



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

**Bundesamt für Strassen ASTRA**

**DOKUMENTATION**

# **MANAGEMENT VON NATURGEFAHREN AUF DEN NATIONALSTRASSEN: ANWENDUNGSBEISPIEL**

*Evaluation der Risikostellen und  
Schutzmassnahmenplanung*

---

*Ausgabe 2014 V1.10  
ASTRA 89004*

# Impressum

## Autoren / Arbeitsgruppe

Gogniat Bernard	(ASTRA, N-SFS, Vorsitz)
Rieder Urban	(ASTRA, I-Filiale Thun)
Burkard André	(wasser/schnee/lawinen, Ing. Büro A. Burkard AG)
Steffen Damian	(wasser/schnee/lawinen, Ing. Büro A. Burkard AG)
Riedi Corina	(wasser/schnee/lawinen, Ing. Büro A. Burkard AG)

**Übersetzung** (Originalversion in Deutsch)

## Herausgeber

Bundesamt für Strassen ASTRA  
Abteilung Strassennetze N  
Standards und Sicherheit der Infrastruktur SSI  
3003 Bern

## Bezugsquelle

Das Dokument kann kostenlos von [www.astra.admin.ch](http://www.astra.admin.ch) herunter geladen werden.

© ASTRA 2014

Abdruck – ausser für kommerzielle Nutzung – unter Angabe der Quelle gestattet.

## Vorwort

Die Standards des ASTRA im Bereich der Naturgefahren beruhen auf der Richtlinie ASTRA 19003 „Management von Naturgefahren auf den Nationalstrassen“ [1]. In dieser Richtlinie wird der Prozess des Managements von Naturgefahren auf den Nationalstrassen beschrieben.

Um zwei wichtige Schritte in diesem Prozess – Risikoanalyse und Projektgenerierung – zu veranschaulichen, veröffentlicht das ASTRA die Dokumentation ASTRA 89004 „Management von Naturgefahren auf den Nationalstrassen: Anwendungsbeispiel“. Darin enthalten sind Unterlagen für die Prüfung von Risikostellen und die Planung von Schutzmassnahmen.

Die Dokumentation bietet eine didaktische Grundlage zur Erarbeitung klar strukturierter und vollständiger Dossiers im Rahmen der Projektgenerierung in den ASTRA-Filialen. Sie konkretisiert das vom ASTRA erwartete Anforderungsniveau und formuliert Ziele bezüglich Transparenz, Wirksamkeit und Nachvollziehbarkeit.

Die Dokumentation richtet sich an die operativen Einheiten des ASTRA und an die Fachingenieure.

Sie befolgt den Grundsatz der Kohärenz mit der Richtlinie ASTRA 19003 „Management von Naturgefahren auf den Nationalstrassen“ [1] und mit der Dokumentation ASTRA 89001 „Naturgefahren auf den Nationalstrassen: Risikokonzept“ [3].

Die Dokumentation wurde von einer Arbeits- und Expertengruppe unter der Leitung des ASTRA erarbeitet.

### **Bundesamt für Strassen**

Rudolf Dieterle, Dr. sc. techn.  
Direktor



# Inhaltsverzeichnis

<b>Impressum .....</b>	<b>2</b>
<b>Vorwort.....</b>	<b>3</b>
<b>1 Einleitung .....</b>	<b>7</b>
1.1 Zweck des Dokuments .....	7
1.2 Rahmenbedingungen .....	7
1.3 Adressaten .....	7
1.4 Inkrafttreten und Änderungen .....	7
<b>2 Anwendungsbeispiel .....</b>	<b>9</b>
<b>I Zusammenfassung .....</b>	<b>9</b>
<b>II Auftrag .....</b>	<b>10</b>
<b>III Grundlagen .....</b>	<b>11</b>
<b>IV Systemabgrenzung des Projektperimeters .....</b>	<b>12</b>
<b>V Charakterisierung des Projektperimeters .....</b>	<b>13</b>
<b>1 Gefahrenanalyse .....</b>	<b>15</b>
1.1 Historische Ereignisse .....	15
1.2 Charakterisierung der relevanten Gefahrenprozesse.....	16
1.3 Bestehende Schutzbauten und ihre Wirkung .....	17
1.4 Intensitätskarten.....	17
<b>2 Expositions- und Konsequenzanalyse .....</b>	<b>19</b>
<b>3 Risikoermittlung mit Risikokarte.....</b>	<b>21</b>
3.1 Risikokarte mit Risikostellen .....	21
3.2 Ausgangsrisiko für die Risikostelle .....	22
<b>4 Risikobewertung .....</b>	<b>23</b>
<b>5 Rangierung der Risikostellen .....</b>	<b>24</b>
<b>6 Vorprüfung der möglichen Schutzmassnahmen.....</b>	<b>25</b>
<b>7 Schutzmassnahmendefinition .....</b>	<b>30</b>
7.1 Variante Auffangdamm .....	30
7.2 Variante Auffangnetz .....	32
<b>8 Kostenwirksamkeit (KW).....</b>	<b>34</b>
8.1 Kostenwirksamkeit Variante Auffangdamm .....	35
8.2 Kostenwirksamkeit Variante Auffangnetz .....	36
8.3 Grafik „jährliche Massnahmenkosten – jährlicher Massnahmennutzen“ .....	37
<b>9 Massnahmenoptimierung .....</b>	<b>38</b>
<b>10 Festlegung Schutzmassnahmen.....</b>	<b>44</b>
10.1 Variantenwahl .....	44
10.2 Koordination mit Dritten .....	44
<b>11 Projektdefinition.....</b>	<b>45</b>
<b>Anhänge .....</b>	<b>47</b>
<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>53</b>
<b>Auflistung der Änderungen.....</b>	<b>55</b>



# 1 Einleitung

## 1.1 Zweck des Dokuments

Diese Dokumentation soll dem Anwender den Umfang und den Detaillierungsgrad des Dossiers „Evaluation der Risikostellen und Schutzmassnahmenplanung“ gemäss der ASTRA Richtlinie 19003 „Management von Naturgefahren auf den Nationalstrassen“ [1] anhand eines Anwendungsbeispiels aufzeigen. Das Anwendungsbeispiel zeigt eine reale Risikostelle. In den grauen Kasten ist der generelle Inhalt der Kapitel zusammengefasst.

Mit der Dokumentation zu diesem Dossier sollen eine einheitliche Beurteilung von Risikostellen sowie eine transparente, vergleichbare und nachvollziehbare Wahl und Bewertung von Schutzmassnahmen sichergestellt werden.

## 1.2 Rahmenbedingungen

Der Inhalt eines Dossiers ist in der Richtlinie ASTRA 19003 „Management von Naturgefahren auf den Nationalstrassen“ [1] definiert (siehe Anhang I). Ein Dossier beinhaltet eine Risikostelle. Eine Risikostelle kann aus mehreren Prozessquellen unterschiedlicher Naturgefahrenprozesse zusammengesetzt sein. Der Auftraggeber gibt die zu untersuchende Risikostelle vor.

Das Endprodukt ist ein Bericht oder setzt sich aus mehreren Teildossiers zusammen. Die Abgabeform ist mit dem Auftraggeber zu vereinbaren.

## 1.3 Adressaten

Diese Dokumentation richtet sich vor allem an Anwender, welche mit einer Schutzmassnahmenplanung beauftragt werden (z.B. ASTRA Zentrale, ASTRA Filialen, beratende Ingenieurbüros).

## 1.4 Inkrafttreten und Änderungen

Die vorliegende ASTRA Dokumentation tritt am 25.02.2014 in Kraft. Die „Auflistung der Änderungen“ ist auf Seite 55 zu finden.





## 2 Anwendungsbeispiel

### I Zusammenfassung

Die Zusammenfassung zeigt die Ergebnisse eines Dossiers auf.

Auf der Nationalstrasse N09 sind mehrere Strassenabschnitte zwischen Brig und Gondo durch Lawinen gefährdet. In der Gefahrenbeurteilung und Risikoanalyse betreffend Naturgefahren auf Nationalstrassen - Los 13: Simplon [8] wurden die Gefährdung beurteilt und das Ausgangsrisiko bestimmt. Demnach verletzt das kollektive Risiko im Prozessraum Furigrabo SIMP/L67 das Überprüfungskriterium des ASTRA von 10'000 CHF pro Prozessraum und Jahr. Da in der Erhaltungsplanung verschiedene Sanierungsarbeiten in diesem Strassenabschnitt geplant sind, wurde die hier vorliegende Massnahmenplanung für den Prozessraum Furigrabo SIMP/L67 erstellt.

Die Intensitätskarten und die Aufzeichnung historischer Ereignisse zeigen, dass der ungeschützte Strassenabschnitt südlich angrenzend an die Hofstättengalerie 2 bereits durch häufige 10-jährliche Lawinnenniedergänge gefährdet ist. Das kollektive Risiko für dieses Teilstück der Risikostelle macht rund 50% des totalen Risikos im Prozessraum aus.

Gemäss der Abschätzung möglicher Investitionskosten stehen für die Behebung der Risiken infolge häufiger Lawinen rund 200'000 bis 400'000 CHF zur Verfügung. Um die Risikostelle auch vor seltenen Lawinenereignissen zu schützen, stehen maximal 600'000 CHF zur Verfügung. Die Vorprüfung zeigt bereits, dass aus finanzieller Sicht eine Galerie nicht in Frage kommt. Als mögliche kostenwirksame Massnahme wurden ein Auffangdamm und ein Auffangnetz gegen 10-jährliche Lawinenereignisse näher untersucht.

Ein Auffangdamm schützt den betroffenen Strassenabschnitt vor häufigen Ereignissen schützen. Geländebedingt sind sehr steile Böschungen notwendig. Die Dammhöhe von 8.5 m stellt einen grossen Eingriff ins Landschaftsbild dar. Ausserdem müssten Gleitschneeschutzwerke auf der talseitigen Dammböschung erstellt werden, um eine Zusatzgefährdung für die Strasse durch Schneerutsche zu verhindern. Der Auffangdamm für Lawinen (alleine) ist kostenwirksam. Der Schutz wirkt aber auch gegen Stein- und Blockschlag, womit der eigentliche Nutzen erhöht wird.

Auffangnetze wirken ähnlich wie ein Auffangdamm. Es werden zwei Netzreihen mit 5 m hohen verstärkten 2000 kJ Steinschlagschutznetzen unweit des gefährdeten Strassenabschnittes vorgeschlagen. Die Auffangnetze wirken sowohl gegen kleinere Lawinen als auch gegen Stein- und Blockschläge. Nur wegen des kombinierten Schutzes ist diese Massnahme kostenwirksam.

Unter der Berücksichtigung der Wirkung gegen Stein- und Blockschlag sind beide Massnahmen wirtschaftlich. Aufgrund der Beurteilung anderer Randbedingungen wird vorgeschlagen, die Risikostelle mit Auffangnetzen zu entschärfen.

## II Auftrag

Im Auftrag wird die zu untersuchende Risikostelle festgelegt. Die Überprüfungskriterien, welche eine Risikostelle definieren, sind in der ASTRA Dokumentation 89001 „Naturgefahren auf den Nationalstrassen: Risikokzept“ festgelegt [3]. Um den Auftrag einer Massnahmenplanung zu formulieren, muss nur eines dieser folgenden Kriterien verletzt sein:

**Kriterium 1:** Individuelles Todesfallrisiko  $> 1 \cdot 10^{-5}$  / Jahr

**Kriterium 2:** Risiko auf dem Streckenabschnitt  $> \text{CHF } 100 / (\text{m} \cdot \text{Jahr})$ , bzw.  $> \text{CHF } 10'000 / (100 \text{ m} \cdot \text{Jahr})$

Dabei müssen alle Naturgefahrenprozesse, welche auf die Risikostelle wirken, definiert und in der Massnahmenplanung gemeinsam berücksichtigt werden.

**Kriterium 3:** Risiko im Prozessraum oder auf den Nebenanlagen  $> \text{CHF } 10'000 / \text{Jahr}$

Somit werden auftragsgemäss einzelne oder mehrere Naturgefahrenprozesse in einer Massnahmenplanung berücksichtigt.<sup>1</sup>

Massnahmenplanungen für unterschiedliche Naturgefahrenprozesse, die durch mehrere Büros durchgeführt werden, bedingen einen engen Koordinationsbedarf.

Auf der Nationalstrasse N09 zwischen Brig und Gondo ist der Anteil des Verfügbarkeitsrisikos am Gesamtrisiko sehr hoch: Die vorsorgliche Sperrung infolge von Lawinen beträgt im Vergleich zu Sturz, Wasser oder Rutschprozesse 99% des Risikos. Im Abschnitt Brig – Gondo wurden 6 Lawinen-Risikostellen mit verletztem Überprüfungskriterium ausgemacht. Für diese Stellen sind mögliche Massnahmen zu untersuchen. Ziel ist, die vorsorglichen Sperrungen durch Lawinen auf der Passstrasse zu reduzieren.

Eine dieser Risikostellen befindet sich im Prozessraum Furigrabo SIMP/L67 auf der Südseite des Passes. Diese Stelle liegt zwischen Hofstätten und Gabi, etwa 2 km südlich von Simplon Dorf (vgl. Projektperimeter bzw. Prozessraum in Abb. IV.1). Auftragsgemäss soll eine Massnahmenplanung für diesen Prozessraum durchgeführt werden. Dabei stehen hauptsächlich Massnahmen gegen Lawinenprozesse im Vordergrund. Andere Prozesse im Projektperimeter werden, sofern erforderlich, in der Massnahmenoptimierung berücksichtigt (z.B. Steinschlag).

Der Inhalt des Dossiers ist in der ASTRA Richtlinie 19003 „Management von Naturgefahren auf den Nationalstrassen“ [1] definiert (siehe Anhang I).

<sup>1</sup> Im vorliegenden Anwendungsbeispiel werden auftragsgemäss die Lawinenprozesse vordergründig untersucht und entsprechend Massnahmen geplant.

### III Grundlagen

Die verwendeten Grundlagen für ein Dossier sind hier aufgelistet.

Folgende Grundlagen wurden zur Erarbeitung der Massnahmenplanung verwendet (vgl. Abb. III.1).

*Abb. III.1 Zusammenstellung der Dossiergrundlagen*

Grundlage	Version/Jahr	Referenz
ASTRA Richtlinie 19003 „Management von Naturgefahren auf den Nationalstrassen“	V1.00 / 2014	[1]
ASTRA Dokumentation 89001 „Naturgefahren auf den Nationalstrassen: Risikokonzept“	V2.00 / 2012	[3]
PLANAT Wirkung von Schutzmassnahmen	Testversion / 2008	[7]
Gefahrenbeurteilung und Risikoanalyse betreffend Naturgefahren auf Nationalstrassen - Los 13 Simplon	2012	[8]

## IV Systemabgrenzung des Projektperimeters

Der Projektperimeter ist von der im Auftrag definierten Risikostelle abhängig und umfasst alle Prozessquellen und deren Prozessräume, die die Risikostelle betreffen. Der Projektperimeter ist auf einer Karte darzustellen und in knapper Form zu beschreiben.

Eine detaillierte Beschreibung der Prozessquellen folgt in Kapitel V mit der Charakterisierung des Projektperimeters.

Der zu untersuchende Strassenabschnitt der Nationalstrasse N09 quert mehrere Lawinenzüge zwischen der Hofstättengalerie 2 und der Furigrabengalerie. Der Projektperimeter entspricht dem Prozessraum Furigrabo SIMP/L67, welcher im Rahmen der Gefahrenbeurteilung und der Risikoanalyse definiert wurde. Der Perimeter beinhaltet zwei Lawinenzüge, welche mit A (Furigrabo) und B (namenloser Graben) gekennzeichnet sind (vgl. Abb. IV.1).

Nicht nur Lawinenprozesse, sondern auch Stein- und Blockschlag sowie Wasserprozesse können die Fahrbahn unterschiedlich stark gefährden (vgl. Kapitel 1.2 Charakterisierung der relevanten Gefahrenprozesse).

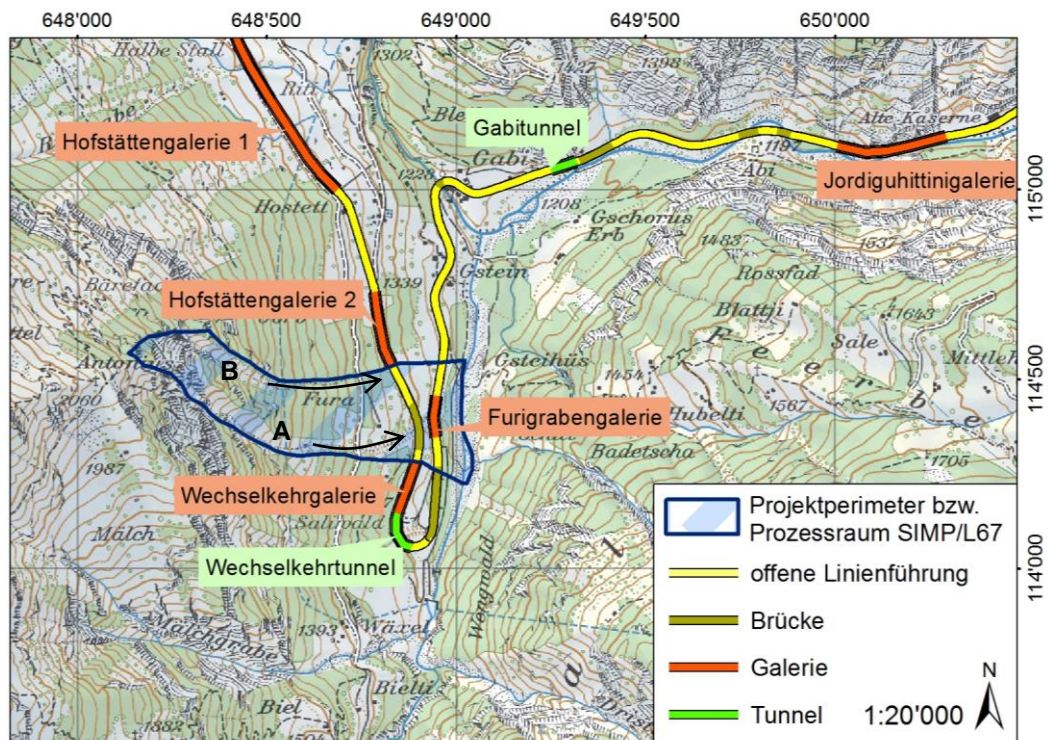


Abb. IV.1 Kartenausschnitt mit Abgrenzung des Projektperimeters bzw. Prozessraumes Furigrabo SIMP/L67.

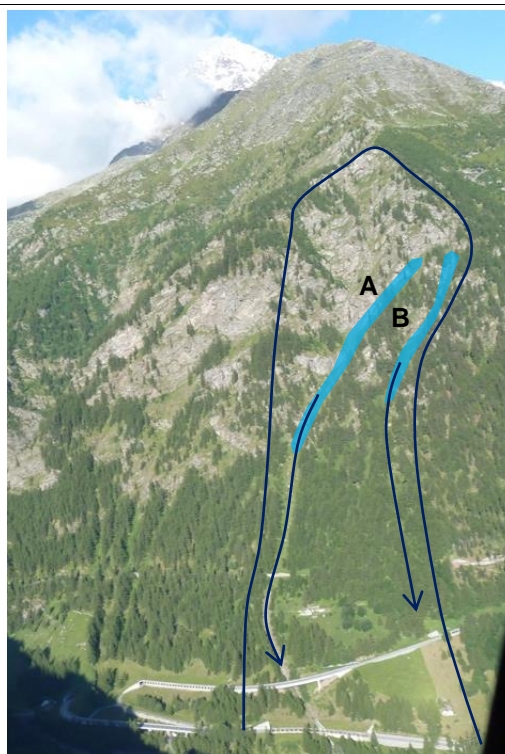
## V Charakterisierung des Projektperimeters




Zusammenfassender Beschrieb der Prozessquelle(n) und deren charakteristischen Eigenschaften im Projektperimeter. Diese Angaben sind aus der bestehenden Gefahrenbeurteilung und Risikoanalyse zu übernehmen und allenfalls zu ergänzen.

Die charakteristischen Eigenschaften des Prozessraumes Furigrabo SIMP/L67 sind in der nachfolgenden Tabelle zusammengefasst (siehe Abb. V.1).

*Abb. V.1 Charakterisierung des Prozessraumes Furigrabo SIMP/L67*

Name		Furigrabo SIMP/L67
Kantonale Lawinen-Nr.	2158.2	
Gemeinde	Simplon	
Genauer Standort	N09: Simplonpass – Gondo km 33.8 bis km 34.0 und km 34.7 bis km 34.9	
Anrisszonen	Die massgebenden Anrissgebiete befinden sich in zwei Zügen: A (Furigraben) und B (namenloser Graben).	
	Höhenlage	1530 - 1760 m ü. M.
	Hangneigung	40°
	Fläche	20'000 m <sup>2</sup> - 50'000 m <sup>2</sup>
	Exposition	Südost
	Geländerauigkeit	klein
	Vegetation	Gras, Lärchen
	Triebsschnee	nicht relevant
Transitgebiet	Form	kanalisiert bis flächig (B)
	Geländerauigkeit	teilweise bewaldet (B)
	Vegetation	Gras und lichter Lärchenbestand, vereinzelt Fichten
Ablagerungsgebiet	Grosse Lawinnenniedergänge lagern sich im Talboden ab. Kleinere Ereignisse können bereits auf den Strassenabschnitten zum Stillstand kommen.	

Bild des Projektperimeters /  
Prozessraumes Furigrabo  
SIMP/L67

-  Projektperimeter /  
Prozessraum
-  Anrisszonen
-  Lawinenzug

### Lokales Schneeklima

Der zu beurteilende Prozessraum liegt in den südlichen Walliser Alpen. Die grössten Schneemengen fallen bei Südostlagen. Die Schneedaten der nahegelegenen Schneemessstation in Simplon Dorf (4SM) können für die Abschätzung des Schneeklimas ausgewertet werden [9]. Nach Abb. V.2 beträgt der maximale dreitägige Schneedeckenzuwachs ( $\Delta HS$ ) auf 1470 m ü. M. 130 cm für eine Wiederkehrdauer von 10 Jahren (T10), 165 cm für T30 und 200 cm für T100.

Der 100-jährliche  $\Delta HS(3)$ -Wert und die 10-jährliche maximale Schneedeckenhöhe sind bemerkenswerterweise identisch (200 cm).

Die extrapolierten Werte für das höher gelegene Anrissgebiet wurden nach [10] mit 35 cm (HSmax) bzw. 10 cm ( $\Delta HS(3)$ ) korrigiert (ohne markanten Windeinfluss).

Abb. V.2 Lokale Schneeklima in Simplon Dorf und in den Anrisszonen des Furigrabens

	Höhe	Anzahl Winter	Maximale Schneedeckenhöhe HSmax			Maximaler Schneedeckenzuwachs in 3 Tagen $\Delta HS(3)$		
Wiederkehrdauer			10 J.	30 J.	100 J.	10 J.	30 J.	100 J.
	m ü. M.	[N]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]
Simplon-Dorf (4SM)	1470	41	200	260	320	130	165	200
Anrisszonen im Prozess- raum Furigrabo	1650	-	235	295	355	140	175	210

# 1 Gefahrenanalyse

Die Kapitel 1.1 - 1.4 werden aus der bestehenden ASTRA Gefahrenbeurteilung und Risikoanalyse übernommen und nötigenfalls ergänzt.

Werden die Gefahrenbeurteilung und die Risikoanalyse als nicht plausibel eingestuft, ist mit dem Auftraggeber das weitere Vorgehen zu definieren.

## 1.1 Historische Ereignisse

Im Prozessraum Furigrabo SIMP/L67 sind seit 1951 elf Lawinenereignisse bekannt [8], also durchschnittlich alle 5 bis 6 Jahre (Abb. 1.1). Detailliertere Angaben zu den Niedergängen fehlen meist. Oft gingen die Lawinen unter die Brücke und über die tiefer gelegene Galerie nieder, ohne die Strasse zu gefährden.

Laut Auskunft des Lawinenwarndienstes Simplon können bereits kleinere Niedergänge aus dem Lawinenzug B das untere Portal der Hofstättengalerie 2 verschütten und zu Verkehrsbehinderungen oder Unfällen führen.

*Abb. 1.1 Aufgezeichnete historische Lawinenereignisse im Bereich des Furigrabens*

Datum	Beschreibung
11.02.1951	-
21.03.1971	-
30.01.1972	-
30.01.1986	Furigraben Lawine bis unter die neue Brücke. Kein Schaden.
20.12.1997	Vereinzelte Schneerutsche bis auf die Strasse (Gondoschlucht).
12.04.1998	Lawinnenniedergänge ohne Schäden.
01.01.1999	-
16.02.2002	-
16.11.2002	Nassschneerutsche kamen bis auf 1400 m ü. M. hinunter
27.11.2002	mittel
06.02.2003	Kleine Ereignisse

Der Kartenausschnitt in Abb. 1.2 zeigt die dokumentierten Lawinenereignisse in den zwei Lawinenzügen A und B im Prozessraum Furigrabo SIMP/L67.



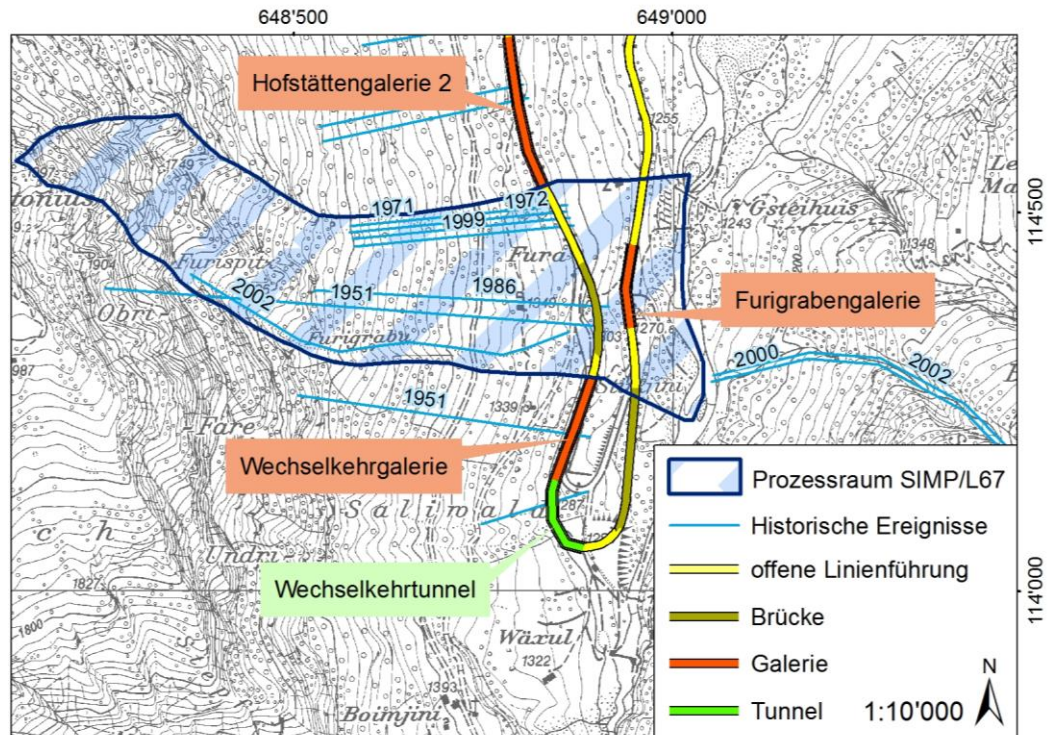


Abb. 1.2 Darstellung historischer Ereignisse und bestehender Schutzbauten im Prozessraum Furigrabo SIMP/L67 und dessen benachbarten Lawinenzüge.

## 1.2 Charakterisierung der relevanten Gefahrenprozesse

In diesem Kapitel werden alle Prozesse im Projektperimeter aufgelistet und kurz beschrieben. Damit soll sichergestellt sein, dass der Einfluss von Massnahmen auf andere Prozesse geprüft wird.

Nur Fliesslawinen sowie Stein- und Blockschlag stellen für die Risikostelle relevante Gefahrenprozesse dar. Die Gefährdung durch dynamische Überflutung ist schwach und selten, weshalb sie als nicht relevant eingestuft wird.

Fliesslawinen können bei intensiveren Schneefällen auftreten. Bereits Niedergänge einer Wiederkehrdauer von weniger als 10 Jahren können den Abschnitt mittelstark gefährden ( $24 \text{ kN/m}^2$ ). Starke Intensitäten werden durch grössere, seltene Lawinenniedergänge aus dem Furigrabo erwartet ( $68 - 188 \text{ kN/m}^2$ ).

10-jährliche Steinschlagereignisse können im Einzelstein-Szenario bis zu 50 Litern mittlere Intensitäten erzielen (max. 70 kJ). Blockschläge mittlerer Intensität sind ab dem 30-jährlichen Szenario mit Einzelblöcken von  $0.1 - 2 \text{ m}^3$  möglich (max. 60 kJ). Im sehr seltenen Szenario werden Einzelblöcken von bis zu  $5 \text{ m}^3$  mit maximal 3000 kJ und somit starker Intensität als möglich erachtet.

In Abb. 1.3 sind die Prozesse in einer Übersicht aufgelistet. Die untersuchten Massnahmen dürfen die anderen Prozesse nicht negativ beeinflussen.



Abb. 1.3 Auflistung der relevanten Naturgefahrenprozesse im Prozessraum Furigraben

<b>Lawinen</b>			
<input checked="" type="checkbox"/> Fliesslawinen	<input type="checkbox"/> Staublawinen	<input type="checkbox"/> Schneerutsch und Gleitschnee	<input type="checkbox"/> Schneeeverwehung
<b>Sturz</b>			
<input checked="" type="checkbox"/> Stein- und Blockschlag	<input type="checkbox"/> Felssturz	<input type="checkbox"/> Bergsturz	
<b>Wasser</b>			
<input checked="" type="checkbox"/> Überflutung	<input type="checkbox"/> Ufererosion	<input type="checkbox"/> Übermürung	<input type="checkbox"/> Murgang

### 1.3 Bestehende Schutzbauten und ihre Wirkung

Die Nationalstrasse N09 quert die Lawinenzüge A und B im Prozessraum Furigrabo SIMP/L67 zwei Mal: der obere Strassenabschnitt überbrückt den Furigraben (A), der untere ist durch die Furigrabengalerie geschützt. Die Wirkung der Furigrabenbrücke wird in der Gefahrenbeurteilung [8] in allen Szenarien berücksichtigt. Die talseitig offene Furigrabengalerie hingegen wirkt nur gegen 10-jährliche Lawinen vollständig. Bei grösseren Lawinenniedergängen kann Lawinenschnee talseitig in die Galerie eindringen (talseitiger Vorboden).

Der Wald ausserhalb des Furigrabens und unterhalb der Anrisszonen im Lawinenzug B ist Schutzwald. Seine Schutzwirkung ist aufgrund der Bestockung mit Lärchen begrenzt. Die Schutzwirkung dieses Waldes wird in der Gefahrenbeurteilung [8] in allen Szenarien aber als relevant eingestuft.

Mit Ausnahme der Brücke und der Galerie bestehen im Prozessraum keine weiteren baulichen Schutzmassnahmen.

### 1.4 Intensitätskarten

Die Intensitätskarten in Funktion der Jährlichkeit sind in Abb. 1.4 dargestellt.

Im 10-jährlichen Fliesslawinen-Szenario ist der obere Strassenabschnitt (zwischen Hofstättengalerie 2 und Furigrabenbrücke) mittleren Intensitäten exponiert; der untere Strassenabschnitt hingegen ist wegen der Lawinengalerie ungefährdet.

Die 30- und 100-jährlichen Intensitäten für denselben oberen Strassenabschnitt sind stark. Die übrigen ungeschützten Strassenabschnitte sind durch mittlere Intensitäten gefährdet.

Im sehr seltenen 300-jährlichen Szenario sind die offenen ungeschützten Strassenabschnitte stark gefährdet. Auf der Brücke besteht keine Gefahr, in der Galerie ist wegen zurückfliessender Schneemassen mit mittleren Intensitäten zu rechnen.

Die räumliche Auftretenswahrscheinlichkeit variiert in Funktion der Jährlichkeiten und ist für die einzelnen Strassenabschnitten in Abb. 1.5 dargestellt.

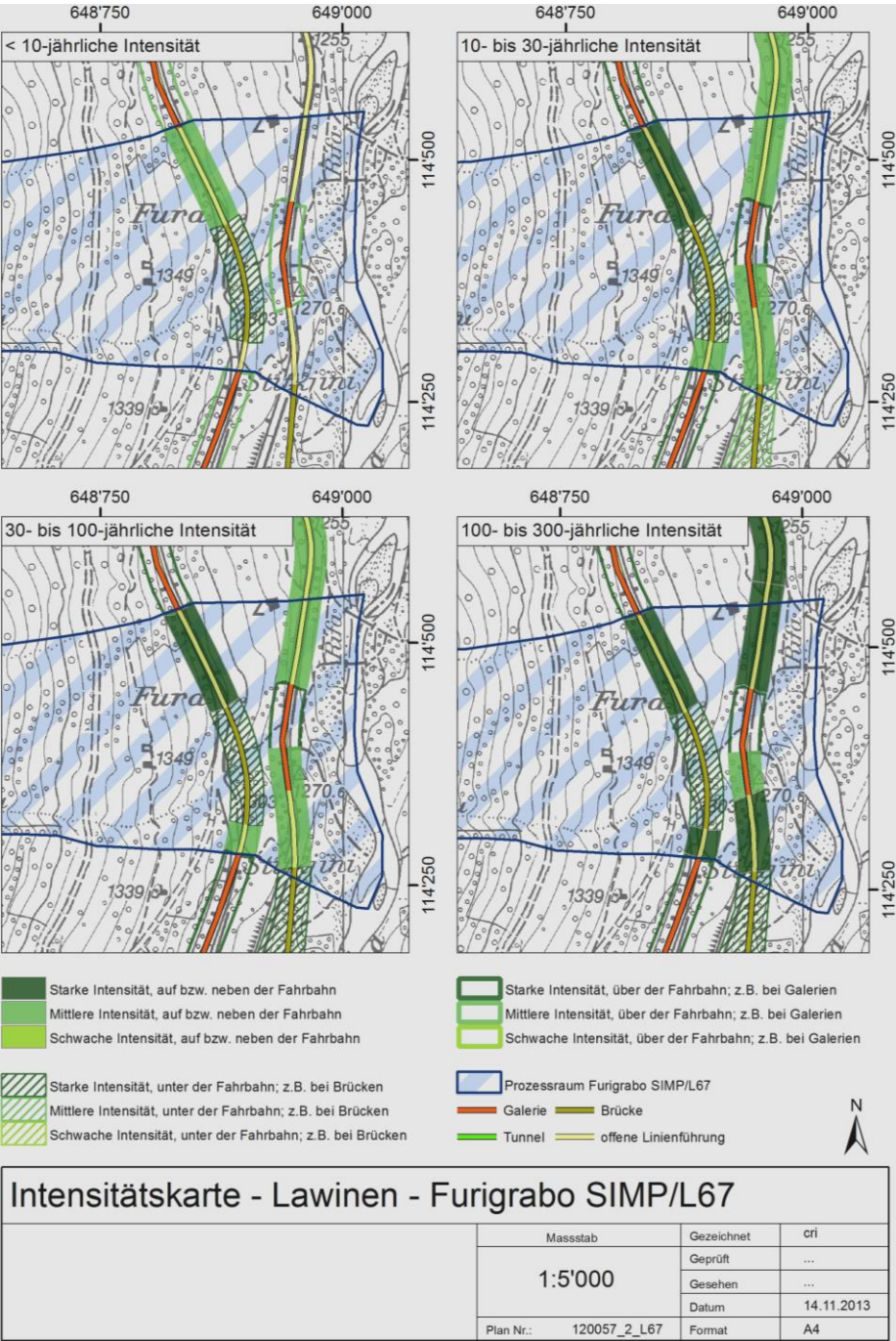


Abb. 1.4 Beispiel einer Intensitätskarte (nicht massstabsgetreu).

Abb. 1.5 Räumliche Auftretenswahrscheinlichkeit der Intensitäten in Funktion der Jährlichkeit

Räumliche Auftretenswahrscheinlichkeit von Fliesslawinen auf der Fahrbahn	< 10 Jahre	10 - 30 Jahre	30 - 100 Jahre	100 - 300 Jahre
Oberer Strassenabschnitt	0.5	0.6	0.7	0.8
Unterer Strassenabschnitt	-	0.5	0.6	0.7
In der Galerie	-	0.3	0.4	0.6

## 2 Expositions- und Konsequenzanalyse

In diesem Kapitel werden die Annahmen und Werte für die Risikoberechnung aufgeführt. Diese können von den Standardwerten aus der ASTRA Dokumentation 89001 „Naturgefahren auf den Nationalstrassen: Risikokzept“ [3] abweichen. Diese Abweichungen sind zu begründen.

### Schadensbilder

Die Risikoanalyse [8] berücksichtigt gemäss der ASTRA Dokumentation 89001 „Naturgefahren auf den Nationalstrassen: Risikokzept“ [3] folgende Schadensbilder:

- a) Direkttreffer
- b) Auffahrunfall
- c) Verschüttung
- d1) Verfügbarkeit – Sperrung nach Ereignis
- d2) Vorsorgliche Sperrung

### Gefährdete Objekte

Für die Risikobeurteilung standen folgende Daten des ASTRA zur Verfügung:

*Abb. 2.1 Ausgangswerte für die Risikoberechnung für den Prozessraum Furigrabo SIMP/L67*

Länge des gefährdeten Streckenabschnittes	2 x 200 m
Signalisierte Geschwindigkeit	80 km/h (40 km/h kurz vor dem Wechselkehrtunnel)
Verkehrsdaten	DTV Jahr: 2'336 Fahrzeuge/Tag DTV Winter: 1'534 Fahrzeuge/Tag DTV Frühling, Sommer, Herbst: 2'648 Fahrzeuge/Tag
Staudaten	Keine Staus
Auffahrwahrscheinlichkeit	0.05 (unwahrscheinlich)

### Personenrisiken

Für das Schadenbild Direkttreffer wird bei schwachen Lawinen-Intensitäten mit einer Letalität von 0.05 gerechnet. Für mittlere und starke Intensitäten beträgt die Letalität 1 [3].

### Sachrisiken

Die Angaben zur Sperrungswahrscheinlichkeit, Sperrhäufigkeit, Dauer der Sperrung und zu den Räumungsarbeiten wurden gemeinsam mit dem Lawinenwarndienst Simplon festgelegt:

*Abb. 2.2 Festgelegte Werte betreffend die Sperrdauer durch Lawinen im Prozessraum Furigrabo SIMP/L67*

	< 10 Jahre	10 - 30 Jahre	30 - 100 Jahre	100 - 300 Jahre
Sperrungswahrscheinlichkeit $p_{sp}$ [-]	0.8 (ziemlich sicher) <sup>2</sup>	0.9 (ziemlich sicher)	0.9 (ziemlich sicher)	1 (sicher)
Sperrhäufigkeit für vorsorgliche Sperrung $h_{sp}$ [-]	2 (wahrscheinlich) <sup>2</sup>	1 (wenig wahr- scheinlich)	1 (wenig wahr- scheinlich)	1 (wenig wahr- scheinlich)
Durchschnittliche Sperrdauer pro vorsorgliche Sperrung [Tage]	0.5	1	1	1
Durchschnittliche Sperrdauer nach Ereignis [Tage]	1	2.5	3.5	4

Die Sperrungskosten liegen im Winter bei 350'000 CHF/Tag. Es bestehen keine Umfahrmöglichkeiten.

<sup>2</sup> Bezeichnung gemäss ASTRA Dokumentation 89001 [3].



### 3 Risikoermittlung mit Risikokarte

Die Ergebnisse der Risikoanalysen werden in diesem Kapitel dargestellt.

#### 3.1 Risikokarte mit Risikostellen

Die Risikokarte mit dem Projektperimeter zeigt Abb. 3.1. Die zu untersuchende Risikostelle wird überlagert vom Prozessraum SIMP/S19 (Sturz), welcher ebenso ein Überprüfungskriterium des ASTRA verletzt (roter Kreis). Schliesslich ist ein weiterer Prozessraum SIMP/W59 (Wasser) im Projektperimeter, wobei diese Risiken kein Überprüfungskriterium verletzen.

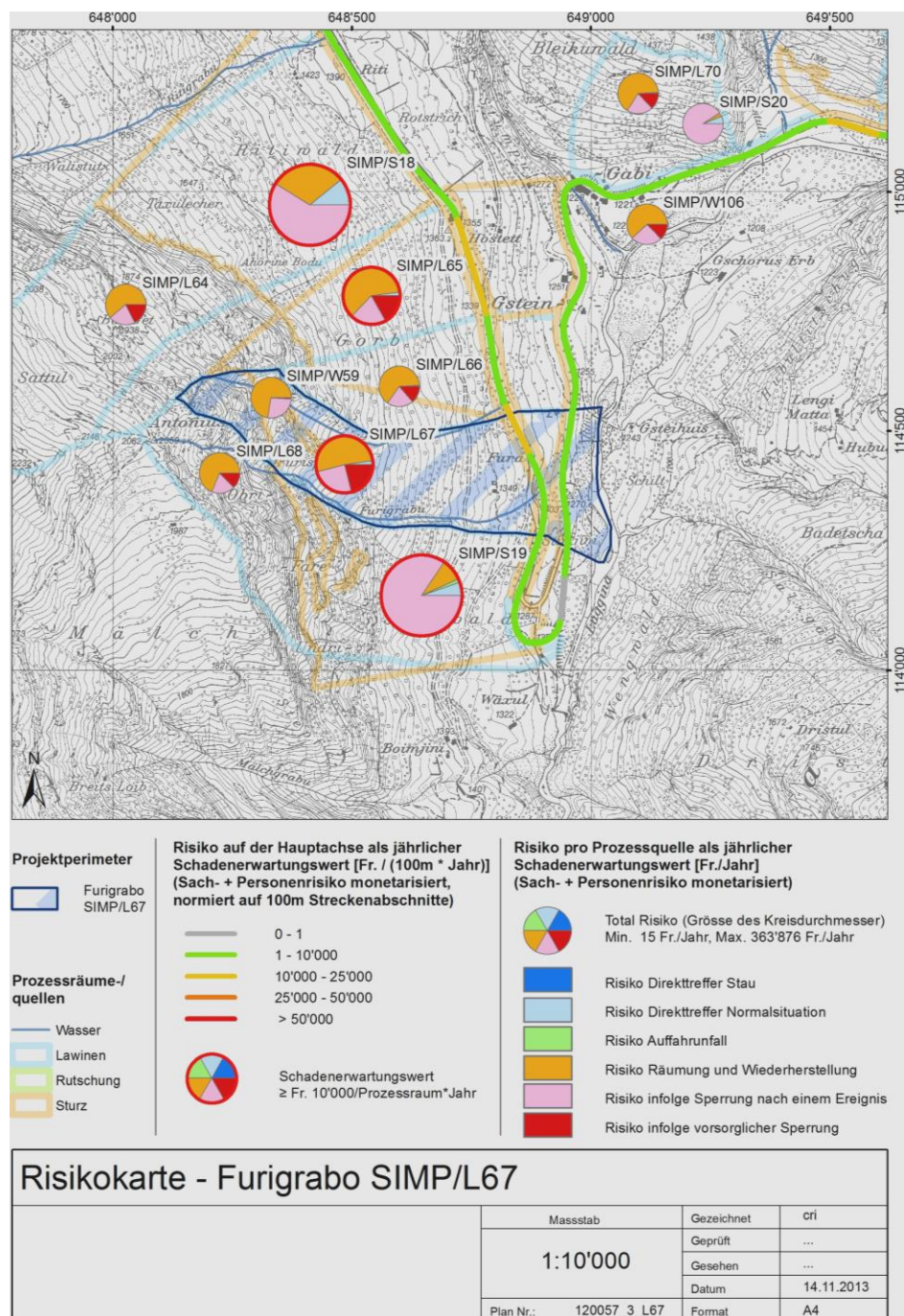


Abb. 3.1 Beispiel einer Risikokarte (nicht massstabsgetreu).

## 3.2 Ausgangsrisiko für die Risikostelle

Das Ausgangsrisiko wird in der Risikoanalyse berechnet und liegt für Prozessräume und einzelne 100 m Abschnitte vor.

Das Ausgangsrisiko wurde im ASTRA Los 13 Simplon [8] berechnet. Im Prozessraum Furigrabo SIMP/L67 setzt sich das kollektive Risiko hauptsächlich aus Räumungs- und Wiederherstellungskosten sowie aus Sperrungen (Verfügbarkeit) wegen sehr häufiger Ereignisse zusammen. Abb. 3.2 zeigt die Risikowerte für die einzelnen Schadensbilder und Szenarien.

Abb. 3.2 Ausgangsrisiko im Prozessraum Furigrabo SIMP/L67

Ausgangsrisiko in [CHF/Jahr] für die Gefahrenstelle [8]					Furigrabo SIMP/L67			
Wiederkehrperiode (Szenario)	Personenrisiko				Räumung und Wiederherstellung [CHF/Jahr]	Verfügbarkeit – Sperrung nach Ereignis [CHF/Jahr]	Verfügbarkeit – vorsorgliche Sperrung [CHF/Jahr]	Kollektives Risiko [CHF/Jahr]
	Direkt-treffer Stau [Todesf./Jahr]	Direkt-treffer Normal-situation [Todesf./Jahr]	Auffahr- risiko [Todesf./Jahr]	Personen- risiko monetari- siert [CHF/Jahr]				
≤10	0	4.81E-05	8.71E-06	284	2'743	3'889	3'889	10'804
30	0	2.30E-05	1.13E-06	120	3'544	690	292	4'647
100	0	9.18E-06	3.12E-07	47	1'534	207	58	1'847
300	0	0.00E+00	0.00E+00	0	1'361	111	28	1'500
Summe	0	8.02E-05	1.01E-05	452	9'182	4'897	4'267	18'798

In Abb. 3.3 ist Zusammensetzung des Risikos für den Prozessraum Furigrabo SIMP/L67 grafisch dargestellt. Das kollektive Risiko setzt sich mehrheitlich aus den Risiken sehr häufiger Ereignisse mit einer Wiederkehrperiode von weniger als 10 Jahren zusammen. Die Personenrisiken machen dabei nur 2.5 % des kollektiven Risikos aus. Die höchsten Werte resultieren aus Räumungs- und die Wiederherstellungskosten. Die übrigen Risikokosten resultieren aus Verfügbarkeitskosten.

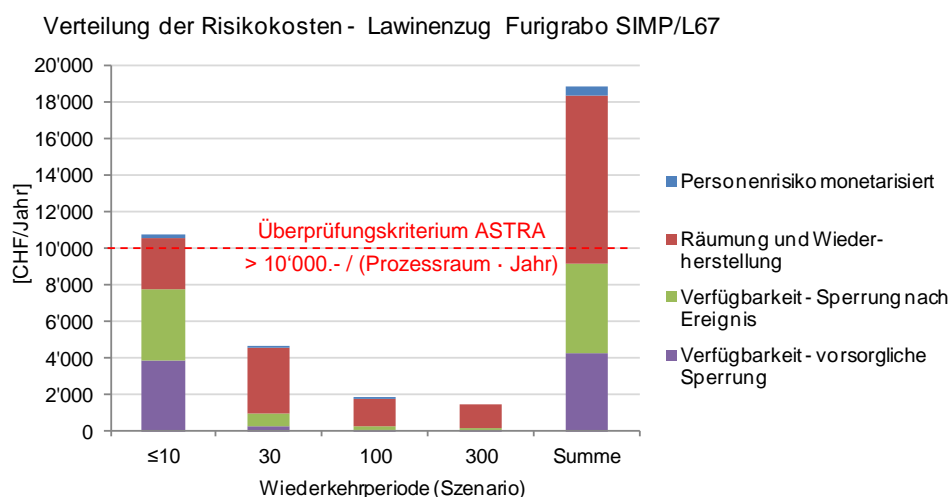


Abb. 3.3 Verteilung der Risikokosten im Prozessraum Furigrabo SIMP/L67. Das Überprüfungskriterium von 10'000 CHF/Jahr im Prozessraum ist überschritten.

## 4 Risikobewertung

In diesem Kapitel wird aufgezeigt, welches Überprüfungskriterium verletzt ist und welche Naturgefahrenprozesse die Risikostelle definierten.

Für die in diesem Dossier untersuchte Risikostelle wird aufgrund des folgenden verletzten Überprüfungskriteriums eine Massnahmenplanung durchgeführt:

- |                                     |                                  |  |
|-------------------------------------|----------------------------------|--|
| <input type="checkbox"/>            | Individuelles Todesfallrisiko    | > $1 \cdot 10^{-5}$ / Jahr                                   |
| <input type="checkbox"/>            | Risiko auf dem Streckenabschnitt | > CHF 100 / (m · Jahr) bzw.<br>> CHF 10'000 / (100 m · Jahr) |
| <input checked="" type="checkbox"/> | Risiko im Prozessraum            | > CHF 10'000 / Prozessraum · Jahr                            |

Im Korridor Brig - Gondo verletzen zusätzlich zum Prozessraum Furigrabo SIMP/L67 folgende Lawinen-Prozessräume dieses Überprüfungskriterium:

- Hübschhorn Nord SIMP/L40
- Hittuwald SIMP/L61
- Hostett SIMP/L65
- Alte Kaserne SIMP/L74
- Casermetta SIMP/L84

Innerhalb des Prozessraumes Furigrabo SIMP/L67 überlagert sich der Sturzprozessraum SIMP/S19, welcher das Überprüfungskriterium ebenfalls verletzt (vgl. Kapitel 3.1 Risikokarte mit Risikostelle). Beide Prozesse gemeinsam sind zudem für die Verletzung des Streckenrisikos auf dem oberen Strassenabschnitt verantwortlich. Gemäss Auftrag sind die Sturzprozesse nicht prioritär für die Massnahmenplanung zu untersuchen.

## 5 Rangierung der Risikostellen

Die Rangierung der Risikostellen erfolgt durch die ASTRA-Filialen gemäss der ASTRA Richtlinie 19003 „Management von Naturgefahren auf den Nationalstrassen“ [1].

Der Auftraggeber bestimmt die Notwendigkeit und den Inhalt dieses Kapitels.

Die Galerien im Abschnitt Hofstätten bis Gabi werden in den nächsten Jahren saniert. In diesem Zusammenhang ist die Massnahmenplanung im Prozessraum Furigrabo SIMP/L67 prioritär zu behandeln. Zusätzlich zum Furigrabo SIMP/L67 sind auch die Prozessräume Hostett SIMP/L65 und Casermetta SIMP/L84 zu untersuchen.

Hinzu kommt, dass der offene Strassenabschnitt vor dem Südportal der Hofstättergalerie 2 durch Schneesrutsche und kleine Lawinen häufig verschüttet wird oder aus Sicherheitsgründen bei Lawinengefahr gesperrt werden muss. Mit der Behebung dieser Risikostelle kann die Verfügbarkeit der Strasse erhöht werden.



## 6 Vorprüfung der möglichen Schutzmassnahmen

Die Vorprüfung möglicher Schutzmassnahmen dient dazu, das für die Realisierung von Schutzmassnahmen zur Verfügung stehende Investitionsbudget abzuschätzen (Vorlage ASTRA: Excel-Tabelle *Investitionskosten*, siehe Anhang II). Die Excel-Tabelle unterscheidet Massnahmen von langer und kurzer Lebensdauer, gibt Zins- und laufende Kosten sowie die maximale Risikoreduktion pro Szenario vor. Basierend auf dem Ausgangsrisiko lässt sich das mögliche Investitionsbudget grob abschätzen. Die detaillierte Bewertung der Risikoreduktion einer Massnahme findet zu einem späteren Zeitpunkt statt (Kapitel 8 Kostenwirksamkeit).

Mit dem grob abgeschätzten Investitionsbudget wird beurteilt, welche Massnahmen kostenwirksam sein könnten. So kann beispielsweise die Variante Galerie anhand von Laufmeterpreisen auf ihre Realisierbarkeit hin beurteilt werden. Die geprüften Massnahmen werden in einer Tabelle in Form eines Massnahmenkatalogs aufgelistet. Es ist zu begründen, welche Massnahmen nicht weiter verfolgt werden.

Die als kostenwirksam eingestufteten Schutzmassnahmen sind mit dem Auftraggeber an einer Besprechung bzw. Begehung abzustimmen. Gemeinsam werden jene Schutzmassnahmen festgelegt, welche in Kapitel 7 in einem Faktenblatt darzustellen und weiter zu verfolgen sind.

Anhand des Ausgangsrisikos werden Investitionskosten für mögliche Massnahmen grob abgeschätzt. In einer so genannten Vorprüfung wird eine Grössenordnung möglicher Investitionssummen für zwei Massnahmenkategorien bestimmt (vgl. Abb. 6.1), mit der Annahme, dass bei entsprechender Dimensionierung das Restrisiko stark reduziert werden kann, im optimalen Fall gleich Null ist. Folgende Investitionskosten im Prozessraum Furigrabo SIMP/L67 sind möglich:

*Abb. 6.1 Grössenordnung der Investitionskosten für eine wirtschaftliche Massnahme im Prozessraum Furigrabo SIMP/L67*

Dimensionierung	Temporäre / permanente Massnahmen (Lebensdauer 30 Jahre)		Permanente Massnahmen (Lebensdauer 80 Jahre)	
	minimal [CHF]	maximal [CHF]	minimal [CHF]	maximal [CHF]
10-jährlich	171'000.-	210'000.-	332'000.-	410'000.-
30-jährlich	244'000.-	261'000.-	475'000.-	508'000.-
100-jährlich	273'000.-	285'000.-	532'000.-	555'000.-
300-jährlich	297'000.-	297'000.-	578'000.-	578'000.-

Die Tabellen zur Berechnung möglicher Investitionskosten und der Massnahmenkatalog sind in Abb. 6.2 bis Abb. 6.4 dargestellt. Im Massnahmenkatalog sind alle konstruktiven, biologischen und organisatorischen Varianten aufgeführt.

Bei den konstruktiven Massnahmen wird der permanente und temporäre Stützverbau aufgrund der Steinschlaggefährdung ausgeschlossen. Zudem ist der Verbau eines kanalisierten Lawinenzugs bautechnisch schwierig. Ein Verwehungsverbau ist nicht prozess-relevant und wird von der Massnahmenplanung ausgeschlossen.

Dämme wurden näher beurteilt und es entschieden, den Bau eines Auffangdammes gegen 10-jährliche Lawinen zu untersuchen. Das steile Gelände verunmöglicht den Bau eines Dammes mit genügend grossem Auffangvolumen gegen grössere Lawinen oder verteuert das Bauwerk sehr stark.

Bremshöcker haben in diesem Gelände kaum eine Wirkung.

Einen Ablenk- bzw. Leitdamm könnte eine Variante sein, indem die Schneemassen aus dem Lawinenzug B in den benachbarten Furigraben geleitet werden. Die Kapazität des Furigrabens würde dazu ausreichen. Mit den zur Verfügung stehenden Investitionssummen kann jedoch kein genügend langer Ablenk- oder Leitdamm erstellt werden. Diese Massnahme wurde deshalb nicht weiter verfolgt.

Auch aus Kostengründen muss auf den Bau einer Galerie oder anderer technischen Schutzmassnahmen verzichtet werden.

Als biologische Massnahme kommt eine Schutzwaldpflege in Frage. Pflegeeingriffe wurden im Transitbereich des Lawinenzugs B vereinzelt bereits durchgeführt oder stehen noch aus. Eine Verhinderung von Lawinenanrissen im kanalisierten Anrissgebiet ist mit reiner Schutzwaldpflege nicht möglich, weshalb diese Variante nicht weiter untersucht wird.

Organisatorische Massnahmen werden nicht empfohlen. Sie sind besonders kostenwirksam, wo hohe Personenrisiken bestehen. Bei dieser Risikostelle sind diese jedoch sehr klein. Eine Lawinensprengung in den Anrisszonen ist nicht geeignet. Das Risiko von Waldschäden ist zu hoch. Zudem können die Verfügbarkeitsrisiken auf dem Strassenabschnitt nicht reduziert werden. Gegen eine Alarmanlage kann ähnlich argumentiert werden.

Ein verstärktes Steinschlagschutznetz kann wie ein Damm wirken. Aufgrund der Geländedisposition stellt diese Variante eine gute Alternative zu einem Auffangdamm dar, weshalb sie in einem Faktenblatt näher untersucht wird. Ähnlich wie beim Auffangdamm kann ein solches Netz nur für häufige 10-jährliche Ereignisse dimensioniert werden, da für grössere Niedergänge kein genügend grosses Rückhaltevolumen vorhanden ist und die Netze überflossen oder beschädigt werden können.

Zusammengefasst kann festgehalten werden, dass für den Prozessraum Furigrabo SIMP/L67 aufgrund der möglichen Investitionskosten, der oben aufgeführten Argumente und der Begehung mit dem Lawinenwarndienst (05.06.2013) folgende Massnahmen weiter verfolgt und in den Faktenblätter dargestellt werden (vgl. Kapitel 7):

- **Auffangdamm** (10-jährliche Dimensionierung)
- **Auffangnetz** (10-jährliche Dimensionierung)

Ausgangsrisiko	Ausgangsrisiko in [CHF/Jahr] für Gefahrenstelle:				Furigrabo SIMP/L67				
	Wiederkehr- periode (Szenario)	Direkttreffer Stau [Todesf./Jahr]	Direkttreffer Normal- situation [Todesf./Jahr]	Auffahrisiko [Todesf./Jahr]	Personenrisiko monetarisiert [CHF/Jahr]	Räumung und Wieder- herstellung [CHF/Jahr]	Verfügbarkeit - Sperrung nach Ereignis [CHF/Jahr]	Verfügbarkeit - vorsorgliche Sperrung [CHF/Jahr]	Kollektives Risiko [CHF/Jahr]
	≤10	0.00E+00	4.81E-05	8.71E-06	284	2'743	3'889	3'889	10'804
	30	0.00E+00	2.30E-05	1.13E-06	120	3'544	690	292	4'647
	100	0.00E+00	9.18E-06	3.12E-07	47	1'534	207	58	1'847
	300	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0	1'361	111	28	1'500
	Summe	0.00E+00	8.02E-05	1.01E-05	452	9'182	4'897	4'267	18'798
Massnahme	<b>temporäre oder permanente Bauwerke</b> (Sprenganlagen, Steinschlagschutznetz, Temporärer Verbau, Hangstützwerke, Aufforstungen, Wildbachsperrungen, Murgangnetz, etc.)								
	Lebensdauer Bauwerk :				30 Jahre				
	Betriebskosten (Munition, Elektrizität etc.)				0% [% von I <sub>0</sub> ]				
	Unterhalts- und Reparaturkosten [% von I <sub>0</sub> ]				2% [% von I <sub>0</sub> ]				
	Zinssatz [%]				2% [%]				
10-jährliche Dimensionierung	<b>10-jährliche Dimensionierung</b>				<b>minimal</b>		<b>maximal</b>		
	Szenario				Risikoreduktion	Restrisiko pro Szenario	Risikoreduktion	Restrisiko pro Szenario	
	≤10				100%	0 [CHF/Jahr]	100%	0 [CHF/Jahr]	
	30				0%	4'647 [CHF/Jahr]	50%	2'323 [CHF/Jahr]	
	100				0%	1'847 [CHF/Jahr]	10%	1'662 [CHF/Jahr]	
	300				0%	1'500 [CHF/Jahr]	0%	1'500 [CHF/Jahr]	
	Restrisiko pro Jahr					7'993 [CHF/Jahr]		5'485 [CHF/Jahr]	
	Betriebskosten (Munition, Elektrizität etc.)					0 [CHF/Jahr]		0 [CHF/Jahr]	
	Unterhalts- und Reparaturkosten [% von I <sub>0</sub> ]					3'420 [CHF/Jahr]		4'200 [CHF/Jahr]	
	Nutzen					10'804 [CHF/Jahr]		13'312 [CHF/Jahr]	
	Jährliche Kosten					10'830 [CHF/Jahr]		13'300 [CHF/Jahr]	
	<b>Investitionskosten I<sub>0</sub> *</b>				minimal	171'000 [CHF]	maximal	210'000 [CHF]	
30-jährliche Dimensionierung	<b>30-jährliche Dimensionierung</b>				<b>minimal</b>		<b>maximal</b>		
	Szenario				Risikoreduktion	Restrisiko pro Szenario	Risikoreduktion	Restrisiko pro Szenario	
	≤10				100%	0 [CHF/Jahr]	100%	0 [CHF/Jahr]	
	30				100%	0 [CHF/Jahr]	100%	0 [CHF/Jahr]	
	100				0%	1'847 [CHF/Jahr]	50%	923 [CHF/Jahr]	
	300				0%	1'500 [CHF/Jahr]	10%	1'350 [CHF/Jahr]	
	Restrisiko pro Jahr					3'347 [CHF/Jahr]		2'273 [CHF/Jahr]	
	Betriebskosten (Munition, Elektrizität etc.)					0 [CHF/Jahr]		0 [CHF/Jahr]	
	Unterhalts- und Reparaturkosten [% von I <sub>0</sub> ]					4'880 [CHF/Jahr]		5'220 [CHF/Jahr]	
	Nutzen					15'451 [CHF/Jahr]		16'524 [CHF/Jahr]	
	Jährliche Kosten					15'453 [CHF/Jahr]		16'530 [CHF/Jahr]	
	<b>Investitionskosten I<sub>0</sub> *</b>				minimal	244'000 [CHF]	maximal	261'000 [CHF]	
100-jährliche Dimensionierung	<b>100-jährliche Dimensionierung</b>				<b>minimal</b>		<b>maximal</b>		
	Szenario				Risikoreduktion	Restrisiko pro Szenario	Risikoreduktion	Restrisiko pro Szenario	
	≤10				100%	0 [CHF/Jahr]	100%	0 [CHF/Jahr]	
	30				100%	0 [CHF/Jahr]	100%	0 [CHF/Jahr]	
	100				100%	0 [CHF/Jahr]	100%	0 [CHF/Jahr]	
	300				0%	1'500 [CHF/Jahr]	50%	750 [CHF/Jahr]	
	Restrisiko pro Jahr					1'500 [CHF/Jahr]		750 [CHF/Jahr]	
	Betriebskosten (Munition, Elektrizität etc.)					0 [CHF/Jahr]		0 [CHF/Jahr]	
	Unterhalts- und Reparaturkosten [% von I <sub>0</sub> ]					5'460 [CHF/Jahr]		5'700 [CHF/Jahr]	
	Nutzen					17'298 [CHF/Jahr]		18'048 [CHF/Jahr]	
	Jährliche Kosten					17'290 [CHF/Jahr]		18'050 [CHF/Jahr]	
	<b>Investitionskosten I<sub>0</sub> *</b>				minimal	273'000 [CHF]	maximal	285'000 [CHF]	
300-jährliche Dimensionierung	<b>300-jährliche Dimensionierung</b>				<b>minimal</b>		<b>maximal</b>		
	Szenario				Risikoreduktion	Restrisiko pro Szenario	Risikoreduktion	Restrisiko pro Szenario	
	≤10				100%	0 [CHF/Jahr]	100%	0 [CHF/Jahr]	
	30				100%	0 [CHF/Jahr]	100%	0 [CHF/Jahr]	
	100				100%	0 [CHF/Jahr]	100%	0 [CHF/Jahr]	
	300				100%	0 [CHF/Jahr]	100%	0 [CHF/Jahr]	
	Restrisiko pro Jahr					0 [CHF/Jahr]		0 [CHF/Jahr]	
	Betriebskosten (Munition, Elektrizität etc.)					0 [CHF/Jahr]		0 [CHF/Jahr]	
	Unterhalts- und Reparaturkosten [% von I <sub>0</sub> ]					5'940 [CHF/Jahr]		5'940 [CHF/Jahr]	
	Nutzen					18'798 [CHF/Jahr]		18'798 [CHF/Jahr]	
	Jährliche Kosten					18'810 [CHF/Jahr]		18'810 [CHF/Jahr]	
	<b>Investitionskosten I<sub>0</sub> *</b>				minimal	297'000 [CHF]	maximal	297'000 [CHF]	

\* inkl. Unvorhergesehenes, Projektierung, Bauleitung und Mwst.

Abb. 6.2 Auszug aus dem Anhang der möglichen Investitionskosten für ein temporäres oder permanentes Bauwerk mit einer erwarteten Lebensdauer von 30 Jahren.

Ausgangsrisiko	Ausgangsrisiko in [CHF/Jahr] für Gefahrenstelle:				Furigrabo SIMP/L67				
	Wiederkehr- periode (Szenario)	Direkttreffer Stau [Todesf./Jahr]	Direkttreffer Normal- situation [Todesf./Jahr]	Auffahrisiko [Todesf./Jahr]	Personen- risiko monetarisiert [CHF/Jahr]	Räumung und Wieder- herstellung [CHF/Jahr]	Verfügbarkeit - Sperrung nach Ereignis [CHF/Jahr]	Verfügbarkeit - vorsorgliche Sperrung [CHF/Jahr]	Kollektives Risiko [CHF/Jahr]
	≤10	0.00E+00	4.81E-05	8.71E-06	284	2'743	3'889	3'889	10'804
	30	0.00E+00	2.30E-05	1.13E-06	120	3'544	690	292	4'647
	100	0.00E+00	9.18E-06	3.12E-07	47	1'534	207	58	1'847
	300	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0	1'361	111	28	1'500
	Summe	0.00E+00	8.02E-05	1.01E-05	452	9'182	4'897	4'267	18'798
Massnahme	Massnahme: <b>permanentes Bauwerk</b> (Galerie, Tunnel, HWS-Stollen, Erddamm, Sperren für Talflüsse und Gchiebesammler, etc.)								
	Lebensdauer Bauwerk :				80 Jahre				
	Betriebskosten (Munition, Elektrizität etc.)				0% [% von I <sub>0</sub> ]				
	Unterhalts- und Reparaturkosten [% von I <sub>0</sub> ]				1% [% von I <sub>0</sub> ]				
10-jährliche Dimensionierung	<b>10-jährliche Dimensionierung</b>				<b>minimal</b>		<b>maximal</b>		
	Szenario				Risikoreduktion	Restrisiko pro Szenario	Risikoreduktion	Restrisiko pro Szenario	
	≤10				100%	0 [CHF/Jahr]	100%	0 [CHF/Jahr]	
	30				0%	4'647 [CHF/Jahr]	50%	2'323 [CHF/Jahr]	
	100				0%	1'847 [CHF/Jahr]	10%	1'662 [CHF/Jahr]	
	300				0%	1'500 [CHF/Jahr]	0%	1'500 [CHF/Jahr]	
	Restrisiko pro Jahr					7'993 [CHF/Jahr]		5'485 [CHF/Jahr]	
	Betriebskosten (Munition, Elektrizität etc.)					0 [CHF/Jahr]		0 [CHF/Jahr]	
	Unterhalts- und Reparaturkosten [% von I <sub>0</sub> ]					3'320 [CHF/Jahr]		4'100 [CHF/Jahr]	
	Nutzen					10'804 [CHF/Jahr]		13'312 [CHF/Jahr]	
	Jährliche Kosten					10'830 [CHF/Jahr]		13'325 [CHF/Jahr]	
	<b>Investitionskosten I<sub>0</sub> *</b>				minimal	332'000 [CHF]	maximal	410'000 [CHF]	
30-jährliche Dimensionierung	<b>30-jährliche Dimensionierung</b>				<b>minimal</b>		<b>maximal</b>		
	Szenario				Risikoreduktion	Restrisiko pro Szenario	Risikoreduktion	Restrisiko pro Szenario	
	≤10				100%	0 [CHF/Jahr]	100%	0 [CHF/Jahr]	
	30				100%	0 [CHF/Jahr]	100%	0 [CHF/Jahr]	
	100				0%	1'847 [CHF/Jahr]	50%	923 [CHF/Jahr]	
	300				0%	1'500 [CHF/Jahr]	10%	1'350 [CHF/Jahr]	
	Restrisiko pro Jahr					3'347 [CHF/Jahr]		2'273 [CHF/Jahr]	
	Betriebskosten (Munition, Elektrizität etc.)					0 [CHF/Jahr]		0 [CHF/Jahr]	
	Unterhalts- und Reparaturkosten [% von I <sub>0</sub> ]					4'750 [CHF/Jahr]		5'080 [CHF/Jahr]	
	Nutzen					15'451 [CHF/Jahr]		16'524 [CHF/Jahr]	
	Jährliche Kosten					15'453 [CHF/Jahr]		16'510 [CHF/Jahr]	
	<b>Investitionskosten I<sub>0</sub> *</b>				minimal	475'000 [CHF]	maximal	508'000 [CHF]	
100-jährliche Dimensionierung	<b>100-jährliche Dimensionierung</b>				<b>minimal</b>		<b>maximal</b>		
	Szenario				Risikoreduktion	Restrisiko pro Szenario	Risikoreduktion	Restrisiko pro Szenario	
	≤10				100%	0 [CHF/Jahr]	100%	0 [CHF/Jahr]	
	30				100%	0 [CHF/Jahr]	100%	0 [CHF/Jahr]	
	100				100%	0 [CHF/Jahr]	100%	0 [CHF/Jahr]	
	300				0%	1'500 [CHF/Jahr]	50%	750 [CHF/Jahr]	
	Restrisiko pro Jahr					1'500 [CHF/Jahr]		750 [CHF/Jahr]	
	Betriebskosten (Munition, Elektrizität etc.)					0 [CHF/Jahr]		0 [CHF/Jahr]	
	Unterhalts- und Reparaturkosten [% von I <sub>0</sub> ]					5'320 [CHF/Jahr]		5'550 [CHF/Jahr]	
	Nutzen					17'298 [CHF/Jahr]		18'048 [CHF/Jahr]	
	Jährliche Kosten					17'290 [CHF/Jahr]		18'038 [CHF/Jahr]	
	<b>Investitionskosten I<sub>0</sub> *</b>				minimal	532'000 [CHF]	maximal	555'000 [CHF]	
300-jährliche Dimensionierung	<b>300-jährliche Dimensionierung</b>				<b>minimal</b>		<b>maximal</b>		
	Szenario				Risikoreduktion	Restrisiko pro Szenario	Risikoreduktion	Restrisiko pro Szenario	
	≤10				100%	0 [CHF/Jahr]	100%	0 [CHF/Jahr]	
	30				100%	0 [CHF/Jahr]	100%	0 [CHF/Jahr]	
	100				100%	0 [CHF/Jahr]	100%	0 [CHF/Jahr]	
	300				100%	0 [CHF/Jahr]	100%	0 [CHF/Jahr]	
	Restrisiko pro Jahr					0 [CHF/Jahr]		0 [CHF/Jahr]	
	Betriebskosten (Munition, Elektrizität etc.)					0 [CHF/Jahr]		0 [CHF/Jahr]	
	Unterhalts- und Reparaturkosten [% von I <sub>0</sub> ]					5'780 [CHF/Jahr]		5'780 [CHF/Jahr]	
	Nutzen					18'798 [CHF/Jahr]		18'798 [CHF/Jahr]	
	Jährliche Kosten					18'810 [CHF/Jahr]		18'785 [CHF/Jahr]	
	<b>Investitionskosten I<sub>0</sub> *</b>				minimal	578'000 [CHF]	maximal	578'000 [CHF]	

\* inkl. Unvorhergesehenes, Projektierung, Bauleitung und Mwst.

Abb. 6.3 Auszug aus dem Anhang der möglichen Investitionskosten für ein permanentes Bauwerk mit einer erwarteten Lebensdauer von 80 Jahren.

		Dimensionierungsgrösse	Wirksam gegen Gefahr in Bezug auf die Investitionskosten	Bemerkung bzw. Begründung weshalb eine Massnahme nicht weiter verfolgt wird.	
		[T]	möglich / nein		
Massnahme	konstruktiv	Permanenter Stützverbau			
		Stützwerke	10 Jahre	nein	Durch die Steinschlaggefahr könne die Stützwerke zerstört werden. Verbauung eines engen Grabens zudem eher schwierig.
			30 Jahre	nein	
			100 Jahre	nein	
			300 Jahre	nein	
		Verwehungsverbau			
		Zäune	10 Jahre	nein	nicht prozessrelevant
			30 Jahre	nein	
			100 Jahre	nein	
			300 Jahre	nein	
		Kolkafein	10 Jahre	nein	nicht prozessrelevant
			30 Jahre	nein	
			100 Jahre	nein	
			300 Jahre	nein	
		Temporärer Stützverbau			
		Temporärer Stützverbau mit Aufforstung	10 Jahre	nein	Durch die Steinschlaggefahr könne die Stützwerke zerstört werden. Verbauung eines engen Grabens zudem eher schwierig.
			30 Jahre	nein	
			100 Jahre	nein	
			300 Jahre	nein	
		Dämme			
		Auffangdamm	10 Jahre	möglich	siehe Faktenblatt
			30 Jahre	nein	Das notwendige Rückhaltevolumen kann nicht gewährleistet werden.
			100 Jahre	nein	
			300 Jahre	nein	
		Bremshöcker	10 Jahre	nein	zu geringe Wirkung
	30 Jahre		nein		
	100 Jahre		nein		
	300 Jahre		nein		
	Ablenkdam	10 Jahre	nein	Einen wirksamen Ablenk- oder Leitdam kann mit den zur Verfügung stehenden Mittel nicht erstellt werden. Zudem sind die topographischen Gegebenheiten im Transitbereich ungünstig.	
		30 Jahre	nein		
		100 Jahre	nein		
		300 Jahre	nein		
	Leitdam	10 Jahre	nein	Einen wirksamen Ablenk- oder Leitdam kann mit den zur Verfügung stehenden Mittel nicht erstellt werden. Zudem sind die topographischen Gegebenheiten im Transitbereich ungünstig.	
		30 Jahre	nein		
		100 Jahre	nein		
		300 Jahre	nein		
	Objektschutzmassnahmen				
	Galerie	10 Jahre	nein	zu teuer	
		30 Jahre	nein		
		100 Jahre	nein		
		300 Jahre	nein		
	Tunnel	10 Jahre	nein	zu teuer	
		30 Jahre	nein		
		100 Jahre	nein		
		300 Jahre	nein		
	Brücke	10 Jahre	nein	zu teuer	
		30 Jahre	nein		
		100 Jahre	nein		
		300 Jahre	nein		
	Verlegung der Strasse	10 Jahre	nein	zu teuer	
30 Jahre		nein			
100 Jahre		nein			
300 Jahre		nein			
biologisch	Wald				
	Schutzwaldpflege	10 Jahre	nein	Die Schutzwaldpflege wird im Transitbereich des Lawinenzugs B bereits umgesetzt. Zug A ist nicht bewaldet.	
		30 Jahre	nein		
		100 Jahre	nein		
		300 Jahre	nein		
organisatorisch	künstliche Lawinenauslösung				
	ortsfeste Sprenganlage	10 Jahre	nein	Verhindert eine Verschüttung der Strasse nicht, weshalb es keine Verbesserung in Bezug auf Verfügbarkeit gibt.	
		30 Jahre	nein		
		100 Jahre	nein		
		300 Jahre	nein		
	Warnanlagen				
	Alarmanlage	10 Jahre	nein	Verhindert eine Verschüttung der Strasse nicht, weshalb es keine Verbesserung in Bezug auf Verfügbarkeit gibt.	
		30 Jahre	nein		
		100 Jahre	nein		
300 Jahre		nein			
Diverses	Massnahmenkombination / Vorschlag				
	Auffangnetz	10 Jahre	möglich	siehe Faktenblatt	
		30 Jahre	nein	Das notwendige Rückhaltevolumen kann nicht gewährleistet werden.	
		100 Jahre	nein		
		300 Jahre	nein		

Abb. 6.4 Beispiel eines Massnahmenkatalogs mit dem Ergebnis der Vorprüfung für die Risikostelle. Die weiter zu verfolgenden Massnahmen sind grün eingefärbt.

## 7 Schutzmassnahmendefinition

Zu jeder möglicherweise wirtschaftlichen Massnahme wird ein Faktenblatt erstellt. Das Faktenblatt beinhaltet einen Situationsplan, Quer- oder Typenprofile, die Kosten (+/- 25%, inkl. Unvorhergesehenes, Projektierung, Bauleitung und MwSt.) und eine technische Beschreibung der Massnahme (Faktenblatt gemäss Anwendungsbeispiel). Der Inhalt soll einer Vorstudie gemäss SIA 103 entsprechen und kurz zusammengefasst werden.

### 7.1 Variante Auffangdamm

Situationsplan 1:10'000

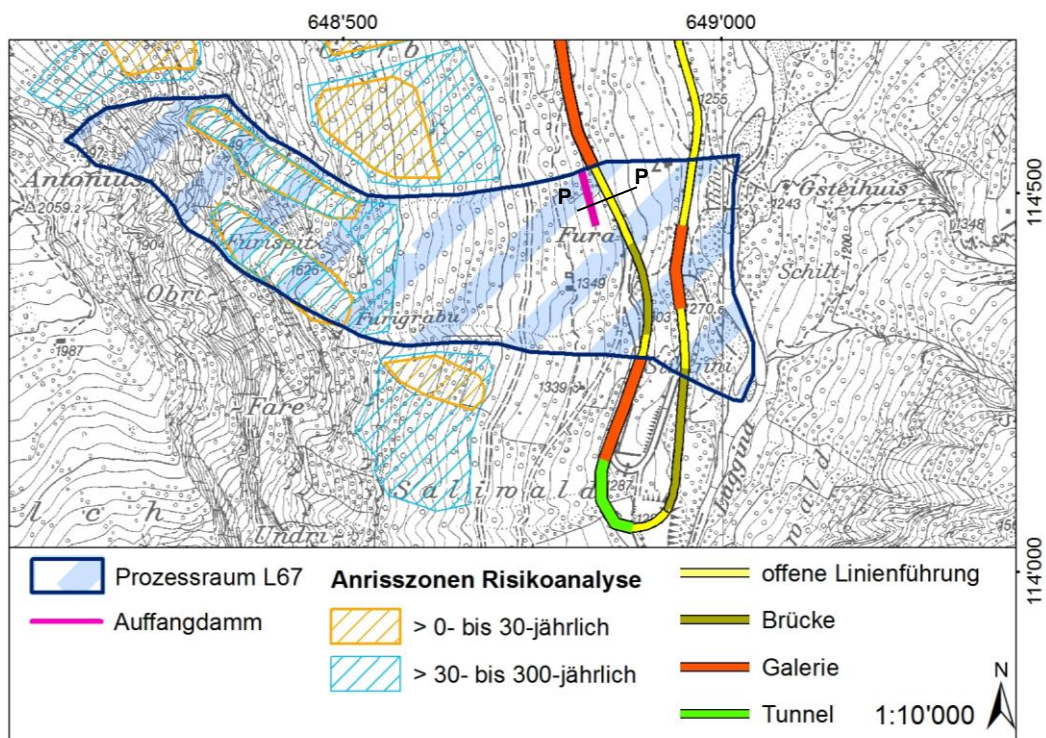


Abb. 7.1 Beispiel eines Situationsplans ca. 1:10'000 für einen Auffangdamm.

Typenprofil P - P 1:500

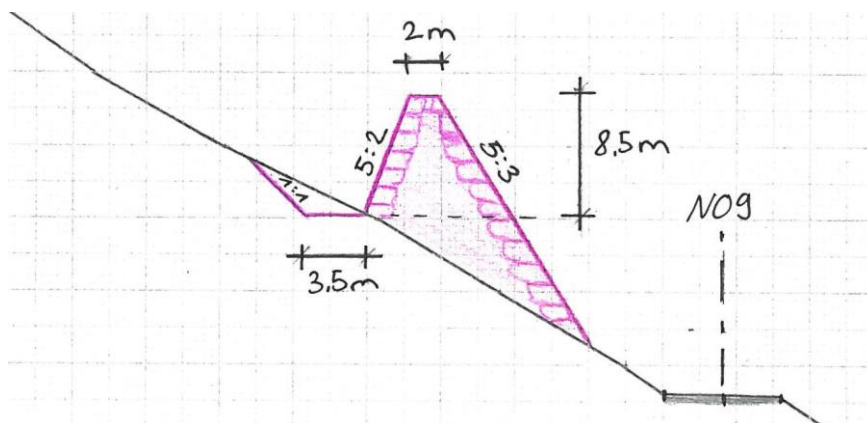


Abb. 7.2 Beispiel eines Typenprofils.

**Technische Beschreibung / Kosten****Abb. 7.3 Zusammenfassung der technischen Beschreibung und Kosten eines Auffangdammes**

Grundlagen / Eigenschaften	Dimensionierung des Auffangdammes	10-jährlich
	Maximale natürliche Schneedecke HS <sub>max</sub> auf 1400 m ü. M. d <sub>s</sub>	1.85 m
	Fliessgeschwindigkeit der Lawine v	10 m/s
	Fliesshöhe der Lawine d	1.5 m
	Fliesshöhe der Lawinen lotrecht h	1.75 m
	Lawinenvolumen V <sub>L</sub>	10'000 m <sup>3</sup> (Lawinenzüge A + B)
	Hangneigung am Standort des Dammes λ	32°
	Höhe des natürlich abgelagerten Schnee h <sub>s</sub>	2.15 m
	Dammhöhe $H = h_s + h + v^2/(2gλ)$	8.5 m
	Dammlänge L	70 m
	Böschung	5:2 bergseitig 5:3 talseitig
	Dammkronenbreite	2 m
	Dammvolumen	7'500 m <sup>3</sup>
	Rückhaltevolumen	2'500 m <sup>3</sup>
Kosten (+/- 25%)	Kosten pro Einheit	35.-/m <sup>3</sup>
	Lebensdauer	100 Jahre
	Investitionskosten	Fr. 265'000.-
	Jährliche Kosten	Fr. 6'625.-
Bemerkung	<p>Die steile Böschung muss mit einem Blockwurf oder mit Terramur erstellt werden, weshalb die Kosten etwas höher angenommen werden. Zudem muss auf der talseitigen Böschung ein Gleitschneeschutz erstellt werden.</p> <p>Die Wirkung bei mehreren aufeinanderfolgenden Lawinen ist nicht gegeben, da nach einem ersten Niedergang der Damm hinterfüllt ist.</p> <p>Der Eingriff in die Landschaft bei einem Bau eines solchen Dammes ist gross.</p>	



## 7.2 Variante Auffangnetz

Situationsplan 1:10'000

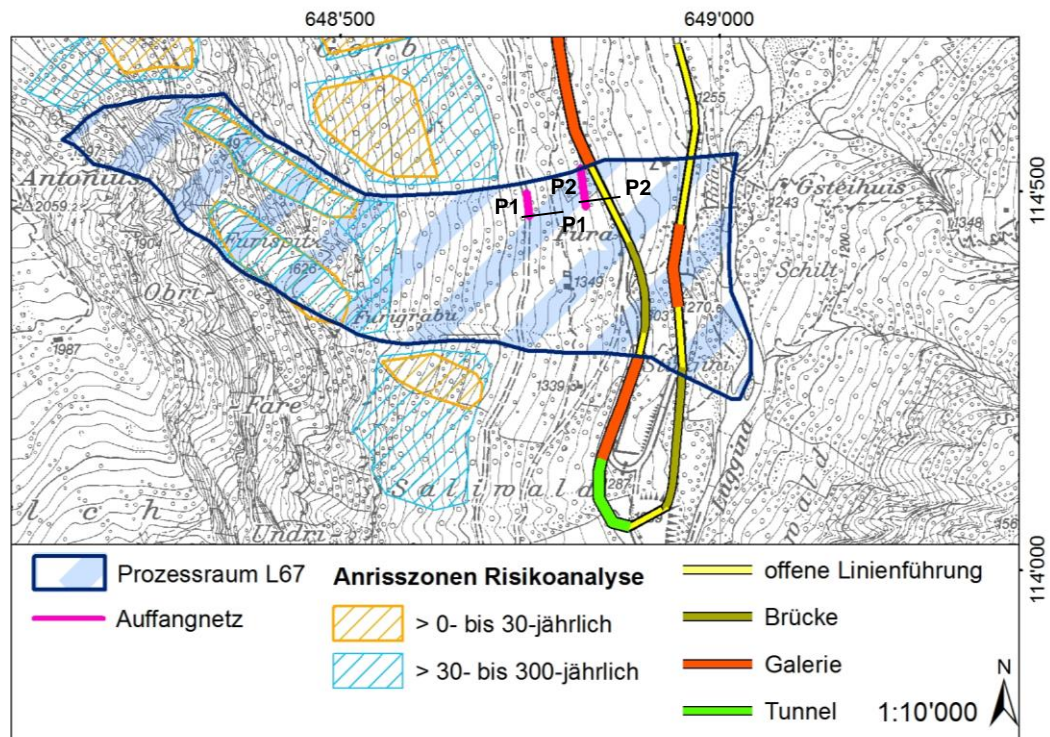
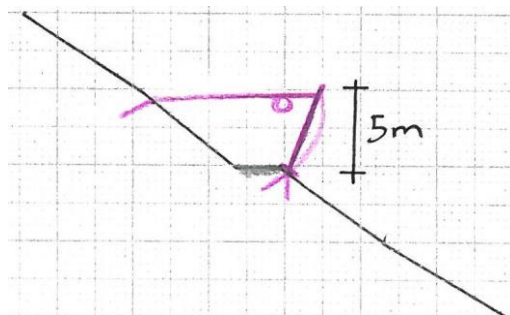


Abb. 7.4 Beispiel eines Situationsplans ca. 1:10'000 Auffangnetze.

Typenprofil 1:500

P1 – P1



P2 – P2

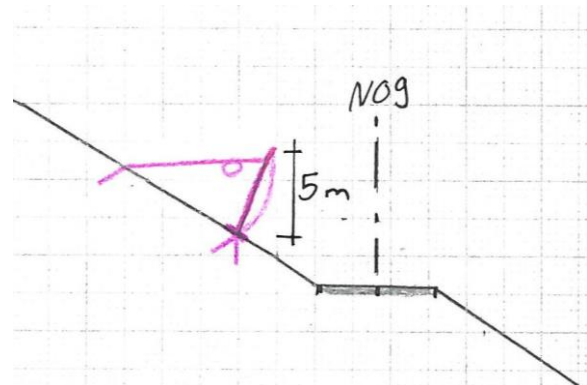


Abb. 7.5 Beispiel eines Typenprofils.



## Technische Beschreibung / Kosten

Abb. 7.6 Zusammenfassung der technischen Beschreibung und Kosten eines Auffangnetzes

Grundlagen / Eigenschaften	Das Auffangnetz besteht aus einem verstärkten Steinschlagschutznetz, wobei die Stützenfundamenten, die bergseitige Verankerung und der Stützenabstand entsprechend angepasst werden. Damit sich die Bremsselemente nicht bereits bei kleinem Lawinen- oder Schneedruck aktivieren, werden diese kurzgeschlossen. Der Vorteil dieser Massnahme liegt in der kombinierten Wirkung gegen kleine Lawinen und Steinschlag.	
	Dimensionierung des Auffangnetzes	10-jährlich
	Maximale natürliche Schneedecke $H_{Smax}$ auf 1400 m ü. M. $d_s$	1.85 m
	Fliessgeschwindigkeit der Lawine $v$	10 m/s
	Fliesshöhe der Lawine $d$	1.5 m
	Lawinenvolumen $V_L$	10'000 m <sup>3</sup> (Lawinenzug A + B)
	Kompressionsfaktor $\lambda$	2
	Einflusshöhe der Lawine $d_{tot} = d + (v^2 / 2g\lambda)$	4 m
	Einflusshöhe Total $d_{tot} + d_s$	5.85 m
	Schneedichte $\rho$	300 kg/m <sup>3</sup>
	Lawinendruck $q_h = \rho \cdot v^2$	30 kN/m <sup>2</sup>
	Energieaufnahmekapazität des Ringnetzes	2000 kJ
	Hangneigung am Standort der Netze	32°
	Netzhöhe	5 m
	Verbauungslänge (2 Reihen)	1 x 30 m 1 x 50 m
	Rückhaltevolumen	3'000 m <sup>3</sup>
Kosten (+/- 25%)	Materialkosten	2'000 CHF/m'
	Baukosten	1'000 CHF/m'
	Kosten pro Laufmeter	3'000 CHF/m'
	Investitionskosten	240'000 CHF
	Lebensdauer reduziert	30 Jahre
	Jährliche Kosten	15'200 CHF/Jahr
Bemerkung	Unterhaltskosten (2 % von Investitionskosten)	4'800 CHF/Jahr
	Das Auffangvolumen der Netze ist nach einem ersten Lawinenniedergang fast ausgeschöpft. Die Auffangkapazität wird mit der Anordnung von zwei Netzreihen optimiert.	
	Um das Auffangvolumen zu vergrössern, wird die Forststrasse als so genannter Fallboden genutzt. Das Lichtraumprofil soll mindestens 4.5 m betragen damit Forstfahrzeuge unter den bergseitigen Abspannungen der Netzreihe hindurch fahren können.	
	Der Lawinendruck von mehr als 30 kN/m <sup>2</sup> kann zu grossen Schäden an der Verbauung führen. Dieser Umstand wird mit einer Reduktion der zu erwartenden Lebensdauer von 50 auf 30 Jahre berücksichtigt.	

## 8 Kostenwirksamkeit (KW)

Die Kostenwirksamkeit der gewählten Massnahmen wird in diesem Schritt berechnet. Die Bewertung erfolgt mit der Excel-Tabelle *Kostenwirksamkeit* (Vorlage ASTRA, siehe Anhang III). Ein Tabellenblatt ist für jede Massnahme und jeden Prozessraum bzw. pro 100 m Abschnitt auszufüllen. Der Wert des Ausgangsrisikos pro Prozessraum bzw. 100 m Abschnitt resultiert aus der Risikoanalyse. Die Investitionskosten, die Lebensdauer, die Betriebs- und Unterhaltskosten sind anhand von Richtwerten aus der ASTRA Dokumentation 89001 „Naturgefahren auf den Nationalstrassen: Risikokonzzept“ [3] abzuschätzen. Die Richtwerte können fallspezifisch geändert werden.

Die Wirksamkeit (Risikoreduktion) der Massnahme wird prozentual für jedes Schadensbild bestimmt. Sofern die Risikostelle nicht durch den Prozessraum begrenzt ist oder die Massnahme nicht den gesamten Prozessraum bzw. einen 100 m Abschnitt abdeckt, muss dies berücksichtigt werden. Damit die Zusammensetzung des Ausgangsrisikos nachvollzogen werden kann, müssen die Intensitätskarten konsultiert werden. Dies gilt für alle beteiligten bzw. berücksichtigten Prozesse.

Eine Massnahme mit der Kostenwirksamkeit  $KW > 1$  gilt als wirtschaftlich. Bei mehreren kostenwirksamen Massnahmen dient der Nettonutzen (= jährlicher Nutzen in CHF- jährliche Massnahmenkosten in CHF) als entscheidender Vergleichswert.

Eine Aussage betreffend das Risiko nach Massnahme ist zu machen. Das Restrisiko pro Prozessraum bzw. 100 m Abschnitt kann aus der Excel-Tabelle *Kostenwirksamkeit* entnommen werden.

Um die Kostenwirksamkeit einer Massnahme abschätzen zu können, wird deren Wirksamkeit (Risikoreduktion) für jede Jährlichkeit und für jedes Schadensbild beurteilt. Dies geschieht mit einer Tabelle gemäss ASTRA-Vorlage (vgl. Anhang III). Das Ergebnis zeigt die Kostenwirksamkeit der Massnahme. Sofern dieser Wert grösser gleich 1 ist, kann die Massnahme als wirtschaftlich bezeichnet werden. Abb. 8.1 zeigt die Werte aus der Kostenwirksamkeitsberechnung.

Abb. 8.1 Auflistung der Kostenwirksamkeit der geprüften Massnahmen

Variante	Kostenwirksamkeit	Nettonutzen	Risiko nach Massnahme
Auffangdamm	1.35	2'350.-	9'836.-
Auffangnetz	0.46	- 8'200.-	11'815.-

## 8.1 Kostenwirksamkeit Variante Auffangdamm

### Nutzen

Mit einem Auffangdamm kann das Risiko 10-jährlicher Lawinen um 80% reduziert werden. Ist der Damm durch Schneeverwehungen oder durch kleinere Ereignisse bereits hinterfüllt, ist ein seitliches Um- oder Überfließen des Dammes möglich. Deswegen ist die Schutzwirkung begrenzt.

Die Risikoreduktion eines Auffangdammes hinsichtlich der vorsorglichen Sperrung der Strasse bei häufigen Ereignissen liegt bei maximal 50%. Gemäss Auskunft des Lawinenwarndienstes bietet diese Schutzmassnahme einen zu geringen Schutz, weshalb eine vorsorgliche Sperrung bei Lawinengefahr wahrscheinlich ist.

Für die 30-jährlichen Ereignisse kann mit dem Auffangdamm das Risiko nur noch um 30% reduziert werden. Auf das Schadensbild der vorsorglichen Sperrung hat der Damm keinen Einfluss mehr.

Das 10-jährliche Lawinenszenario macht über die Hälfte des Gesamtrisikos aus. Die Wirksamkeit der Massnahme ist nur gegen 10-jährliche Ereignisse hoch. Die Kostenwirksamkeit wird deswegen durch häufige Ereignisse wesentlich bestimmt.

Die Schutzmassnahme hat keinen Einfluss auf die bestehende Lawinengefahrenkarte.

### Risiko nach Massnahme

Nach dem Bau des Auffangdammes beträgt das kollektive Risiko im Prozessraum Furigrabo SIMP/L67 rund CHF 9'800 / Jahr und liegt somit nur knapp unter dem Überprüfungs-kriterium des ASTRA.

### Kosten

Die Kostenwirksamkeit ist auf die eher hohe Lebensdauer und der geringen jährlichen Unterhaltskosten eines Dammes zurück zu führen. Die Massnahme ist mit 1.35 kostenwirksam (Abb. 8.2).

Ausgangsrisiko in [CHF/Jahr] für Gefahrenstelle:				Furigrabo SIMP/L67				
Wiederkehrperiode (Szenario)	Direkttreffer Stau [Todesf./Jahr]	Direkttreffer Normal-situation [Todesf./Jahr]	Auffahrerisiko [Todesf./Jahr]	Personenrisiko monetarisiert [CHF/Jahr]	Räumung und Wiederherstellung [CHF/Jahr]	Verfügbarkeit - Sperrung nach Ereignis [CHF/Jahr]	Verfügbarkeit - vorsorgliche Sperrung [CHF/Jahr]	Kollektives Risiko [CHF/Jahr]
≤10	0.00E+00	4.81E-05	8.71E-06	284	2743	3'889	3'889	10'804
30	0.00E+00	2.30E-05	1.13E-06	120	3'544	690	292	4'647
100	0.00E+00	9.18E-06	3.12E-07	47	1'534	207	58	1'847
300	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0	1'361	111	28	1'500
Summe	0.00E+00	8.02E-05	1.01E-05	452	9'182	4'897	4'267	18'798
<b>Massnahme: Auffangdamm</b>								
Investitionskosten I <sub>0</sub> (inkl. Unvorhergesehenes, Projektierung, Bauleitung und Mwst.) [CHF]								265'000 [CHF]
Lebensdauer Bauwerk:				100 Jahre	Restwert (nach Lebensdauer)		0 [CHF]	
Betriebskosten (Munition, Elektrizität etc.)				0% [% von I <sub>0</sub> ]			0 [CHF/Jahr]	
Unterhalts- und Reparaturkosten [% von I <sub>0</sub> ]				0.5% [% von I <sub>0</sub> ]			1'325 [CHF/Jahr]	
Zinssatz [%]				2% [%]	jährliche Kosten der Massnahme		6'625 [CHF/Jahr]	
<b>Wirksamkeit (Risikoreduktion) der Massnahme in [%]</b>				Personenrisiko	Räumung und Wiederherstellung	Verfügbarkeit - Sperrung nach Ereignis	Verfügbarkeit - vorsorgliche Sperrung	
pro Szenario und Schadenbild	≤10	80%	80%	80%	80%	50%		
	30	30%	30%	30%	30%	0%		
	100	10%	10%	10%	10%	0%		
	300	0%	0%	0%	0%	0%		
<b>Restrisiko nach Massnahmen in [CHF/Jahr]</b>				Personenrisiko	Räumung und Wiederherstellung	Verfügbarkeit - Sperrung nach Ereignis	Verfügbarkeit - vorsorgliche Sperrung	Kollektives Risiko
pro Szenario und Schadenbild	≤10	57	549	778	1'944	3'328		
	30	84	2'481	483	292	3'340		
	100	43	1'361	186	58	1'668		
	300	0	1'361	111	28	1'500		
Summe				184	5'771	1'558	2'322	9'836
Nutzen (Summe Ausgangsrisiko - Summe Restrisiko) [CHF/Jahr]								8'962.14
<b>Kostenwirksamkeit der Massnahme (Nutzen/Kosten-Verhältnis)</b>								<b>1.35</b>
<b>Nettonutzen der Massnahme (Nutzen-Kosten-Differenz)</b>								<b>2'337.14</b>

Abb. 8.2 Auszug aus der Kostenwirksamkeits-Tabelle.

## 8.2 Kostenwirksamkeit Variante Auffangnetz

### Nutzen

Ein Auffangnetz kann das Risiko 10-jährlicher Lawinen um ca. 50% reduzieren. Da die Netze umflossen werden können, kann keine vollständige Risikoreduktion erzielt werden.

Für 30-jährliche Ereignisse wird die Risikoreduktion der Auffangnetze auf 20% geschätzt. Auf das Schadensbild der vorsorglichen Sperrung hat das Netz keinen Einfluss mehr. Die Wirkung solcher Netze bei grosser Lawinengefahr ist unbekannt. Aufgrund dieser Unsicherheiten kann ein Auffangnetz für die vorsorgliche Sperrung nicht berücksichtigt werden.

Das 10-jährliche Lawinenszenario macht über die Hälfte des Gesamtrisikos aus. Die Wirksamkeit der Massnahme ist nur gegen 10-jährliche Ereignisse hoch. Die Kostenwirksamkeit wird deswegen durch häufige Ereignisse wesentlich bestimmt.

Die Schutzmassnahme hat keinen Einfluss auf die bestehende Lawinengefahrenkarte.

### Risiko nach Massnahme

Nach dem Bau der Auffangnetze beträgt das kollektive Risiko im Prozessraum Furigrabo SIMP/L67 rund CHF 11'800 / Jahr und liegt somit nach wie vor über dem Überprüfungs-kriterium des ASTRA.

### Kosten

Die jährlichen Unterhaltskosten von 2% der Investitionskosten und die Lebensdauer von 30 Jahren berücksichtigen eine allfällige Beschädigung der Netze durch grössere Ereignisse (Richtwert Lebensdauer: 50 Jahre). Die Massnahme ist mit 0.46 nicht wirtschaftlich (Abb. 8.3).

Ausgangsrisiko in [CHF/Jahr] für Gefahrenstelle:				Furigrabo SIMP/L67				
Wiederkehr- periode (Szenario)	Direkttreffer Stau [Todesf./Jahr]	Direkttreffer Normal-situation [Todesf./Jahr]	Auffahrisko [Todesf./Jahr]	Personenrisiko monetarisiert [CHF/Jahr]	Räumung und Wieder- herstellung [CHF/Jahr]	Verfügbarkeit - Sperrung nach Ereignis [CHF/Jahr]	Verfügbarkeit - vorsorgliche Sperrung [CHF/Jahr]	Kollektives Risiko [CHF/Jahr]
≤10	0.00E+00	4.81E-05	8.71E-06	284	2'743	3'889	3'889	10'804
30	0.00E+00	2.30E-05	1.13E-06	120	3'544	690	292	4'647
100	0.00E+00	9.18E-06	3.12E-07	47	1'534	207	58	1'847
300	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0	1'361	111	28	1'500
Summe	0.00E+00	8.02E-05	1.01E-05	452	9'182	4'897	4'267	18'798
Massnahme: <b>Auffangnetz</b>								
Investitionskosten I <sub>0</sub> (inkl. Unvorhergesehenes, Projektierung, Bauleitung und Mwst.) [CHF]							240'000 [CHF]	
Lebensdauer Bauwerk :				30 Jahre	Restwert (nach Lebensdauer)		0 [CHF]	
Betriebskosten (Munition, Elektrizität etc.)				0% [% von I <sub>0</sub> ]		0 [CHF/Jahr]		
Unterhalts- und Reparaturkosten [% von I <sub>0</sub> ]				2.0% [% von I <sub>0</sub> ]		4'800 [CHF/Jahr]		
Zinssatz [%]				2% [%]		jährliche Kosten der Massnahme		15'200 [CHF/Jahr]
Wirksamkeit (Risikoreduktion) der Massnahme in [%]				Personenrisiko	Räumung und Wieder- herstellung	Verfügbarkeit - Sperrung nach Ereignis	Verfügbarkeit - vorsorgliche Sperrung	
pro Szenario und Schadenbild		≤10	100%	50%	50%	60%		
		30	20%	20%	20%	0%		
		100	10%	10%	10%	0%		
		300	0%	0%	0%	0%		
Restrisiko nach Massnahmen in [CHF/Jahr]				Personenrisiko	Räumung und Wieder- herstellung	Verfügbarkeit - Sperrung nach Ereignis	Verfügbarkeit - vorsorgliche Sperrung	Kollektives Risiko
pro Szenario und Schadenbild		≤10	0	1'371	1'944	1'556	4'871	
		30	96	2'835	552	292	3'776	
		100	43	1'381	186	58	1'668	
		300	0	1'361	111	28	1'500	
Summe		139	6'948	2'794	1'933	11'815		
Nutzen (Summe Ausgangsrisiko - Summe Restrisiko) [CHF/Jahr]								6'982.85
Kostenwirksamkeit der Massnahme (Nutzen/Kosten-Verhältnis)								0.46
Nettonutzen der Massnahme (Nutzen-Kosten-Differenz)								-8'217.15

Abb. 8.3 Auszug aus der Kostenwirksamkeits-Tabelle.

### 8.3 Grafik „jährliche Massnahmenkosten – jährlicher Massnahmennutzen“

In der nachfolgenden Grafik sind die untersuchten Massnahmen aufgeführt (Abb. 8.4 gemäss [1]). Die Gerade mit Steigung 1 trennt wirtschaftliche von nicht wirtschaftlichen Massnahmen.

Nutzen-Kosten-Grafik: Furigrabo SIMP/L67

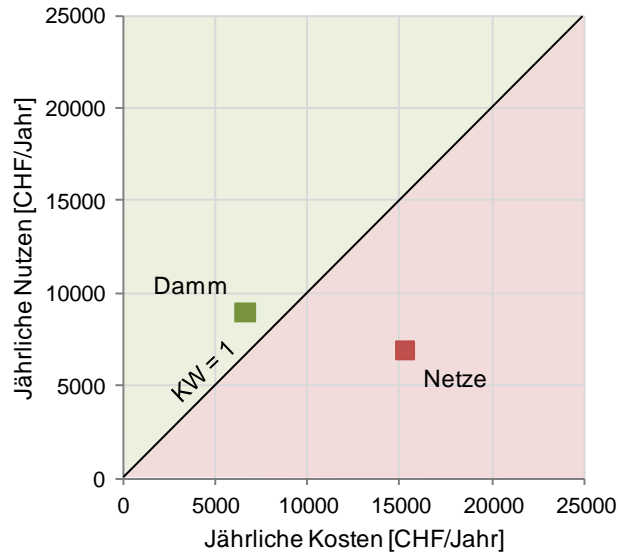


Abb. 8.4 Beispiel einer Nutzen-Kosten-Grafik [1].

## 9 Massnahmenoptimierung

Für kostenwirksame Massnahmen ( $KW \geq 1$ ) wird in diesem Kapitel gemäss [3] die optimale Massnahmenkombination eruiert. Dabei gilt aus ökonomischer Sicht diejenige Massnahme (oder Massnahmenkombination) als optimal, welche den grössten Nettonutzen erzielt.

Sind nach der Realisierung der optimalen Massnahme individuelle Todesfallrisiken zu erwarten, die über dem Überprüfungskriterium liegen, so ist zu prüfen, ob es andere kostenwirksame Massnahmen gibt, dank welchen das individuelle Todesfallrisiko unter das Überprüfungskriterium zu liegen kommt.

Für den Variantenvergleich und die Festlegung der Schutzmassnahme müssen weitere Kriterien berücksichtigt werden: technische, ökologische und gesellschaftliche. Zudem wird eine Aussage zum Risiko nach Massnahme gemacht.

Da nur eine der untersuchten Massnahmen kostenwirksam ist und bisher nur die Wirkung gegen Lawinenprozesse berücksichtigt wurde, werden die Varianten im Hinblick auf deren Wirkung gegen Sturzprozesse noch einmal beurteilt.<sup>3</sup>

Beide Massnahmen wirken gegen Sturzprozesse, womit deren Kostenwirksamkeit unter diesem Aspekt grösser als 1 ist. Hinzu kommt, dass unter Berücksichtigung der Sturzprozesse ein grösseres Ausgangsrisiko besteht. Das bedeutet, dass die Massnahmen zusätzlich technisch optimiert werden können.

Der Auffangdamm kann oberhalb des gesamten 10-jährlich gefährdeten Abschnitts erstellt werden. Die optimierte Variante des Auffangdammes hat eine Länge von 120 m. Aufgrund der Steilheit des Geländes ist eine Erhöhung des Dammes nur mit grossen technischen Aufwand möglich und wird deshalb nicht vorgeschlagen. Die Wirksamkeit (Risikoreduktion) der Massnahme wird im 10-jährlichen Lawinen-Szenario mit 90% angenommen. Einzig für das Schadensbild Vorsorgliche Sperrung wird von einer Risikoreduktion von 75% ausgegangen. Die genauen Zahlen sind der Tabelle in Abb. 9.3 zu entnehmen, wobei nur die optimierte Variante mit der Berücksichtigung der Sturzprozesse dargestellt ist.

Auch die Auffangnetze können unter Berücksichtigung der Risikoreduktion der Sturzprozesse um 20 Laufmeter verlängert werden. Diese optimierte Variante der Auffangnetze weist eine Kostenwirksamkeit von 1.02 auf. Mit der optimierten Variante kann ein grösserer Teil des gefährdeten Strassenabschnittes abgedeckt werden. Das 10-jährliche Lawinen-Szenario wird um 60% reduziert. Die genauen Werte sind der Tabelle in Abb. 9.4 zu entnehmen, wobei nur die optimierte Variante mit der Berücksichtigung der Sturzprozesse dargestellt ist.

Abb. 9.1 fasst die Kostenwirksamkeit, den Nettonutzen und das Risiko nach Massnahme der optimierten Varianten zusammen. In Abb. 9.2 sind alle Werte grafisch dargestellt.

<sup>3</sup> Im vorliegenden Anwendungsbeispiel wurden auftragsgemäss die Lawinenprozesse vordergründig untersucht und entsprechend Massnahmen geplant und beurteilt. Der Vorteil dieser Vorgehensweise liegt darin, dass nicht jeder Prozess im Detail untersucht und dargestellt werden muss, um eine Massnahme zu planen. Im vorliegenden Beispiel wurde aus Kostenwirksamkeitsgründen die Wirkung gegen Sturzprozesse im Rahmen der Massnahmenoptimierung berücksichtigt.

Abb. 9.1 Auflistung der Kostenwirksamkeit der geprüften Massnahmen unter Berücksichtigung mehrere Prozesse

Variante	Kostenwirksamkeit	Nettonutzen	Risiko nach Massnahme (Lawinenrisiko)
Auffangdamm (70 m)	3.13	14'100.-	9'836.-
Auffangdamm optimiert (120 m)	2.00	11'350.-	8'143.-
Auffangnetz (80 m)	1.20	3'050.-	11'815.-
Auffangnetz optimiert (100 m)	1.02	450.-	11'152.-

Nutzen-Kosten-Grafik: Furigrabo SIMP/L67

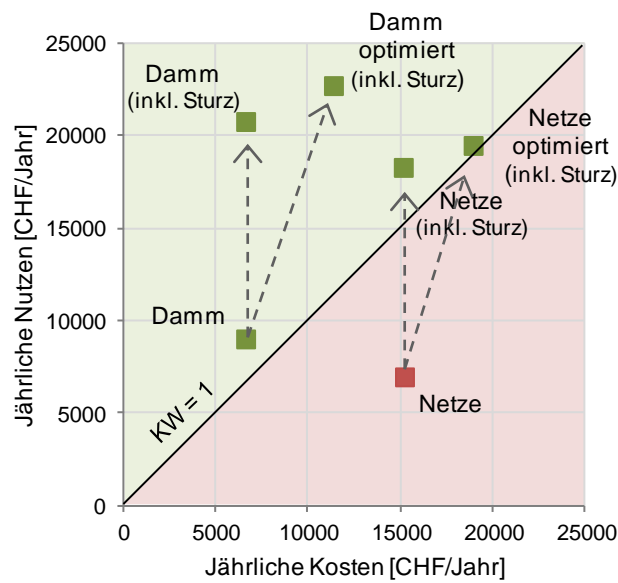


Abb. 9.2 Nutzen-Kosten-Grafik unter Berücksichtigung aller Prozesse und den optimierten Varianten.

**Lawinen**

Ausgangsrisiko in [CHF/Jahr] für Gefahrenstelle:				Furigrabo SIMP/L67				
Wiederkehr- periode (Szenario)	Direkttreffer Stau [Todesf./Jahr]	Direkttreffer Normal-situation [Todesf./Jahr]	Auffahrisko [Todesf./Jahr]	Personenrisiko monetarisiert [CHF/Jahr]	Räumung und Wieder- herstellung [CHF/Jahr]	Verfügbarkeit - Sperrung nach Ereignis [CHF/Jahr]	Verfügbarkeit - vorsorgliche Sperrung [CHF/Jahr]	Kollektives Risiko [CHF/Jahr]
≤10	0.00E+00	4.81E-05	8.71E-06	284	2'743	3'889	3'889	10'804
30	0.00E+00	2.30E-05	1.13E-06	120	3'544	690	292	4'647
100	0.00E+00	9.18E-06	3.12E-07	47	1'534	207	58	1'847
300	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0	1'361	111	28	1'500
Summe	0.00E+00	8.02E-05	1.01E-05	452	9'182	4'897	4'267	18'798
<b>Massnahme: Auffangdamm</b>								
Investitionskosten I <sub>0</sub> (inkl. Unvorhergesehenes, Projektierung, Bauleitung und Mwst.) [CHF]				455'000 [CHF]				
Lebensdauer Bauwerk :				100 Jahre	Restwert (nach Lebensdauer)			
Betriebskosten (Munition, Elektrizität etc.)				0% [% von I <sub>0</sub> ]	0 [CHF/Jahr]			
Unterhalts- und Reparaturkosten [% von I <sub>0</sub> ]				0.5% [% von I <sub>0</sub> ]	2'275 [CHF/Jahr]			
Zinssatz [%]				2% [%]	jährliche Kosten der Massnahme 11'375 [CHF/Jahr]			
<b>Wirksamkeit</b> (Risikoreduktion) der Massnahme in [%]				Personenrisiko	Räumung und Wieder- herstellung	Verfügbarkeit - Sperrung nach Ereignis	Verfügbarkeit - vorsorgliche Sperrung	Kollektives Risiko
pro Szenario und Schadenbild	≤10	100%	90%	90%	75%			
	30	30%	30%	30%	0%			
	100	10%	10%	10%	0%			
	300	0%	0%	0%	0%			
<b>Restrisiko</b> nach Massnahmen in [CHF/Jahr]				Personenrisiko	Räumung und Wieder- herstellung	Verfügbarkeit - Sperrung nach Ereignis	Verfügbarkeit - vorsorgliche Sperrung	Kollektives Risiko
pro Szenario und Schadenbild	≤10	0	274	389	972			
	30	84	2'481	483	292			
	100	43	1'381	186	58			
	300	0	1'361	111	28			
Summe				127	5'497	1'170	1'350	8'143
Nutzen (Summe Ausgangsrisiko - Summe Restrisiko) [CHF/Jahr]				10'654.30				
<b>Kostenwirksamkeit der Massnahme (Nutzen/Kosten-Verhältnis)</b>				<b>0.94</b>				
<b>Nettonutzen der Massnahme (Nutzen-Kosten-Differenz)</b>				<b>-720.70</b>				

**Sturz**

Ausgangsrisiko in [CHF/Jahr] für Gefahrenstelle:				Furigraben SIMP/S19				
Wiederkehr- periode (Szenario)	Direkttreffer Stau [Todesf./Jahr]	Direkttreffer Normal-situation [Todesf./Jahr]	Auffahrisko [Todesf./Jahr]	Personenrisiko monetarisiert [CHF/Jahr]	Räumung und Wieder- herstellung [CHF/Jahr]	Verfügbarkeit - Sperrung nach Ereignis [CHF/Jahr]	Verfügbarkeit - vorsorgliche Sperrung [CHF/Jahr]	Kollektives Risiko [CHF/Jahr]
≤10	0.00E+00	6.49E-05	1.16E-04	906	128	6'667	0	7'701
30	0.00E+00	2.84E-05	4.07E-05	345	56	2'333	0	2'734
100	0.00E+00	6.58E-05	1.16E-05	387	984	1'333	0	2'704
300	0.00E+00	4.40E-04	5.81E-06	2'228	3'805	2'000	0	8'033
Summe	0.00E+00	5.99E-04	1.74E-04	3'866	4'973	12'333	0	21'172
<b>Massnahme: Auffangdamm</b>								
Investitionskosten I <sub>0</sub> (inkl. Unvorhergesehenes, Projektierung, Bauleitung und Mwst.) [CHF]				455'000 [CHF]				
Lebensdauer Bauwerk :				100 Jahre	Restwert (nach Lebensdauer)			
Betriebskosten (Munition, Elektrizität etc.)				0% [% von I <sub>0</sub> ]	0 [CHF/Jahr]			
Unterhalts- und Reparaturkosten [% von I <sub>0</sub> ]				0.5% [% von I <sub>0</sub> ]	2'275 [CHF/Jahr]			
Zinssatz [%]				2% [%]	jährliche Kosten der Massnahme 11'375 [CHF/Jahr]			
<b>Wirksamkeit</b> (Risikoreduktion) der Massnahme in [%]				Personenrisiko	Räumung und Wieder- herstellung	Verfügbarkeit - Sperrung nach Ereignis	Verfügbarkeit - vorsorgliche Sperrung	Kollektives Risiko
pro Szenario und Schadenbild	≤10	100%	100%	100%	0%			
	30	100%	100%	100%	0%			
	100	60%	60%	60%	0%			
	300	0%	0%	0%	0%			
<b>Restrisiko</b> nach Massnahmen in [CHF/Jahr]				Personenrisiko	Räumung und Wieder- herstellung	Verfügbarkeit - Sperrung nach Ereignis	Verfügbarkeit - vorsorgliche Sperrung	Kollektives Risiko
pro Szenario und Schadenbild	≤10	0	0	0	0			
	30	0	0	0	0			
	100	155	394	533	0			
	300	2'228	3'805	2'000	0			
Summe				2'383	4'199	2'533	0	9'115
Nutzen (Summe Ausgangsrisiko - Summe Restrisiko) [CHF/Jahr]				12'057.40				
<b>Kostenwirksamkeit der Massnahme (Nutzen/Kosten-Verhältnis)</b>				<b>1.06</b>				
<b>Nettonutzen der Massnahme (Nutzen-Kosten-Differenz)</b>				<b>682.40</b>				

**Lawinen und Sturz gemeinsam**

Nutzen (Summe Ausgangsrisiko - Summe Restrisiko) [CHF/Jahr]				22'712				
<b>Kostenwirksamkeit der Massnahme (Nutzen/Kosten-Verhältnis)</b>				<b>2.00</b>				
<b>Nettonutzen der Massnahme (Nutzen-Kosten-Differenz)</b>				<b>11'336.70</b>				

Abb. 9.3 Auszug aus der Kostenwirksamkeits-Tabelle für den optimierten Auffangdamm mit Berücksichtigung der Risikoreduktion der Sturzprozesse.



### Lawinen

Ausgangsrisiko in [CHF/Jahr] für Gefahrenstelle:				Furigrabo SIMP/L67				
Wiederkehr- periode (Szenario)	Direkttreffer Stau [Todesf./Jahr]	Direkttreffer Normal-situation [Todesf./Jahr]	Auffahrisko [Todesf./Jahr]	Personenrisiko Personenrisiko monetarisiert [CHF/Jahr]	Räumung und Wieder- herstellung [CHF/Jahr]	Verfügbarkeit Sperrung nach Ereignis [CHF/Jahr]	Verfügbarkeit - vorsorgliche Sperrung [CHF/Jahr]	Kollektives Risiko [CHF/Jahr]
≤10	0.00E+00	4.81E-05	8.71E-06	284	2'743	3'889	3'889	10'804
30	0.00E+00	2.30E-05	1.13E-06	120	3'544	690	292	4'647
100	0.00E+00	9.18E-06	3.12E-07	47	1'534	207	58	1'847
300	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0	1'361	111	28	1'500
Summe	0.00E+00	8.02E-05	1.01E-05	452	9'182	4'897	4'267	18'798
Massnahme: <b>Auffangnetz</b>								
Investitionskosten I <sub>0</sub> (inkl. Unvorhergesehenes, Projektierung, Bauleitung und Mwst.) [CHF]							300'000 [CHF]	
Lebensdauer Bauwerk :				30 Jahre	Restwert (nach Lebensdauer)			0 [CHF]
Betriebskosten (Munition, Elektrizität etc.)				0% [% von I <sub>0</sub> ]				0 [CHF/Jahr]
Unterhalts- und Reperaturkosten [% von I <sub>0</sub> ]				2.0% [% von I <sub>0</sub> ]				6000 [CHF/Jahr]
Zinssatz [%]				2% [%]	jährliche Kosten der Massnahme			19'000 [CHF/Jahr]
Wirksamkeit (Risikoreduktion) der Massnahme in [%]				Personenrisiko	Räumung und Wieder- herstellung	Verfügbarkeit Sperrung nach Ereignis	Verfügbarkeit - vorsorgliche Sperrung	
pro Szenario und Schadenbild	≤10	100%	60%	60%	60%	60%		
	30	20%	20%	20%	20%	0%		
	100	10%	10%	10%	10%	0%		
	300	0%	0%	0%	0%	0%		
Restrisiko nach Massnahmen in [CHF/Jahr]				Personenrisiko	Räumung und Wieder- herstellung	Verfügbarkeit - Sperrung nach Ereignis	Verfügbarkeit - vorsorgliche Sperrung	Kollektives Risiko
pro Szenario und Schadenbild	≤10	0	1'097	1'556	1'556	4'208		
	30	96	2'835	552	292	3'776		
	100	43	1'381	186	58	1'668		
	300	0	1'361	111	28	1'500		
	Summe	139	6'674	2'405	1'933	11'152		
Nutzen (Summe Ausgangsrisiko - Summe Restrisiko) [CHF/Jahr]								7'646.00
Kostenwirksamkeit der Massnahme (Nutzen/Kosten-Verhältnis)								0.40
Nettonutzen der Massnahme (Nutzen-Kosten-Differenz)								-11'354.00

### Sturz

Ausgangsrisiko in [CHF/Jahr] für Gefahrenstelle:				Furigraben SIMP/S19				
Wiederkehr- periode (Szenario)	Direkttreffer Stau [Todesf./Jahr]	Direkttreffer Normal-situation [Todesf./Jahr]	Auffahrisko [Todesf./Jahr]	Personenrisiko Personenrisiko monetarisiert [CHF/Jahr]	Räumung und Wieder- herstellung [CHF/Jahr]	Verfügbarkeit - Sperrung nach Ereignis [CHF/Jahr]	Verfügbarkeit - vorsorgliche Sperrung [CHF/Jahr]	Kollektives Risiko [CHF/Jahr]
≤10	0.00E+00	6.49E-05	1.16E-04	906	128	6667	0	7701
30	0.00E+00	2.84E-05	4.07E-05	345	56	2333	0	2734
100	0.00E+00	6.58E-05	1.16E-05	387	984	1333	0	2704
300	0.00E+00	4.40E-04	5.81E-06	2'228	3'805	2'000	0	8'033
Summe	0.00E+00	5.99E-04	1.74E-04	3866	4973	12333	0	21'172
Massnahme: <b>Auffangnetz</b>								
Investitionskosten I <sub>0</sub> (inkl. Unvorhergesehenes, Projektierung, Bauleitung und Mwst.) [CHF]							300'000 [CHF]	
Lebensdauer Bauwerk :				30 Jahre	Restwert (nach Lebensdauer)		0 [CHF]	
Betriebskosten (Munition, Elektrizität etc.)				0% [% von I <sub>0</sub> ]	0 [CHF/Jahr]			
Unterhalts- und Reperaturkosten [% von I <sub>0</sub> ]				2.0% [% von I <sub>0</sub> ]	6000 [CHF/Jahr]			
Zinssatz [%]				2% [%]	jährliche Kosten der Massnahme		19'000 [CHF/Jahr]	
Wirksamkeit (Risikoreduktion) der Massnahme in [%]				Personenrisiko	Räumung und Wieder- herstellung	Verfügbarkeit - Sperrung nach Ereignis	Verfügbarkeit - vorsorgliche Sperrung	Kollektives Risiko
pro Szenario und Schadenbild		≤10	100%	100%	100%	100%	0%	
		30	100%	100%	100%	100%	0%	
		100	50%	50%	50%	50%	0%	
		300	0%	0%	0%	0%	0%	
Restrisiko nach Massnahmen in [CHF/Jahr]				Personenrisiko	Räumung und Wieder- herstellung	Verfügbarkeit - Sperrung nach Ereignis	Verfügbarkeit - vorsorgliche Sperrung	Kollektives Risiko
pro Szenario und Schadenbild		≤10	0	0	0	0	0	0
		30	0	0	0	0	0	0
		100	194	492	667	0	1'352	
		300	2'228	3'805	2'000	0	8'033	
Summe		2'422	4'297	2'667	0	9'385		
Nutzen (Summe Ausgangsrisiko - Summe Restrisiko) [CHF/Jahr]								11787.00
Kostenwirksamkeit der Massnahme (Nutzen/Kosten-Verhältnis)								0.62
Nettonutzen der Massnahme (Nutzen-Kosten-Differenz)								-7'213.00

### Lawinen und Sturz gemeinsam

Nutzen (Summe Ausgangsrisiko - Summe Restrisiko) [CHF/Jahr]					19'433				
<b>Kostenwirksamkeit der Massnahme (Nutzen/Kosten-Verhältnis)</b>					<b>1.02</b>				
<b>Nettonutzen der Massnahme (Nutzen-Kosten-Differenz)</b>					<b>433.00</b>				

Abb. 9.4 Auszug aus der Kostenwirksamkeits-Tabelle für die optimierten Auffangnetze mit Berücksichtigung der Risikoreduktion der Sturzprozesse.

### **Variantenvergleich und Bewertung der Randbedingungen**

Für den Vergleich der Varianten und die Festlegung einer Massnahme werden nebst den bisher untersuchten ökonomischen Randbedingungen auch die technischen, ökologischen und gesellschaftlichen Randbedingungen beurteilt. In Abb. 9.5 ist der Variantenvergleich zusammengefasst.

Es wird deutlich, dass die Dammvarianten unter ökonomischen Aspekten, den Netzvarianten überlegen sind. Dies wurde bereits im vorgehenden Kapitel Kostenwirksamkeit deutlich.

Die technischen Randbedingungen sprechen eher für die Netzvarianten. So ist aufgrund der topographischen Gegebenheiten beim Bau eines Dammes mit bautechnischen Schwierigkeiten zu rechnen. Die Steilheit des Geländes erfordert den Einbau von Stützelementen sowohl für den Damm als auch für die bergseitige Böschung des Fallbodens. Aus bautechnischer Sicht ist die Erstellung der Auffangnetzreihen positiver bewertet. Bei einem Überlastfall sind jedoch grössere Schäden an den Netzen zu erwarten, während der Damm lediglich hinterfüllt und überflossen wird.

Keine der Massnahmenvarianten befinden sich in einem Schutzgebiet. Die Auswirkungen der Massnahmen auf die Landschaft sind jedoch unterschiedlich zu bewerten. Dämme haben einen grossen Eingriff und Veränderung des Landschaftsbildes zur Folge. Netze hingegen haben aufgrund ihrer Bauweise einen kleineren Einfluss auf das Landschaftsbild. Dies wird in diesem Fall als Vorteil für die Netzvarianten bewertet.

Dies spiegelt sich auch in den gesellschaftlichen Aspekt wider. So wird davon ausgegangen, dass die Auffangnetze eine bessere Akzeptanz erfahren als der Damm.

Nach dem Bau des Auffangdammes wäre das kollektive Risiko unter dem Überprüfungskriterium des ASTRA. Mit dem Bau der Auffangnetze bleibt diese weiterhin verletzt.

Zusammenfassend werden Auffangnetze höher bewertet.

Abb. 9.5 Beispiel eines Variantenvergleichs und Bewertung der Randbedingungen  
(+ + sehr positiv, + positiv, +- neutral, - negativ, - - sehr negativ)

		Massnahmen			
Randbedingungen		Auffang- damm (70 m)	Auffang- damm (120 m)	Auffangnetz (80 m)	Auffangnetz (100 m)
<b>Ökonomische Randbedingungen</b>	Kostenwirksamkeit (Lawinen)	+	-	-	-
	Kostenwirksamkeit (alle Prozesse)	++	+	+	+
	Nettonutzen (alle Prozesse)	++	+	+	+
	Unterhaltskosten	+	+	-	-
	<i>Total</i>	6	2	0	0
<b>Technische Rand- bedingungen</b>	Wirksamkeit gegen Gefah- renprozess (Lawinen)	+	++	+	++
	Verhalten im Überlastfall	-	-	--	--
	Bautechnische Machbarkeit	--	--	++	++
	Risiko während Bauphase	+-	+-	+-	+-
	Nutzen Dritter	+	+	+	+
	Grundeigentümerverhältnisse	-	-	-	-
	<i>Total</i>	-2	-1	1	2
<b>Ökologische Randbedingungen</b>	Umwelt- und Landschaftsver- träglichkeit	--	--	++	++
	Schutzgebiete und Inventare	+-	+-	+-	+-
	<i>Total</i>	-2	-2	2	2
<b>Gesellschaftliche Randbedingungen</b>	Akzeptanz bei der Bevölke- rung	--	--	++	++
	Keine Verschiebung der Kosten auf zukünftige Gene- rationen	+-	+-	+-	+-
	Verlagerung der Risiken	+-	+-	+-	+-
	<i>Total</i>	-2	-2	2	2
<b>Risiko nach Mas- snahme</b>	Risiko nach Massnahme für die definierte Risikostelle	+	+	-	-
	<i>Total</i>	1	1	-1	-1
<b>Total</b>		-1	-2	4	5

## 10 Festlegung Schutzmassnahmen

In diesem Kapitel wird die Variantenwahl begründet und auf die Koordination mit Dritten hingewiesen.

### 10.1 Variantenwahl

Wie der Variantenvergleich zeigt, stellen unter Berücksichtigung aller Kriterien die Netzvarianten die geeignetere Lösung dar. Es wird deshalb vorgeschlagen, zwei Netzreihen mit einer Gesamtlänge von 100 m zu erstellen.

### 10.2 Koordination mit Dritten

Im Lawinenzug B steht ein Haus in der roten Lawinengefarenzone. Die vorgeschlagene Schutzmassnahme reduziert das Risiko häufiger Lawinnenniedergänge. Hat jedoch auf die Lawinengefarenkarte keinen Einfluss, da die rote Zone durch sehr seltene 300-jährliche Lawinen definiert wird.

Es fällt keine Koordination mit Dritten an. Mit den betroffenen Parteien (kantonale Dienststellen, Private) wird jedoch Kontakt aufgenommen. Diese sind über das Projekt zu informieren.

## 11 Projektdefinition

Die EP Filiale erstellt gemäss der Vorlage im Projekthandbuch eine Projektdefinition und überreicht diese der PM Filiale.



## Anhänge

I	Inhalt Dossier .....	49
II	Berechnung der Investitionskosten.....	50
III	Kostenwirksamkeitstabelle .....	51





# I Inhalt Dossier

1 Dossier pro Risikostelle			
Kap.	U-Kap.	Themen und Dokumente	Form
NATURGEFAHREN : PROJEKTGENERIERUNG	I	Zusammenfassung	Text
	II	Auftrag	
	III	Grundlagen	
	IV	Systemabgrenzung des Projektperimeters	
	V	Charakterisierung des Projektperimeters	
	1	Gefahrenanalyse	Text/Tabellen/Karten
		.1 Historische Ereignisse	
		.2 Charakterisierung der relevanten Gefahrenprozesse	
		.3 Bestehende Schutzbauten und ihre Wirkung	
		.4 Intensitätskarten	1:10'000/5'000
	2	Expositions- und Konsequenzenanalyse	Text/eventuell Karten
	3	Risikoermittlung mit Risikokarten	1:10'000/5'000
		.1 Risikokarte mit Risikostellen	
		.2 Ausgangsrisiko für die Risikostelle	
	4	Risikobewertung	Text
	5	Rangierung der Risikostellen	Text (falls notwendig)
	6	Vorprüfung der möglichen Schutzmassnahmen	Tabelle/Text
	7	Schutzmassnahmendefinition (Vorstudie gemäss SIA 103)	1 Faktenblatt pro Variante
		.1 Faktenblatt V1 (Situationsplan, Typprofil, Querschnitt, Kosten, Beschreibung)	
		.2 Faktenblatt V2 (Situationsplan, Typprofil, Querschnitt, Kosten, Beschreibung)	
		.3 Faktenblatt V3 (Situationsplan, Typprofil, Querschnitt, Kosten, Beschreibung)	
	8	Kostenwirksamkeit (KW)	1 Tabelle pro Variante
		.1 V1 : Tabelle "Kosten-Wirksamkeit der Massnahme"	
		.2 V2 : Tabelle "Kosten-Wirksamkeit der Massnahme"	
		.3 V3 : Tabelle "Kosten-Wirksamkeit der Massnahme"	
		.4 Vn : Tabelle "Kosten-Wirksamkeit der Massnahme"	
		.5 Grafik "jährliche Massnahmenkosten - jährlicher Massnahmennutzen"	Grafik
	9	Massnahmenoptimierung	Text /Tabelle
	10	Festlegung Schutzmassnahmen	Text
		.1 Variantenwahl	
		.2 Koordination mit Dritten	
	11	Projektdefinition	Vorlage ASTRA

Abb. I.1 Inhalt Dossier: Evaluation der Risikostellen und Schutzmassnahmenplanung. Auszug aus der ASTRA Richtlinie 19003 „Management von Naturgefahren auf den Nationalstrassen“ [1].

## II Berechnung der Investitionskosten

### Berechnung möglicher Investitionskosten

Ausfüllen!

Ausgangsrisiko	Ausgangsrisiko in [CHF/Jahr] für Gefahrenstelle:				Prozessraum				
	Wiederkehrperiode (Szenario)	Direkttreffer	Direkttreffer	Auffahrisiko	Personenrisiko monetarisiert [CHF/Jahr]	Räumung und Wiederherstellung [CHF/Jahr]	Verfügbarkeit - Sperrung nach Ereignis [CHF/Jahr]	Verfügbarkeit - vorsorgliche Sperrung [CHF/Jahr]	Kollektives Risiko [CHF/Jahr]
		[Todesf./Jahr]	Stau Normal-situation [Todesf./Jahr]	[Todesf./Jahr]					
	≤10								
	30								
	100								
	300								
	Summe								
Massnahme	temporäre und permanente Bauwerke (Sprenganlagen, Steinschlagschutznetz, Temporärer Verbau, Hangstützwerke, Aufforstungen, Wildbachsperrungen, Murgangnetz, etc.)								
	Lebensdauer Bauwerk : 30 Jahre								
	Betriebskosten (Munition, Elektrizität etc.) 0% [% von I <sub>0</sub> ]								
	Unterhalts- und Reparaturkosten [% von I <sub>0</sub> ] 2.0% [% von I <sub>0</sub> ]								
	Zinssatz [%] 2% [%]								
10-jährliche Dimensionierung	10-jährliche Dimensionierung		minimal		maximal				
	Szenario	Risikoreduktion	Restrisiko pro Szenario	Risikoreduktion	Restrisiko pro Szenario				
	≤10	100%	0 [CHF/Jahr]	100%	0 [CHF/Jahr]				
	30	0%	0 [CHF/Jahr]	50%	0 [CHF/Jahr]				
	100	0%	0 [CHF/Jahr]	10%	0 [CHF/Jahr]				
	300	0%	0 [CHF/Jahr]	0%	0 [CHF/Jahr]				
	Restrisiko pro Jahr		0 [CHF/Jahr]		0 [CHF/Jahr]				
	Betriebskosten (Munition, Elektrizität etc.)		0 [CHF/Jahr]		0 [CHF/Jahr]				
	Unterhalts- und Reparaturkosten [% von I <sub>0</sub> ]		0 [CHF/Jahr]		0 [CHF/Jahr]				
	Nutzen		0 [CHF/Jahr]		0 [CHF/Jahr]				
Jährliche Kosten		0 [CHF/Jahr]		0 [CHF/Jahr]					
Investitionskosten I <sub>0</sub> *		minimal	0 [CHF]	maximal	0 [CHF]				
30-jährliche Dimensionierung	30-jährliche Dimensionierung		minimal		maximal				
	Szenario	Risikoreduktion	Restrisiko pro Szenario	Risikoreduktion	Restrisiko pro Szenario				
	≤10	100%	0 [CHF/Jahr]	100%	0 [CHF/Jahr]				
	30	100%	0 [CHF/Jahr]	100%	0 [CHF/Jahr]				
	100	0%	0 [CHF/Jahr]	50%	0 [CHF/Jahr]				
	300	0%	0 [CHF/Jahr]	10%	0 [CHF/Jahr]				
	Restrisiko pro Jahr		0 [CHF/Jahr]		0 [CHF/Jahr]				
	Betriebskosten (Munition, Elektrizität etc.)		0 [CHF/Jahr]		0 [CHF/Jahr]				
	Unterhalts- und Reparaturkosten [% von I <sub>0</sub> ]		0 [CHF/Jahr]		0 [CHF/Jahr]				
	Nutzen		0 [CHF/Jahr]		0 [CHF/Jahr]				
Jährliche Kosten		0 [CHF/Jahr]		0 [CHF/Jahr]					
Investitionskosten I <sub>0</sub> *		minimal	0 [CHF]	maximal	0 [CHF]				
100-jährliche Dimensionierung	100-jährliche Dimensionierung		minimal		maximal				
	Szenario	Risikoreduktion	Restrisiko pro Szenario	Risikoreduktion	Restrisiko pro Szenario				
	≤10	100%	0 [CHF/Jahr]	100%	0 [CHF/Jahr]				
	30	100%	0 [CHF/Jahr]	100%	0 [CHF/Jahr]				
	100	100%	0 [CHF/Jahr]	100%	0 [CHF/Jahr]				
	300	0%	0 [CHF/Jahr]	50%	0 [CHF/Jahr]				
	Restrisiko pro Jahr		0 [CHF/Jahr]		0 [CHF/Jahr]				
	Betriebskosten (Munition, Elektrizität etc.)		0 [CHF/Jahr]		0 [CHF/Jahr]				
	Unterhalts- und Reparaturkosten [% von I <sub>0</sub> ]		0 [CHF/Jahr]		0 [CHF/Jahr]				
	Nutzen		0 [CHF/Jahr]		0 [CHF/Jahr]				
Jährliche Kosten		0 [CHF/Jahr]		0 [CHF/Jahr]					
Investitionskosten I <sub>0</sub> *		minimal	0 [CHF]	maximal	0 [CHF]				
300-jährliche Dimensionierung	300-jährliche Dimensionierung		minimal		maximal				
	Szenario	Risikoreduktion	Restrisiko pro Szenario	Risikoreduktion	Restrisiko pro Szenario				
	≤10	100%	0 [CHF/Jahr]	100%	0 [CHF/Jahr]				
	30	100%	0 [CHF/Jahr]	100%	0 [CHF/Jahr]				
	100	100%	0 [CHF/Jahr]	100%	0 [CHF/Jahr]				
	300	100%	0 [CHF/Jahr]	100%	0 [CHF/Jahr]				
	Restrisiko pro Jahr		0 [CHF/Jahr]		0 [CHF/Jahr]				
	Betriebskosten (Munition, Elektrizität etc.)		0 [CHF/Jahr]		0 [CHF/Jahr]				
	Unterhalts- und Reparaturkosten [% von I <sub>0</sub> ]		0 [CHF/Jahr]		0 [CHF/Jahr]				
	Nutzen		0 [CHF/Jahr]		0 [CHF/Jahr]				
Jährliche Kosten		0 [CHF/Jahr]		0 [CHF/Jahr]					
Investitionskosten I <sub>0</sub> *		minimal	0 [CHF]	maximal	0 [CHF]				

\* inkl. Unvorhergesehenes, Projektierung, Bauleitung und Mwst.

Abb. II.1 Leere Tabelle zur Berechnung der maximalen Investitionskosten.

### III Kostenwirksamkeitstabelle

## Berechnung Kostenwirksamkeit

Ausfüllen!

Ausgangsrisiko in [CHF/Jahr] für Gefahrenstelle:				Prozessraum				
Wiederkehrperiode (Szenario)	Direkttreffer Stau [Todesf./Jahr]	Direkttreffer Normal-situation [Todesf./Jahr]	Auffahrfrisiko [Todesf./Jahr]	Personenrisiko monetarisiert [CHF/Jahr]	Räumung und Wiederherstellung [CHF/Jahr]	Verfügbarkeit - Sperrung nach Ereignis [CHF/Jahr]	Verfügbarkeit - vorsorgliche Sperrung [CHF/Jahr]	Kollektives Risiko [CHF/Jahr]
≤10								
30								
100								
300								
Summe								
<b>Massnahme:</b>								
Investitionskosten I <sub>0</sub> (inkl. Unvorhergesehenes, Projektierung, Bauleitung und Mwst.) [CHF]							0 [CHF]	
Lebensdauer Bauwerk :				0 Jahre		Restwert (nach Lebensdauer)		0 [CHF]
Betriebskosten (Munition, Elektrizität etc.)				0% [% von I <sub>0</sub> ]		0 [CHF/Jahr]		
Unterhalts- und Reparaturkosten [% von I <sub>0</sub> ]				0.0% [% von I <sub>0</sub> ]		0 [CHF/Jahr]		
Zinssatz [%]				2% [%]		jährliche Kosten der Massnahme		#DIV/0! [CHF/Jahr]
<b>Wirksamkeit</b> (Risikoreduktion) der Massnahme in [%]				Personenrisiko	Räumung und Wiederherstellung	Verfügbarkeit - Sperrung nach Ereignis	Verfügbarkeit - vorsorgliche Sperrung	
pro Szenario und Schadenbild	≤10		0%	0%	0%	0%	0%	
	30		0%	0%	0%	0%	0%	
	100		0%	0%	0%	0%	0%	
	300		0%	0%	0%	0%	0%	
<b>Restrisiko</b> nach Massnahmen in [CHF/Jahr]				Personenrisiko	Räumung und Wiederherstellung	Verfügbarkeit - Sperrung nach Ereignis	Verfügbarkeit - vorsorgliche Sperrung	Kollektives Risiko
pro Szenario und Schadenbild	≤10		0	0	0	0	0	0
	30		0	0	0	0	0	0
	100		0	0	0	0	0	0
	300		0	0	0	0	0	0
Summe				0	0	0	0	0
Nutzen (Summe Ausgangsrisiko - Summe Restrisiko) [CHF/Jahr]								0.00
<b>Kostenwirksamkeit der Massnahme (Nutzen/Kosten-Verhältnis)</b>								#DIV/0!
<b>Nettonutzen der Massnahme (Nutzen-Kosten-Differenz)</b>								#DIV/0!

Abb. III.1 Leere Tabelle zur Berechnung der Kostenwirksamkeit.



# Literaturverzeichnis

## Richtlinien des ASTRA

- 
- [1] Bundesamt für Strassen ASTRA (2014), „**Management von Naturgefahren auf den Nationalstrassen**“, *Richtlinie ASTRA 19003, V1.10*, [www.astra.admin.ch](http://www.astra.admin.ch).
  - [2] Bundesamt für Strassen ASTRA (2005), „**Projektierung und Ausführung von Kunstbauten der Nationalstrassen**“, *Richtlinie ASTRA 12001*, [www.astra.admin.ch](http://www.astra.admin.ch).
- 

## Dokumentation des ASTRA

- 
- [3] Bundesamt für Strassen ASTRA (2012), „**Naturgefahren auf den Nationalstrassen: Risikokzept - Methodik für eine risikobasierte Beurteilung, Prävention und Bewältigung von gravitativen Naturgefahren auf Nationalstrassen**“, *Dokumentation ASTRA 89001, V2.20*, [www.astra.admin.ch](http://www.astra.admin.ch).
  - [4] Bundesamt für Strassen ASTRA (2013), „**Risikoanalyse für Tunnel der Nationalstrassen**“, *Dokumentation 89007, In Erarbeitung*.
- 

## Fachhandbuch ASTRA

- 
- [5] Bundesamt für Strassen ASTRA (2012), „**Technisches Merkblatt Bauteile Naturgefahren**“, *Fachhandbuch T/G (Tunnel/Geotechnik) 20 001, V4.01*, [www.astra.admin.ch](http://www.astra.admin.ch).
- 

## Normen

- 
- [6] Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein SIA (2001), „**Ordnung für Leistungen und Honorare der Bauingenieure und Bauingenieurinnen**“.
- 

## Berichte und weitere Grundlagen

- 
- [7] Nationale Plattform Naturgefahren PLANAT (2008), „**Wirkung von Schutzmassnahmen**“, Strategie Naturgefahren Schweiz, Umsetzung des Aktionsplans PLANAT 2005-2008, Projekt A3, *Schlussbericht 2. Phase. Testversion*.
  - [8] Arge Simplonadler (2012), „**Gefahrenbeurteilung und Risikoanalyse betreffend Naturgefahren auf Nationalstrassen - Los 13 Simplon**“, Brig.
  - [9] WSL-Institut für Schnee und Lawinenforschung SLF (2013), „**Gumbel-Statistik Simplon Dorf (4SM)**“.
  - [10] Margreth, S. (2007), „**Lawinenverbau im Anbruchgebiet**“, *Technische Richtlinie als Vollzugshilfe. Umwelt-Vollzug Nr. 0704*, Bundesamt für Umwelt, Bern, WSL Eidgenössisches Institut für Schnee- und Lawinenforschung SLF, Davos. 136 S.
-



## Auflistung der Änderungen

Ausgabe	Version	Datum	Änderungen
2014	1.10	19.11.2018	Formelle Anpassungen.
2014	1.00	25.02.2014	Publikation Ausgabe 2014.

