB Streckennetz gerechnet um einen schweizweiten Überblick über die Risikosituation zu erhalten. Andererseits wurden sämtliche Berechnungen auch pro Linie (gemäss SBB) durchgeführt. Um die Werte der einzelnen Linien miteinander vergleichen zu können, wurden die erhaltenen Risikowerte der Einzelprozesse auf eine Strecke von 100m normiert. Zudem beziehen sich sämtliche Kennzahlen auf das SBB Streckennetz ohne Tunnelstrecken.

Tab. 4 Übersicht Risikosituation gesamtes SBB Streckennetz basierend auf den nicht validierten Prozessdaten
Tab. 4 Overview of the risk situation of the entire SBB route network based on not validated process data

Risikosituation SBB Streckennetz schweizweit	Gesamtstrecke [km]	Risikoanteil in [%]
Einzelprozesse		
Gefährdung durch Wassergefahren	382	1
Gefährdung durch Hangmuren	319	78
Gefährdung durch Steinschlag	117	21
Gefährdung durch Fliesslawinen	17	< 1

Die Angaben zu den Wassergefahren repräsentieren die zusammengefasste Situation (keine doppelten Strecken) der Wasserprozesse (Murgang, Überschwemmung, Übersarung). Trotz des hohen Streckenanteils mit einer Gefährdung durch Wassergefahren, fällt der entsprechende Risikoanteil mit 1% eher gering aus. Erklärungen dafür sind einerseits, dass bei der Risikoberechnung der Anteil der gefährdeten Strecken durch statische Überflutung entfallen, da diese eine vorsorgliche Sperrung von 100% aufweisen. Andererseits wurde davon ausgegangen, dass im Ereignisfall ein Streckenabschnitt jeweils nur von einem Wasserprozess, d.h. Murgang, Überschwemmung oder Übersarung, betroffen ist. Deshalb wurde bei sich überlagernden Wasserprozessen für die Berechnung des Risikos jeweils nur der Prozess mit dem höchsten kollektiven Risiko berücksichtigt.

Mit 78% entfällt der grösste Risikoanteil auf Hangmuren. Dies kann einerseits mit der Streckenlänge, welche durch Hangmuren gefährdet sind erklärt werden, andererseits bewirken die verwendeten Parameter für die vorsorgliche Sperrung und die Wahrscheinlichkeit, dass der Zug nicht in die Ablagerung fährt, hohe Risikowerte.

Für das Gesamtrisiko ist der Auffahrunfall mit einem Anteil von 99.9% die entscheidende Grösse. Die Analyse zeigte, dass die Wahrscheinlichkeit für einen Anprall auf abgelagertes Material durchschnittlich rund um einen Faktor 100 grösser ausfällt als für den Fall des Direkttreffers. Zudem hängt das Schadenausmass beim Auffahrunfall nur von der Geschwindigkeit des Zuges sowie dem Besetzungsgrad ab. Die entsprechenden Letalitätswerte sind meist höher als die Werte, welche bei der Berechnung des Risikos durch Direkttreffer (siehe Tab. 3) verwendet werden. Dementsprechend wirken sich die verschiedenen Letalitätswerte auf das Gesamtrisiko aus.

Das berechnete Risiko kann streckenbezogen dargestellt werden. Für eine Übersicht kann beispielsweise für das gesamte Streckennetz der SBB das kollektive Personenrisiko aufgezeigt werden. Damit die Risiken vergleichbarer sind, wurden sie auf 100m Streckenlänge normiert. **Fig. 5** zeigt eine Übersicht des kollektiven Personenrisikos normiert auf 100 m. Die roten Querstriche zeigen das Ausmass des Personenrisikos an. Je länger der Querstrich ist, desto grösser ist das kollektive Personenrisiko auf diesem Streckenabschnitt. Wo kein roter Strich zu sehen ist, liegt kein Risiko vor.

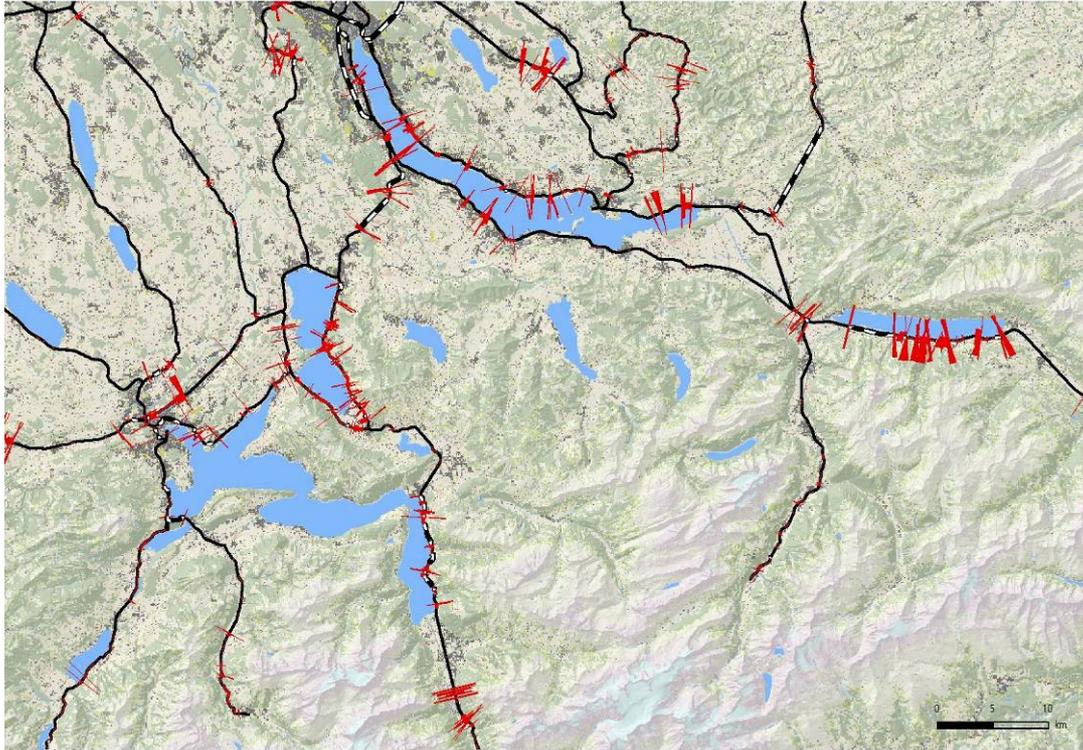


Fig. 5 Übersicht kollektives Personenrisiko, normiert auf 100 m. Die roten Querstriche zeigen die Höhe des Personenrisikos an. Je länger der Strich, desto höher ist das kollektive Personenrisiko. Wo kein roter Strich zu sehen ist, liegt kein Risiko vor. (Ausschnitt)

Fig. 5 Overview collective person risk, normalized to 100 m. The red lines indicate the level of person risk. The longer the line, the higher the collective person risk. Where no red line is visible, there is no risk. (detail)

SCHLUSSBEMERKUNGEN

Das hier vorgestellte Vorgehen ermöglicht es mit vorhandenen Daten eine nachvollziehbare, grossräumige Risikoübersicht zu erstellen. Die Projektergebnisse dienen als Planungsgrundlage für die Naturgefahrenprävention der SBB sowie der Abschätzung des entsprechenden Mittelbedarfs.

LITERATUR

- Bundesamt für Umwelt BAFU (2010). EconoMe 2.0 Online-Berechnungsprogramm zur Bestimmung der Wirtschaftlichkeit von Schutzmassnahmen gegen Naturgefahren. Bern.
- Bundesamt für Umwelt BAFU, Bundesamt für Verkehr BAV, Bahnunternehmungen BLS, BOB, MGB RHB, SBB und zb (2011). EconoMe Railway 1.0 (2011)
- Liener S., Pfeifer R., Giamboni M. (2008). Simulation von Gefahrenhinweisflächen als Grundlage zur Schutzwaldauscheidung in der Schweiz. Interprävent 2008, Dornbirn.