

# GEOTEST

***Beispiele einer risikobasierten Massnahmenplanung zum Schutz vor gravitativen Naturgefahren bei Lifelines im Alpenraum, am Beispiel der Schweiz.***

*Esempi di pianificazione di misure di protezione dai pericoli naturali gravitativi basata sulla valutazione del rischio lungo linee vita nella regione alpina svizzera.*

7 marzo 2024 | Polo Tecnologico Rovereto  
Dr. Kaspar Graf, GEOTEST AG, Zollikofen, Svizzera

# Introduzione

In Svizzera negli ultimi decenni la Confederazione e i Cantoni hanno sviluppato un sistema standardizzato e comparabile per la determinazione dei rischi nelle aree di insediamento alpine e lungo le arterie di comunicazione stradali e ferroviarie principali.

Negli ultimi 20 anni circa molti collegamenti stradali e ferroviari nella regione alpina svizzera sono stati protetti contro i pericoli naturali gravitativi.

L'efficacia di una misura di protezione è funzione dell'intensità dell'evento; per tale motivo vengono determinati più scenari con tempi di ritorno differenti (ad esempio 30, 100, 300 anni).

Su questa base devono essere definiti gli obiettivi di protezione (ad esempio, le Ferrovie Federali hanno generalmente un obiettivo di protezione basato su uno scenario di 100 anni).

Questo approccio metodologico di difesa dal pericolo si è ormai affermato con successo in Svizzera.

# Online Tool

La Confederazione ed i Cantoni utilizzano un «Online Tool» per la determinazione del rischio e per la valutazione dell'efficacia dei costi delle misure di protezione al fine di ottenere sussidi dal Cantone e dal Governo federale.



Immagine da drone: frana lungo la linea ferroviaria Berna – Losanna, 2021

# Online Tool

Quali domande sorgono quando si pianificano le misure di protezione?

- C'è un deficit di protezione o una necessità di intervento?
- Quanto può essere ridotto il rischio (impatto del progetto)?
- Qual è il rapporto tra la riduzione del rischio e i costi (efficienza economica)?
- Quali progetti dovrebbero essere sostenuti dal pubblico?
- Come si può stabilire l'ordine di priorità dei progetti?

Il Tool dovrebbe consentire di confrontare l'impatto del progetto (efficacia) e l'efficienza economica (efficienza) delle misure di protezione. Secondo l'articolo 10 della Costituzione federale, lo Stato deve garantire la vita e l'incolumità dei suoi cittadini. Pertanto, la riduzione del rischio (in particolare la riduzione del **rischio di morte individuale**) ha la massima priorità. Tuttavia, le misure di protezione contro i rischi naturali devono anche essere proporzionate ed economiche.

# Approccio metodologico

Quali sono i prerequisiti per calcolare realisticamente i rischi e la redditività di progetti (complessi)?

- Zonazione delle aree di pericolo (ad esempio pericolo di crollo):
  - analisi dei fattori predisponenti e innescanti (tipo di roccia, tettonica, idrogeologia, ecc.); analisi delle discontinuità, geometria delle zone di distacco, caratteristiche del sottosuolo lungo le zone di transito, morfologia del terreno, copertura forestale protettiva; rilievo dei «testimoni muti» e raccolta degli eventi pregressi.
- Scenari di frana (forma e volume del blocco per la modellazione; uso di modelli digitali di elevazione il più precisi possibile, ecc.).
- Verifica della plausibilità dei risultati sul campo da parte di esperti del settore.
- Redazione di mappe di intensità per scenario/anno per i perimetri del progetto in questione (o sezioni ferroviarie e stradali).
- Il calcolo comprende anche i parametri per il potenziale di danno (in particolare i dati sul traffico).

# Übersicht aller möglichen Schadenbilder

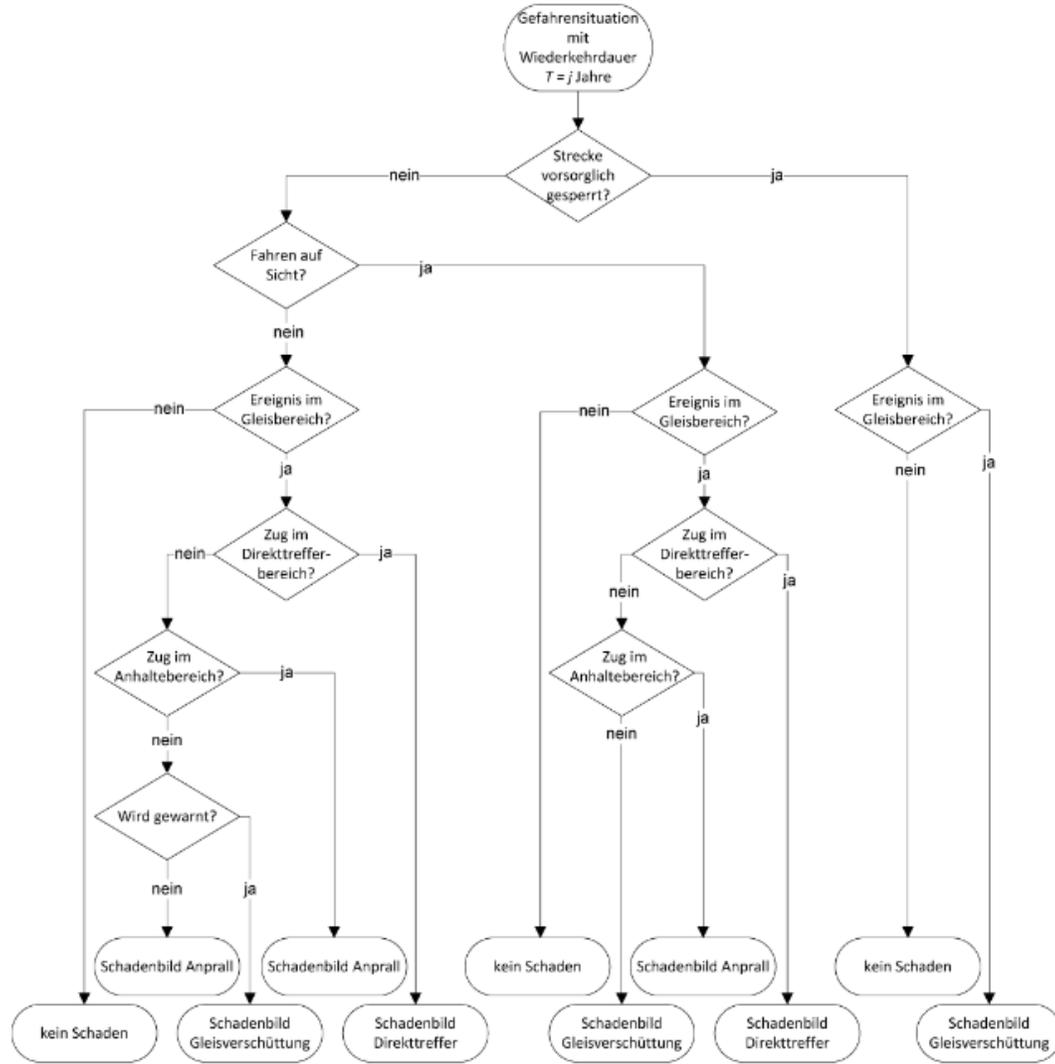


Abbildung 3.1: Ereignisbaum aller möglichen Schadenbilder im Schienenverkehr

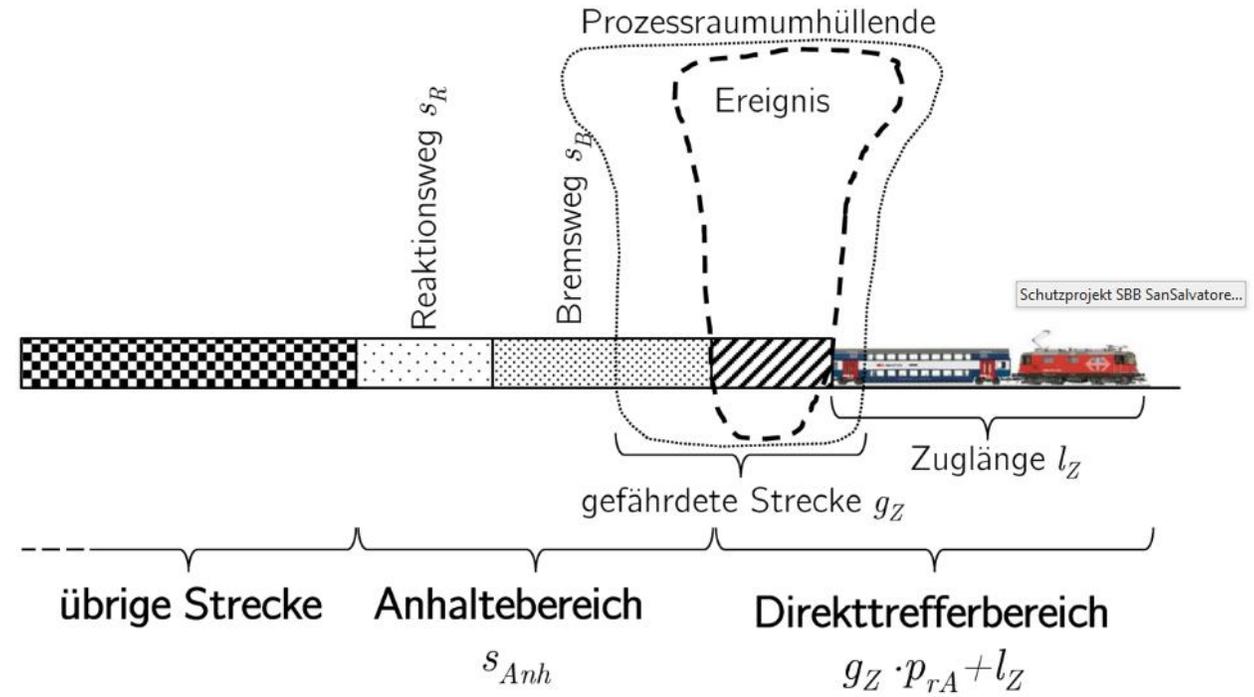


Abbildung 3.2: Das Schienennetz wird in drei Bereiche unterteilt.

# Rapporto costi/benefici

Das Risiko kann für jedes Szenario quantifiziert werden und heisst Ausgangsrisiko  $R_0$ . Nach Ausführung einer Schutzmassnahme wird das verbleibende Restrisiko  $R_r$  beurteilt. Die Differenz  $\Delta R$  ist die Risikoverminderung und entspricht der Wirksamkeit der Massnahmen (messbaren Schutzleistung), welche in EconoMe als alleiniger Nutzen quantifiziert wird. Das Nutzen/Kosten-Verhältnis ist ein Mass für die Wirtschaftlichkeit der Investition. Massnahmen, deren Quotient aus Nutzen zu Kosten  $\geq 1$  ist, gelten als kostenwirksam.

$$NKV = \frac{R_0 - R_r}{K_j} = \frac{\Delta R}{K_j} \quad [-] \quad (11.1)$$

wobei

NKV	Nutzen/Kosten-Verhältnis der Schutzmassnahme. Die Massnahme gilt als kostenwirksam, wenn $NKV \geq 1$ .	[-]
$R_0$	Ausgangsrisiko.	[CHF/a]
$R_r$	Restrisiko.	[CHF/a]
$K_j$	Jährliche Gesamtkosten der Schutzmassnahme.	[CHF/a]
$\Delta R$	Risikoverminderung.	[CHF/a]

# Obiettivo

Per i processi di crollo viene utilizzato l'obiettivo di protezione generalmente applicabile per quanto riguarda il rischio individuale di morte di  $1 \times 10^{-5}$  /anno per una persona che deve attraversare una zona di pericolo (2 viaggi al giorno per 365 giorni all'anno).

# Progetto di protezione FFS San Salvatore, Lugano, Ticino, Svizzera

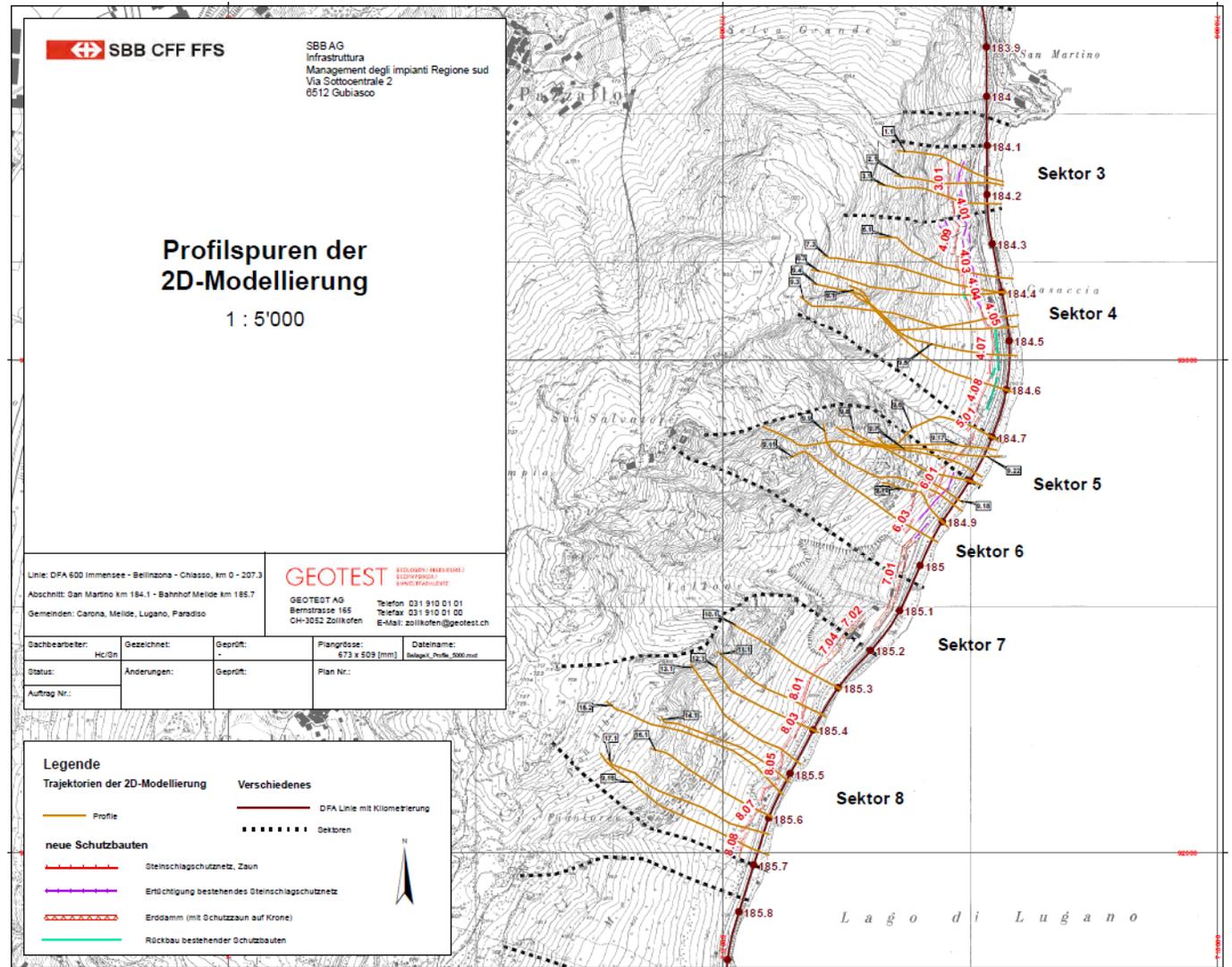
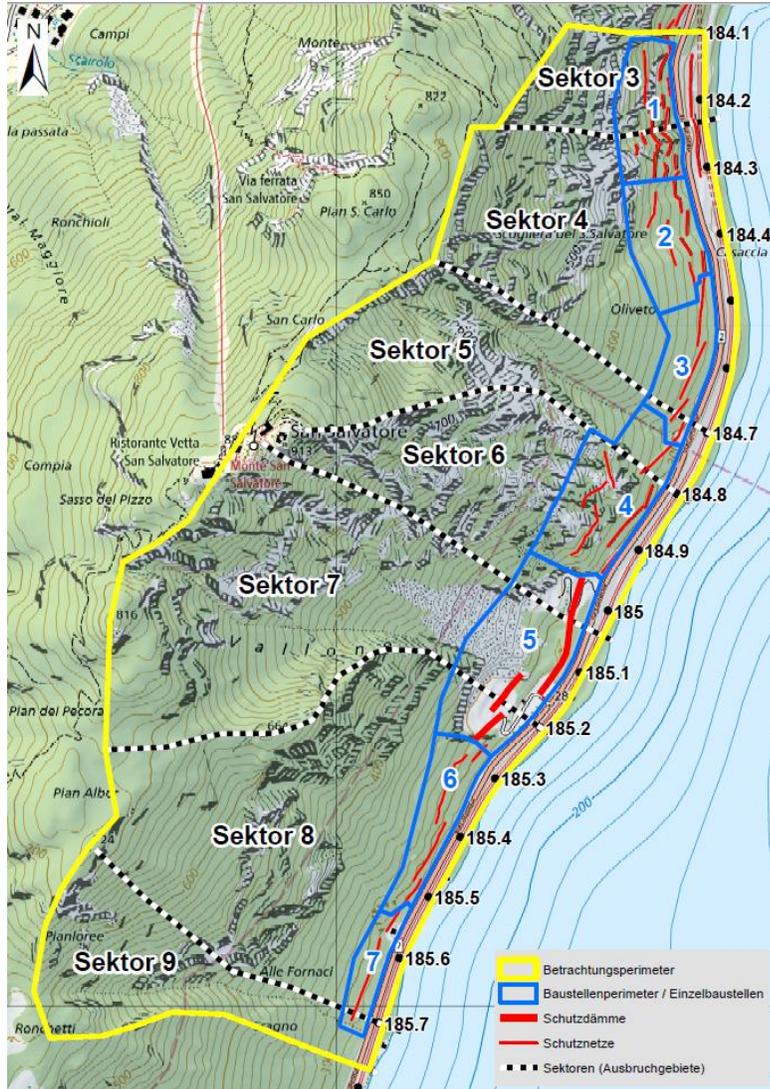
- Pareti rocciose dolomitiche triassiche fortemente discontinue;
- Altezze fino a 800m;
- Strada e ferrovia direttamente ai piedi delle zone di caduta;
- Molti eventi noti; elevate energie, intense precipitazioni;
- Elevata importanza della linea ferroviaria (corridoio nord-sud).



# Progetto di protezione FFS San Salvatore, Lugano, Ticino, Svizzera

- Per proteggere la linea ferroviaria dalla caduta massi sono state costruite nuove reti paramassi (classi di energia 500 - 5.000 kJ) e tomi di protezione (altezze fino a 10 m) ai piedi del Monte San Salvatore, tra Melide e Lugano, su una distanza di circa 1,5 km.
- Le strutture di protezione sono dimensionate per eventi di crollo con un periodo di ritorno di 100 anni. Le cadute massi più rare e di grandi dimensioni sono monitorate con un sistema di monitoraggio integrato composto da diversi sistemi di misurazione.
- Durante la costruzione delle reti paramassi, il monitoraggio è servito anche a mettere in sicurezza il cantiere.
- Una combinazione di monitoraggio dell'intera area di distacco (georadar, fotogrammetria) e di misurazioni puntuali delle fessure (telejointmeter, stazione totale) in corrispondenza dei punti di instabilità della roccia dovrebbe consentire di rilevare in modo affidabile i movimenti critici della roccia.

# Progetto di protezione FFS San Salvatore, Lugano, Ticino, Svizzera



# Progetto di protezione FFS San Salvatore, Lugano, Ticino, Svizzera

## Was ist Risiko (in Bezug auf Naturgefahren)?

**Risiko** = Eintretenswahrscheinlichkeit x **Schadenausmass**

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

$$R_j = \sum_i R(i,j) ; \mathbf{R} = \sum_j R(j)$$

**R** = Kollektives Risiko als Summe über alle Szenarien  $j$  und Objekte  $i$  [CHF/a oder Tt/j]

$p_j$  = Wahrscheinlichkeit des Szenarios  $j$

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

**A** = Wert des Objektes  $i$  [CHF]

$v_{i,j}$  = Schadenempfindlichkeit des Objektes  $i$  in Abhängigkeit von Szenario  $j$

# Progetto di protezione FFS San Salvatore, Lugano, Ticino, Svizzera

## Schutzziele SBB vor Naturgefahren

1. Individuelles Todesfallrisiko kleiner als  $10^{-5}$
2. Schutz vor dem 100-jährigen Ereignis.

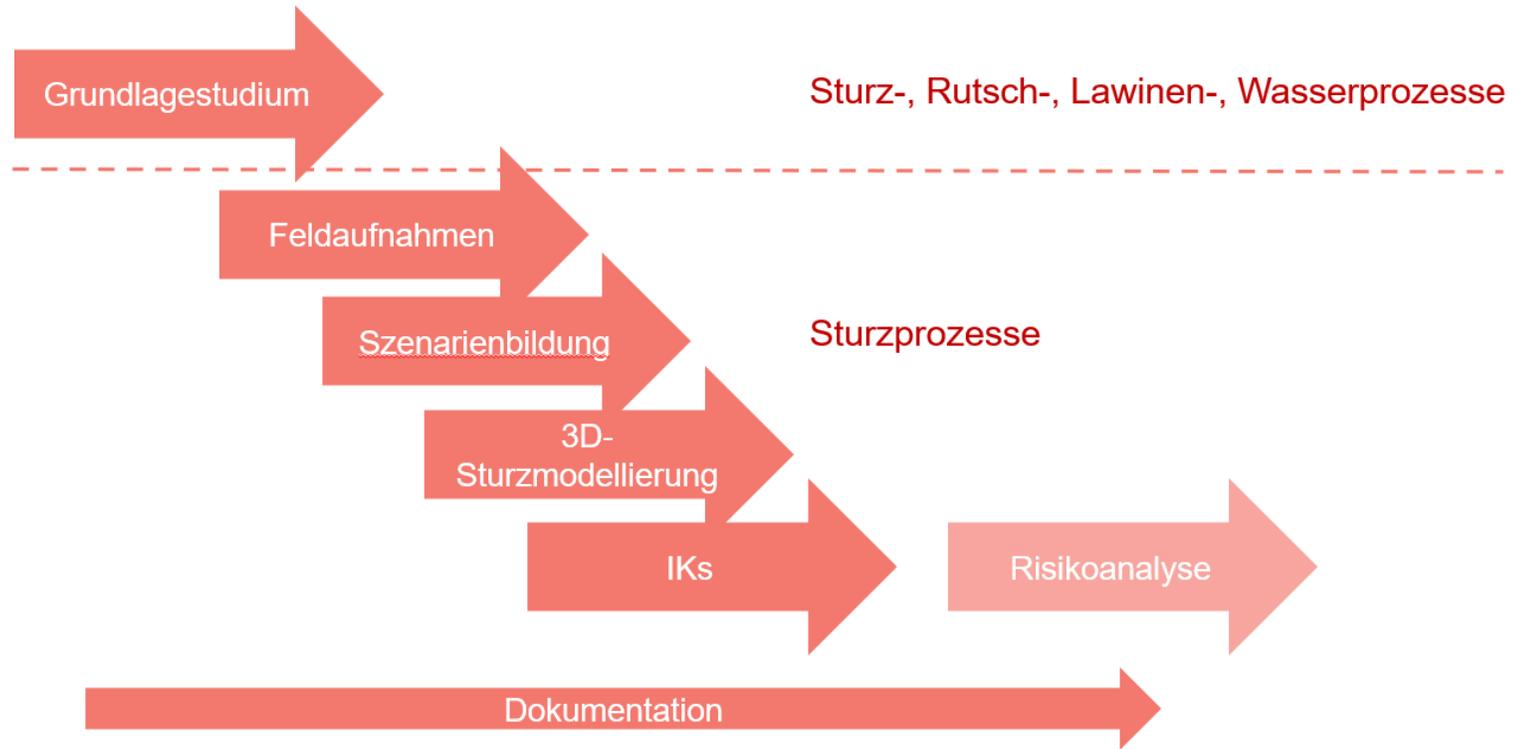
Optionale Schutzzielerweiterung:

3. Schutz vor dem 300-jährigen Ereignis bei ausserordentlichen Gefahren- und Risikosituationen.

Als kritische Grössen für die Entgleisung eines Zugs durch Naturgefahren gelten:

- Sturz: Blockgrössen mit Durchmesser  $> 0.3$  m
- Übrige Massenbewegungen: Ablagerungsmächtigkeiten  $> 0.3$  m
- Schutzmassnahmen sollen kosteneffizient sein. D.h. Nutzen/Kosten  $\geq 1$

# Studio del corridoio «Lütschentäler» Interlaken Grindelwald Lauterbrunnen, Oberland bernese, Svizzera



# Studio del corridoio «Lütschentäler» Interlaken Grindelwald Lauterbrunnen, Oberland bernese, Svizzera

Le strade di accesso ai famosi centri turistici di Grindelwald - Jungfrauoch Top of Europe e Lauterbrunnen devono attraversare le strette valli del Lütschen da Interlaken.

Nei tratti critici, la ferrovia e la strada corrono parallele e vicine l'una all'altra, direttamente sotto aree di frana attive.

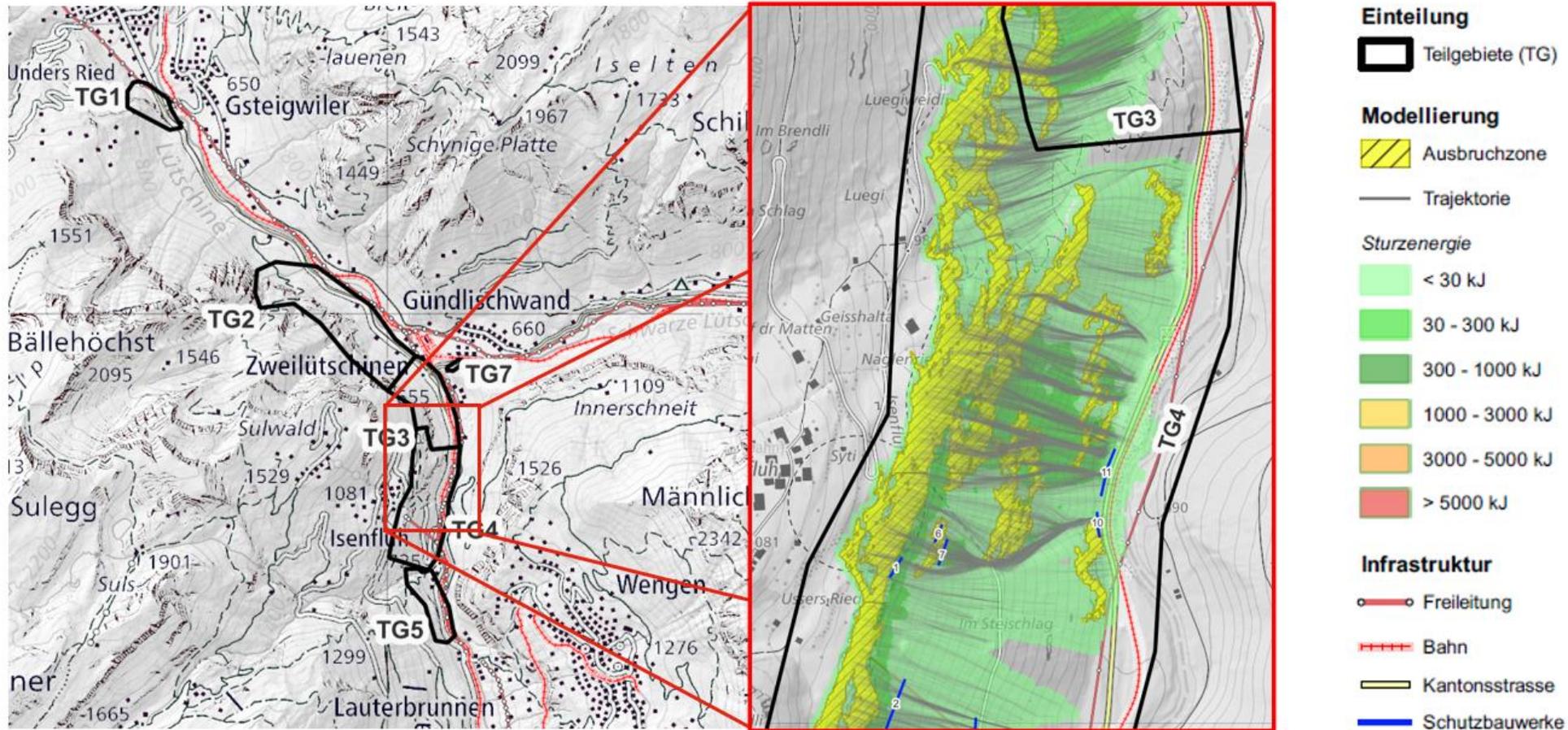
In caso di incidente, c'è il rischio di un'interruzione completa della connessione ai villaggi.



# Studio del corridoio «Lütschentäler»

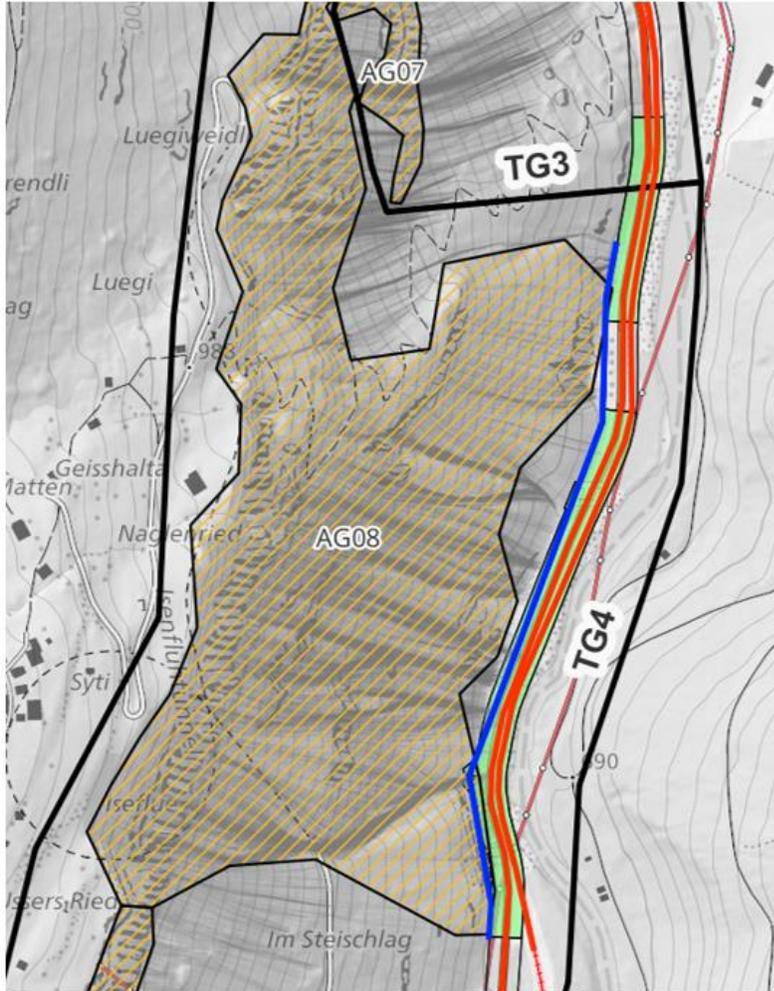
Interlaken Grindelwald Lauterbrunnen, Oberland bernese, Svizzera

## Methodik – 3D-Sturzmodellierung



# Studio del corridoio «Lütschentäler»

Interlaken Grindelwald Lauterbrunnen, Oberland bernese, Svizzera

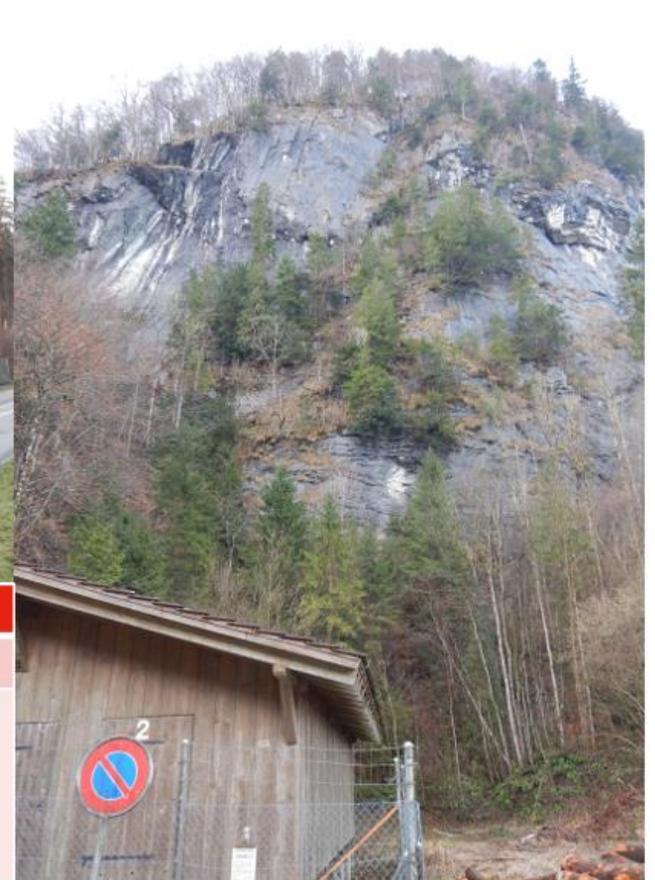
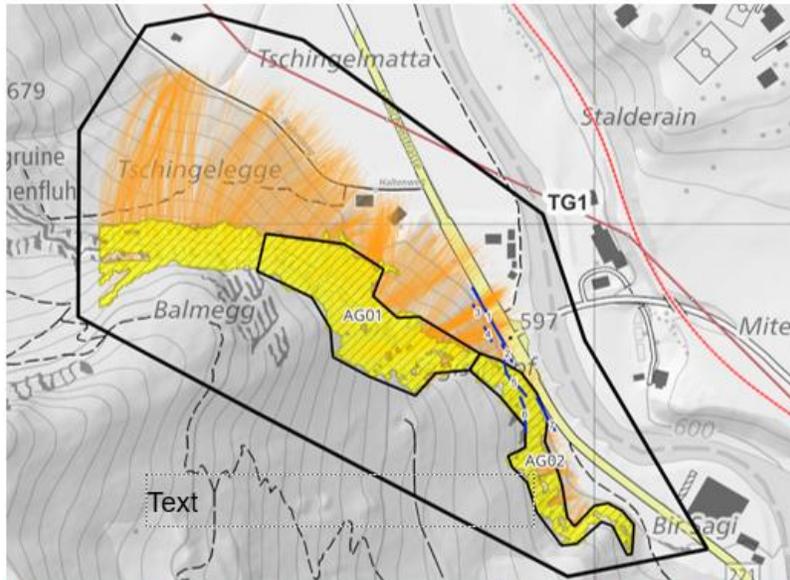


## Methodik - Risikoanalyse

- Definition Ausbruchgebiete
- Definition Schadenobjekte (Strasse und Bahn)
- Definition Schadenobjektlinien

<b>Einteilung</b>	<b>Risikoanalyse</b>
Teilgebiete (TG)	Ausbruchgebiete (AG)
<b>Modellierung</b>	Schadenobjekte (SO)
Trajektorie	Schadenobjektlinie (SOL)
<b>Intensitäten</b>	<b>Infrastruktur</b>
schwach	Freileitung
mittel	Bahn
stark	Kantonsstrasse

# Studio del corridoio «Lütschentäler» Interlaken Grindelwald Lauterbrunnen, Oberland bernese, Svizzera

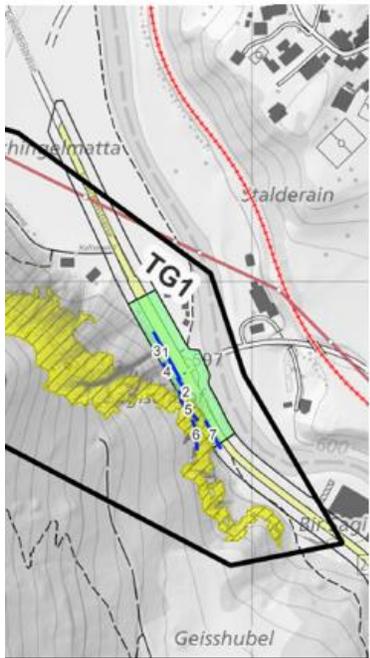


Sz.	Ausbruch	Einzelblock [m <sup>3</sup> ]	Ereignisse/Schutzbauten	
1-j.	Einzelblock	0.01	Ereignisse	Ja (2012)
10-j.	Einzelblock	0.02	Schutzbauten	Schutznetze, Unterfangung, Netzabdeckung, Seilsicherung
30-j.	Einzelblock	0.19		
100-j.	Mehrere m <sup>3</sup>	0.26		
300-j.	Mehrere bis 10er m <sup>3</sup>	2.21		Schutzwirkung: ??

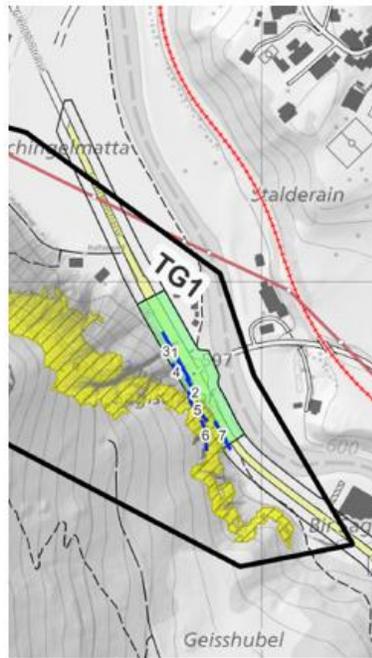
# Studio del corridoio «Lütschentäler» Interlaken Grindelwald Lauterbrunnen, Oberland bernese, Svizzera

5

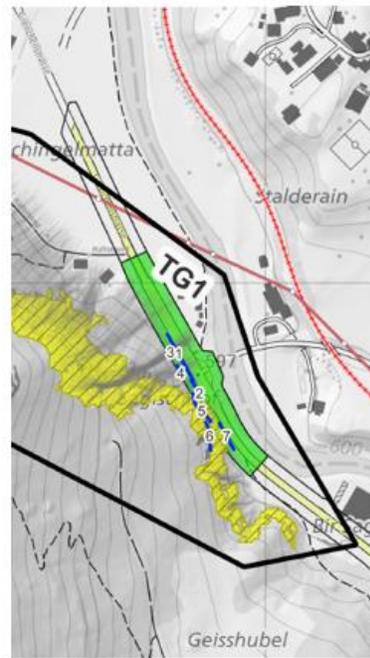
## TG1 - Balmegg/Sagischopf - IKs



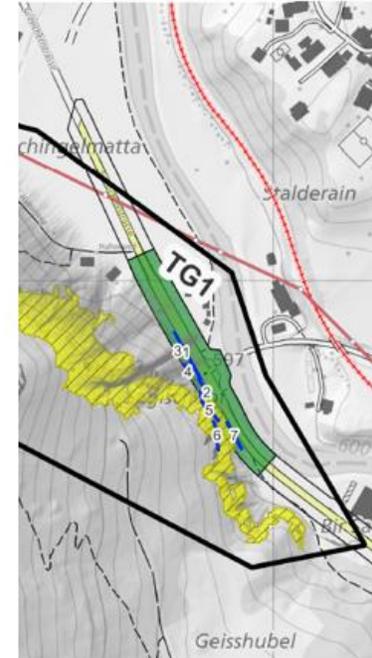
1-jährliches Szenario



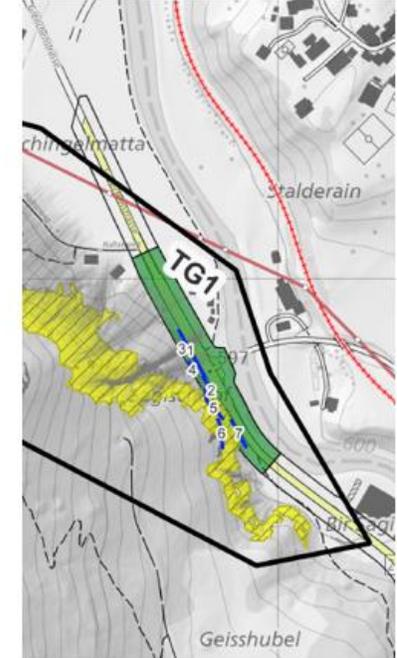
10-jährliches Szenario



30-jährliches Szenario



100-jährliches Szenario



300-jährliches Szenario

# Studio del corridoio «Lütschentäler» Interlaken Grindelwald Lauterbrunnen, Oberland bernese, Svizzera

## Parameter Risikoanalyse

- Ausbruchsszenarien pro Ausbruchgebiet (Anz. Ausbruchblöcke, Blockvolumen)
- Erreichenswahrscheinlichkeiten (pEr) Sturzblöcke (pro Blockgrösse) auf Schadenobjektlinien
  - Anz. Modellierter Sturztrajektorien auf SOL / Anz. modellierte Sturzblöcke pro Ausbruchgebiet
  - Aufgrund grossen Datensatzes, automatisierte Auswertung basierend auf QGIS / Python:
    - 13 Ausbruchgebiete x 5 SOL<sub>Strasse/Bahn</sub> + 9 SOL<sub>Bahn</sub> = 74 SOL x 5 Blockgrössen = **370 p(Er) !!**
- Angaben zum Schadenpotential (DTV, Anz. Durchfahrten derselben Person)

Szenario 300		
Ausbruchgebiet	Ausbruchblöcke [Anz.]	Blockvolumen [m3]
<b>AG01</b>		<b>200</b>
Blockgrössen		
1.5 x 1.4 x 1.3	20	2.21
1.3 x 1.2 x 1.0	80	1.26
0.7 x 0.6 x 0.5	200	0.19
0.4 x 0.3 x 0.2	400	0.02
0.2 x 0.2 x 0.2	800	0.01
<b>Total</b>	<b>1500</b>	<b>199</b>

# Sintesi e risultati

- Le analisi dei pericoli basate sui rischi sono oggi consolidate in Svizzera
- Un'analisi dettagliata dei processi di pericolo, delle aree di impatto e del potenziale di danno costituisce la base per la pianificazione di misure di protezione efficaci dal punto di vista dei costi.
- L'ispezione e la manutenzione delle strutture di protezione sono parte integrante della difesa dai rischi naturali.
- I nuovi sviluppi nella valutazione dei pericoli, nell'identificazione dei rischi, nel monitoraggio e nelle misure tecniche di protezione hanno contribuito in modo determinante al miglioramento dei concetti di protezione integrale negli ultimi anni.
- Tuttavia, i controlli di plausibilità e le valutazioni delle varianti da parte di specialisti esperti sono ancora una componente fondamentale di un buon concetto di protezione.

Vielen Dank!