



# Wirkung des Waldes gegen flachgründige Rutschungen und Risikoreduktion auf Bahnanlagen und Bahnbetrieb der SBB AG

Anwendung des Konzepts PROTECT Bio anhand von drei Fallbeispielen in den Kantonen TI und LU

Schwarz, M., Dorren, L., Kühne, K.  
Juni 2019

## Impressum

### **Auftraggeber**

Schweizerische Bundesbahnen SBB  
Bundesamt für Umwelt BAFU

### **Auftragnehmer**

Hochschule für Agrar-, Forst- und Lebensmittelwissenschaften HAFL  
Abteilung Waldwissenschaften  
Länggasse 85  
3052 Zollikofen

### **Projektverfasser**

Massimiliano Schwarz  
Luuk Dorren  
Kathrin Kühne

### **Projektbegleitung**

Kanton Luzern - Landwirtschaft und Wald (law), Abteilung Wald  
Urs Felder, Leiter Waldregion Entlebuch

Kanton Tessin - Divisione dell'ambiente, sezione forestale  
Martino Bonardi, ufficio forestale 9° circondario

### **Zitiervorschlag**

Schwarz M., Dorren L., Kühne K. (2019): Wirkung des Waldes gegen flachgründige Rutschungen und Risikoreduktion auf Bahnanlagen und Bahnbetrieb der SBB AG. Anwendung des Konzepts PROTECT Bio anhand von drei Fallbeispielen in den Kantonen TI und LU. Bern Wankdorf / Ittigen, im Auftrag von SBB AG und BAFU.

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>7</b>
1.1	Ausgangslage	7
1.2	Projektziele	7
1.3	Aufbau des Berichts	7
<b>2</b>	<b>Methodik PROTECT Bio</b>	<b>8</b>
2.1	Allgemeines	8
2.2	Anwendung und Anpassung der Methode PROTECT Bio im vorliegenden Projekt	10
<b>3</b>	<b>Methode Wirkungsbeurteilung und Risikoanalyse</b>	<b>11</b>
3.1	Allgemeines Vorgehen	11
3.2	Methodik Wirkungsbeurteilung	12
3.2.1	Beschaffung und Aufarbeitung der Grundlagen	12
3.2.2	Gefahrenanalyse: Modellierung und Beurteilung von Anriss und Auslauf von Hangmuren	12
3.2.3	Szenariendefinition und Intensitätsstufen	15
3.3	Intensitätsstufen	17
3.4	Methodik Risikoanalyse	17
3.4.1	Parameter für die Gefahrenanalyse	17
3.4.2	Parameter für Schadenpotenzial (risikorelevante Attribute)	18
3.4.3	Parameter für Massnahmendefinition	19
3.5	Evaluation und Planung waldbaulicher Massnahmen	20
<b>4</b>	<b>Resultate der Fallstudien</b>	<b>21</b>
4.1	Gambarogno (TI)	21
4.1.1	Gambarogno: Resultate der Grob- und Massnahmenbeurteilung	21
4.1.2	Gambarogno: Wirkungsbeurteilung (Überblick Szenarien und Intensitätskarten)	22
4.1.3	Gambarogno: Risikoanalyse und Kostenwirksamkeit	24
4.1.4	Gambarogno: Waldbauliche Massnahmen	25
4.2	Langnauerwald (LU)	28
4.2.1	Langnauerwald: Resultate der Grob- und Massnahmenbeurteilung	28
4.2.2	Langnauerwald: Wirkungsbeurteilung (Überblick Szenarien und Intensitätskarten)	29
4.2.3	Langnauerwald: Risikoanalyse und Kostenwirksamkeit	31
4.2.4	Langnauerwald: Waldbauliche Massnahmen	32
4.3	Schächliwald (LU)	35
4.3.1	Schächliwald: Resultate der Grob- und Massnahmenbeurteilung	35
4.3.2	Schächliwald: Wirkungsbeurteilung (Überblick Szenarien und Intensitätskarten)	36
4.3.3	Schächliwald: Risikoanalyse und Kostenwirksamkeit	38
<b>5</b>	<b>Diskussion der Resultate</b>	<b>41</b>
5.1	Allgemeines Vorgehen	41
5.2	Modelle: SOSlope und M-Flow	41
5.2.1	Grundlagenbeschaffung und Aufbereitung der Daten (Szenarien ohne Wald)	41
5.2.2	SOSlope	42
5.2.3	M-Flow	43
5.3	Szenarien	43
5.3.1	Definition Prozessszenarien	43
5.3.2	Waldszenarien	44
5.3.3	Intensitätskarten	44
5.4	Risikoanalyse	45
5.4.1	Synthese der Risikoanalyse	45
5.4.2	Einbezug des Schutzwaldes als Massnahme in EconoMe	46
5.5	Waldbauliche Massnahmenplanung	47
<b>6</b>	<b>Synthese und Ausblick</b>	<b>49</b>
<b>7</b>	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>50</b>
<b>8</b>	<b>Anhang</b>	<b>52</b>

## Zusammenfassung

Um den Beitrag des Schutzwaldes an die Risikoreduktion auf Bahnanlagen und Bahnbetrieb der SBB AG nachweisen zu können, wurde in diesem Projekt die Wirkung des Waldes gegen flachgründige Rutschungen quantifiziert und die Kostenwirksamkeit mittels einer Risikoanalyse bestimmt. Unter dem Begriff «flachgründige Rutschung» verstehen wir die Mobilisierung einer Masse mit Mächtigkeit <2 m, welche sich im Auslauf als Gleit- oder Fliessprozess («Hangmure») entwickeln kann.

In dieser Studie wurde eine auf den Überlegungen/Grundsätzen von PROTECT Bio basierte Vorgehensweise gewählt, wobei der Wald analog zu technischen Massnahmen gemäss der Methode PROTECT (PLANAT) beurteilt wird. Die allgemeine Vorgehensweise von PROTECT Bio besteht aus einer Grobbeurteilung, der Massnahmenbeurteilung und der Wirkungsbeurteilung. Zusätzlich wurden in dieser Studie eine Risikoanalyse inkl. Kostenwirksamkeitsanalyse der waldbaulichen Massnahmen, sowie die Evaluation und Planung waldbaulicher Massnahmen durchgeführt. Das Vorgehen wurde anhand von drei Fallstudien (Gambarogno TI, Langnauerwald und Schächliwald im Entlebuch LU) angewendet.

In der heutigen Version von PROTECT Bio für flachgründige Rutschungen dient die Grobbeurteilung dazu, die Relevanz des Schutzwaldes anhand von Deckungsgrad und Lücken im Entstehungsgebiet zu ermitteln. Ziel der Massnahmenbeurteilung ist die Bestimmung der Zuverlässigkeit der Massnahme hinsichtlich ihrer Wirkung auf den betrachteten Gefahrenprozess anhand der Tragsicherheit, der Gebrauchstauglichkeit und der Dauerhaftigkeit. Die Wirkungsbeurteilung wurde anhand der folgenden Arbeitsschritte durchgeführt:

1. Beschaffung und Aufbereitung der Grundlagen
2. Modellierung und Beurteilung von Anriss und Auslauf ohne Wald
3. Modellierung und Beurteilung von Anriss und Auslauf für die heutige Situation mit Wald

Die Rutschungsanrisse wurden für vier Niederschlagsszenarien mit dem Modell SOSlope, welches explizit den Effekt der Wurzelverstärkung auf die Hangstabilität berücksichtigt, gerechnet. Die generierten Anrissgebiete je Szenario dienten als Startgebiete für die Modellierung des Auslaufs mit dem Modell M-Flow, womit die Grundlage für die Intensitätskarten generiert wurden. Die Risikoanalyse wurde in EconoMe 4.0 auf Basis der Intensitätskarten je Fallstudiengebiet und den daraus berechneten betroffenen Gleisabschnitten je nach Szenarien durchgeführt.

In den drei gewählten Fallstudien ist die Relevanz des Waldes gegeben und die Zuverlässigkeit erfüllt. Die jährlichen Risiken und deren Reduktion dank der Waldwirkung unterscheiden sich deutlich je Fallstudie. Insgesamt ist mit Wald im Durchschnitt ca. 40 bis 70 % weniger Streckenlänge betroffen im Vergleich zu einer Situation ohne Wald und die Intensität je Szenario reduziert sich, v.a. im 10- und 30-jährlichen Szenario. Die Resultate der Risikoanalysen zeigen, dass der Wald in allen drei Untersuchungsgebieten das Risiko massgeblich und kostenwirksam reduziert. Zwischen den Fallstudiengebieten bestehen aber grosse monetäre Unterschiede: So beträgt die jährliche Risikoreduktion in Gambarogno knapp 10'000.-/Jahr, während es im Langnauerwald über 100'000.-/Jahr sind. Die grossen Unterschiede lassen sich auf das jeweils relevante Schadenpotenzial sowie das betroffene Schadenausmass nach Szenarien zurückführen. Das Nutzen-Kosten-Verhältnis der Maßnahme Schutzwald liegt bei 1.4 in Gambarogno und bei 21 bzw. 44 im Entlebuch. Die waldbauliche Beurteilung und Herleitung des Handlungsbedarfs je Fallstudien-Gebiet ist im Bericht ausführlich beschrieben.

Für flachgründige Rutschungen wurden bislang keine Studien durchgeführt, welche diesen Ansatz von der Grobbeurteilung bis hin zur Risiko- und Kostenwirksamkeitsanalyse anwenden. Bislang hat sich die Gefahrenanalyse von flachgründigen Rutschungen darüber hinaus in der Praxis mehrheitlich auf gutachterliche Beurteilungen beschränkt. In diesem Pilotprojekt haben wir versucht, das Potenzial der neuen Kenntnisse und Werkzeuge zu nutzen, um Eintretenswahrscheinlichkeiten mit und ohne Wald nachvollziehbar und objektiv zu rechnen. Ein zusätzlicher Vorteil ist dabei die Reproduzierbarkeit des Vorgangs. Die angewandten Modellierungswerkzeuge sowie die ihnen zugrundeliegenden Kenntnisse bieten somit eine gute Basis für die künftig standardisierte und objektivere Beurteilung von Rutschgefahren mit und ohne Berücksichtigung des Waldes.

## Résumé

Afin de démontrer la contribution de la forêt protectrice à la réduction des risques sur les installations et l'exploitation ferroviaires des CFF SA, ce projet a quantifié l'impact de la forêt sur les glissements de terrain superficiels et déterminé sa rentabilité au moyen d'une analyse des risques. Le terme "glissement de terrain superficiel" décrit la mobilisation d'une masse avec une épaisseur inférieure à 2 m, qui peut se propager sous la forme d'un processus de glissement ou d'écoulement ("coulée de boue de versant").

Dans cette étude, une méthode basée sur les concepts et principes de PROTECT Bio a été choisie, suivant laquelle la forêt est évaluée de manière analogue aux mesures techniques selon la méthode PROTECT (PLANAT). La procédure générale de PROTECT Bio consiste en une évaluation sommaire, l'évaluation de la mesure et l'analyse d'impact. De plus, une analyse des risques comprenant une analyse coût-efficacité des mesures sylvicoles ainsi que l'évaluation et la planification des mesures sylvicoles ont été effectuées dans le cadre de cette étude. La procédure a été présentée à l'aide de trois études de cas (Gambarogno TI, Langnauerwald et Schächliwald dans l'Entlebuch LU).

Dans la version actuelle de PROTECT Bio concernant les glissements de terrain superficiels, la pertinence de la forêt de protection dans l'évaluation sommaire doit être déterminée en fonction du degré de couverture et des trouées dans la zone d'arrachement. L'objectif de l'évaluation de la mesure est de déterminer la fiabilité de la mesure en ce qui concerne son effet sur le processus de danger considéré sur la base de la sécurité structurale, de l'aptitude au service et de la durabilité. L'analyse d'impact a été réalisée sur la base des étapes de travail suivantes :

1. L'acquisition et l'élaboration des données et informations de base
2. La modélisation et évaluation de l'arrachement et de la propagation des glissements sans forêt
3. La modélisation et l'évaluation de l'arrachement et de la propagation des glissements pour la situation actuelle des forêts

Les arrachements de glissement ont été calculés pour quatre scénarios de précipitations à l'aide du modèle SOSlope, qui tient explicitement compte de l'effet du renforcement des racines sur la stabilité des pentes. Les zones d'arrachement générées pour chaque scénario ont servi de zones de départ pour la modélisation de la propagation des coulées avec le modèle M-Flow, générant ainsi la base pour les cartes d'intensité. L'analyse des risques a été réalisée dans EconoMe 4.0 sur la base des cartes d'intensité et des sections de voie touchées en fonction des différents scénarios par étude de cas.

Pour les trois études de cas sélectionnées, la pertinence de la forêt est donnée et la fiabilité est assurée. Les risques annuels, ainsi que leur réduction grâce au l'effet forestier, diffèrent considérablement d'une étude de cas à l'autre. En moyenne, avec forêt, la longueur des sections de voie touchée diminue avec 40 à 70 % comparé à une situation sans forêt. De plus, l'intensité par scénario est réduite, surtout dans les scénarios 10 et 30 ans. Les résultats des analyses de risques montrent que la forêt réduit de manière significative et rentable le risque dans les trois cas d'étude. Cependant, il existe de grandes différences monétaires : la réduction annuelle des risques à Gambarogno, par exemple, est d'un peu moins de 10'000 CHF par an, tandis qu'à Langnauerwald, elle dépasse 100'000 CHF par an. Les différences importantes peuvent être attribuées au potentiel de dommages et à l'ampleur des sections de voies touchées selon les scénarios. Le rapport bénéfice-coût de la mesure forêt protectrice est de 1,4 à Gambarogno et de 21 et 44 respectivement à Entlebuch. L'évaluation sylvicole et la planification des interventions futures sont décrites en détail par étude de cas dans le rapport.

Pour les glissements de terrain superficiels, aucune étude n'a été effectuée à ce jour qui applique cette approche, de l'évaluation sommaire à l'analyse des risques et de la rentabilité. Jusqu'à présent, l'analyse des risques de glissements de terrain superficiels s'est généralement limitée à la pratique des évaluations d'experts. Dans ce projet pilote, nous avons essayé d'utiliser le potentiel des nouvelles connaissances et des nouveaux outils pour calculer les probabilités d'occurrence avec et sans forêt d'une manière compréhensible et objective. Un autre avantage de cette approche est la reproductibilité des résultats. Les outils de modélisation appliqués et les connaissances sous-jacentes offrent ainsi une bonne base pour des futures évaluations de risque de glissement standardisées et plus objectives avec et sans prise en compte de la forêt.

## Riassunto

Al fine di mostrare il contributo del bosco di protezione alla riduzione dei rischi lungo le linee ferroviarie della FFS SA, in questo progetto si è quantificato l'effetto del rinforzo dovuto alle radici sulla stabilità delle frane superficiali ed il suo valore economico è stato calcolato sulla base dell'analisi del rischio. Il termine "frana superficiale" descrive la mobilizzazione di una massa di suolo con uno spessore inferiore a 2 m, che può propagarsi sotto forma di un fenomeno di scivolamento o di deflusso ("colata di fango"). In questo studio, è stato scelto un metodo basato sui concetti e principi di PROTECT Bio, in base al quale l'effetto della foresta viene valutato in modo simile alle misure tecniche secondo il metodo PROTECT (PLANAT). La procedura generale di PROTECT Bio consiste in una valutazione sommaria, una valutazione della misura e un'analisi dell'impatto. Inoltre, nell'ambito di questo studio è stata condotta un'analisi dei rischi che include un'analisi costi-benefici delle misure selvicolturali nonché la valutazione e la pianificazione di misure selvicolturali. La procedura è stata presentata utilizzando tre casi di studio (Gambarogno TI, Langnauerwald e Schächliwald in Entlebuch LU).

Nell'attuale versione di PROTECT Bio per le frane superficiali, l'effetto della foresta di protezione nella valutazione sommaria dovrebbe essere determinato dal grado di copertura e dalle dimensioni delle radure nella zona di distacco. L'obiettivo della valutazione della misura è determinare l'affidabilità della misura rispetto al suo effetto sul processo di pericolo considerando la sicurezza strutturale, l'utilizzabilità della struttura e la sua durabilità. La valutazione è stata effettuata sulla base delle seguenti fasi di lavoro:

1. Acquisizione e sviluppo di dati e informazioni di base
2. Modellizzazione e valutazione del distacco e della propagazione di frane senza foresta
3. Modellizzazione e valutazione del distacco e della diffusione delle frane per l'attuale situazione di copertura forestale

La propagazione delle frane è stata calcolata per quattro scenari di precipitazione utilizzando il modello SOSlope, che considera esplicitamente l'effetto del rinforzo dovuto alle radici sulla stabilità del pendio. Le aree di distacco ed i volumi di frane calcolati per ogni scenario sono serviti come informazione di partenza per modellare la propagazione delle colate con il modello M-Flow, generando così la base per le carte d'intensità. L'analisi del rischio è stata condotta in EconoMe 4.0 sulla base delle carte d'intensità considerando le sezioni di ferrovia interessate dal processo in ogni tipo di scenario.

Per i tre casi di studio selezionati, l'effetto delle radici è considerato rilevante e l'affidabilità dell'effetto protettivo del bosco è assicurata. I rischi annuali, nonché la loro riduzione dovuta all'effetto del bosco, differiscono notevolmente da un caso studio all'altro. In media, con il bosco, la lunghezza dei tratti di ferrovia interessata dai fenomeni franosi superficiali diminuisce dal 40 al 70% rispetto a una situazione senza bosco. Inoltre, l'intensità dell'accumulo per ogni scenario è ridotta, specialmente negli scenari con un tempo di ritorno di 10 e 30 anni. I risultati delle analisi dei rischi mostrano che il bosco riduce in modo significativo e conveniente il rischio nei tre casi di studio. Tuttavia, vi sono grosse differenze monetarie: ad esempio, la riduzione del rischio annuale nel Gambarogno è di poco inferiore a CHF 10'000 all'anno, mentre nel Langnauerwald è di oltre CHF 100.000 all'anno. Differenze significative possono essere attribuite al potenziale di danno e alla lunghezza delle tratte ferroviarie interessate dai vari scenari. Il rapporto costi-benefici delle misure selvicolturali nei boschi di protezione è 1,4 in Gambarogno, 21 in Schächliwald e 44 in Langnauerwald. La valutazione e la pianificazione selvicolturale per gli interventi futuri sono descritte in dettaglio in ogni caso di studio nel rapporto.

L'approccio descritto in questo progetto è stato applicato per la prima volta per il fenomeno di frane superficiali. Finora, l'analisi del rischio di frana superficiale nella pratica si basa soprattutto sulla valutazione oggettiva degli esperti. In questo progetto pilota, si è cercato di utilizzare il potenziale di nuove conoscenze e strumenti per calcolare le probabilità dei fenomeni franosi con e senza l'effetto del bosco in modo comprensibile e oggettivo. Un altro vantaggio di questo approccio è la riproducibilità dei risultati. Gli strumenti di modellizzazione applicati e le conoscenze sottostanti forniscono quindi una buona base per future valutazioni di rischio di scivolamento standardizzate e più oggettive considerando l'effetto del bosco di protezione.

# 1 Einleitung

## 1.1 Ausgangslage

Schutzwälder sind als biologische Schutzmassnahme ein zentrales Element im integralen Naturgefahrenmanagement. Auf einer Gesamtlänge von rund 340 km schützen Wälder das Bahnnetz der Schweizerischen Bundesbahnen SBB (SBB, 2013). Als Anlagebetreiberin ist die SBB für die Sicherheit verantwortlich und investiert für die regelmässige Pflege dieser Schutzwälder jährlich rund CHF 2 Mio. Den Kosten für die Schutzwaldbewirtschaftung steht der Nutzen gegenüber, welcher der Schutzwald zur Reduktion des Risikos erbringen kann. Mit dem Projekt „Wirkung des Waldes gegen flachgründige Rutschungen und Risikoreduktion auf Bahnanlagen und Bahnbetrieb der SBB AG“ soll aufgezeigt werden, was der Beitrag des Schutzwaldes an der Reduktion des Risikos wegen flachgründigen Rutschungen für das Eintreten eines Schadens an konkreten Objekten ist. Unter dem Begriff «flachgründige Rutschung» verstehen wir dabei die Mobilisierung einer Masse mit Mächtigkeit <2 m, welche sich im Auslauf als Gleitprozess oder Fliessprozess («Hangmure») entwickeln kann. In diesem Bericht wird stets der Begriff «flachgründige Rutschung» verwendet.

In dieser Studie soll die Kostenwirksamkeit quantifiziert werden, um einen Beitrag des Schutzwaldes an die Risikoreduktion des SBB Bahnnetzes nachweisen zu können. Durchgeführt wurden die Analysen anhand von drei Fallstudien in zwei verschiedenen Regionen (Gambarogno TI, Entlebuch LU), welche in Absprache mit den Schweizerische Bundesbahnen (SBB) und dem Bundesamt für Umwelt (BAFU) ausgewählt wurden. Das Projekt ist in folgende fünf Hauptphasen unterteilt: Gefahrenanalyse, Risikoanalyse, Kostenwirksamkeitsanalyse von waldbaulichen Massnahmen, forstliche Massnahmenplanung und Synthese.

## 1.2 Projektziele

Das Ziel dieses Projektes ist es aufzuzeigen, was der Beitrag des Schutzwaldes gegen flachgründige Rutschungen an der Reduktion des Risikos für das Eintreten eines Schadens an konkreten Objekten ist (an definierten Standorten und mit einem bestimmten Waldzustand). Damit soll die Kostenwirksamkeit quantifiziert werden, um einen Beitrag des Schutzwaldes an die Risikoreduktion des SBB Bahnnetzes nachweisen zu können.

Konkret ging es nach dem Festlegen der definitiven Waldperimeter darum,

- die bestehenden Grundlagen zu verifizieren
- eine Grob- und Massnahmenbeurteilung gemäss PROTECT Bio vorzunehmen
- die Schutzwirkung mit verschiedenen Szenarien zu ermitteln (Wirkungsbeurteilung), sowohl für 10-jährliche, 30-jährliche, 100-jährliche wie auch 300-jährliche Ereignisse mit folgenden Szenarien:
  - o ohne Wald
  - o mit Wald (aktueller Waldzustand)
- die Berechnungstools SOSlope und M-Flow anzuwenden, um Anriss und Auslauf von flachgründigen Rutschungen modellieren zu können
- eine Risikoanalyse durchzuführen und die Kostenwirksamkeit des Schutzwaldes aufzuzeigen und
- schliesslich die forstlichen Massnahmen zu planen, um langfristig die bestmögliche Schutzwirkung durch den Wald sicherzustellen.

## 1.3 Aufbau des Berichts

Der Schlussbericht ist wie folgt aufgebaut: Nach einer allgemeinen Einführung der Fallstudiengebiete (Gambarogno TI, Langnauerwald LU, Schächliwald LU), werden die angewendeten Methoden beschrieben (Definitionen, Modellierungsansätze, Schritte der Gefahrenbeurteilung, Risikoanalyse) und schliesslich die Resultate je Fallstudiengebiet präsentiert und diskutiert.

## 2 Methodik PROTECT Bio

### 2.1 Allgemeines

Um den Beitrag des Schutzwaldes zur Risikoreduktion abschätzen zu können, wurde eine auf den Überlegungen/Grundsätzen von PROTECT Bio basierte Vorgehensweise gewählt. Mit PROTECT Bio wurde eine Methodik zur Beurteilung der Wirkung biologischer Schutzmassnahmen gegen Naturgefahren als Grundlage für ihre Berücksichtigung bei Risikoanalysen geschaffen (vgl. Wasser und Perren 2014). Der Wald wird dabei analog zu technischen Massnahmen gemäss PROTECT beurteilt. Das Vorgehen besteht dabei aus den folgenden drei Schritten:

- 1) Grobbeurteilung
- 2) Massnahmenbeurteilung
- 3) Wirkungsbeurteilung

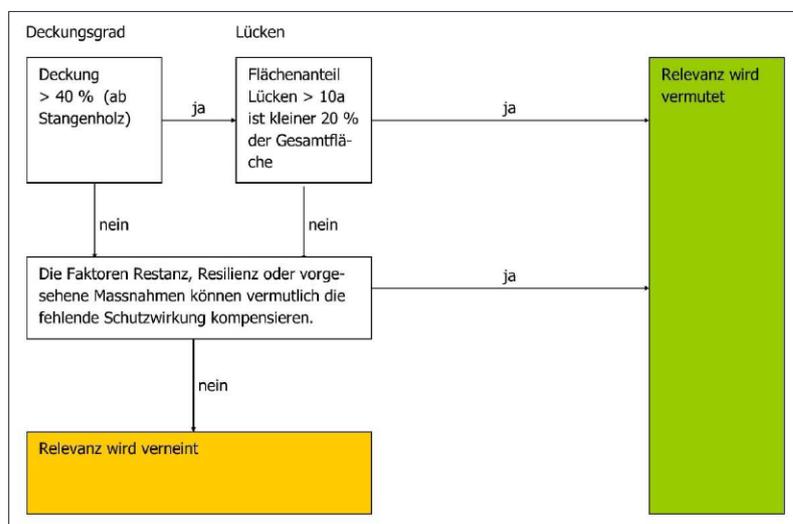


Abbildung 1: Vorgehensschema Grobbeurteilung Schutzwald – Rutschung Entstehungsgebiet (Perren und Wasser 2014).

#### Grobbeurteilung

Für flachgründige Rutschungen wird die Relevanz des Schutzwaldes im Entstehungsgebiet gemäss PROTECT Bio anhand von Deckungsgrad und Lücken beurteilt (Abbildung 1).

#### Massnahmenbeurteilung

Ziel der Massnahmenbeurteilung ist die Bestimmung der Zuverlässigkeit der Massnahme hinsichtlich ihrer Wirkung auf den betrachteten Gefahrenprozess anhand der Kriterien „Tragsicherheit“, „Gebrauchstauglichkeit“ und „Dauerhaftigkeit“ (Abbildung 2).

Sie erfolgt auf Basis des betrachteten Gefahrenprozesses und entsprechender Szenarien, der Massnahme (Wald) sowie ihrem aktuellen Zustand, festgelegten Nutzungsanforderungen und vorhandenen Gefährdungsbildern.

#### Tragsicherheit

Es wird davon ausgegangen, dass die Tragfähigkeit des Waldes erreicht wird, wenn der Wald den Anforderungsprofilen ideal gemäss NaiS (Frehner et al. 2005) entspricht (Perren und Wasser 2014). Berwert et al. (2010) schlagen für Rutschungen eine entsprechende Bewertung der Wälder anhand der Kriterien Entwicklungsstufe, Baumarten-mischung, Deckungsgrad und Stabilität vor. Gemäss Berwert et al. (2010) ist die Tragsicherheit erfüllt, wenn die minimalen Anforderungen erfüllt sind.

#### Gebrauchstauglichkeit

Die Anforderungen an die Gebrauchstauglichkeit ergeben sich im Falle von Schutzwald aus der natürlichen Leistungsfähigkeit des Waldes – entscheidend ist der effektive, aktuelle Zustand des Schutzwaldes im Vergleich mit dem Anforderungsprofil minimal gemäss NaiS in Bezug auf den

betrachteten Naturgefahrenprozess (Perren und Wasser 2014). Berwert et al. (2010) schlagen für die Beurteilung der Gebrauchstauglichkeit in Schutzwäldern gegen Rutschungen die Kriterien Baumartenmischung, Deckungsgrad, Lücken und Stabilitätsträger vor.

### Dauerhaftigkeit

Bei der Beurteilung der Dauerhaftigkeit geht es darum, dass die Anforderungen an Tragsicherheit und Gebrauchstauglichkeit über längere Zeit erfüllt bleiben. Entscheidend ist im Schutzwald deshalb sein aktueller Zustand und davon ausgehend seine zukünftige Entwicklung in den nächsten mindestens 50 Jahren. Je Szenario wird die Dauerhaftigkeit als gegeben betrachtet, wenn die künftige Waldentwicklung den Anforderungen Naturgefahren minimal gemäss NaiS entsprechen, die zukünftige Entwicklung der Verjüngung zielgerecht ist und die Wahrscheinlichkeit des Eintretens von Gefährdungsbildern mit wesentlichen Schäden am Wald gering ist (Perren und Wasser 2014). Berwert et al. (2010) haben für Rutschungen festgelegt, dass die Dauerhaftigkeit erfüllt ist, wenn 1) die minimalen Anforderungen an die Tragsicherheit und Gebrauchstauglichkeit in den nächsten 50 Jahren erfüllt sind, 2) die Wahrscheinlichkeit eines relevanten Gefährdungsbildes gering ist und 3) die Anforderungen an die Verjüngung erfüllt sind bzw. diese in den nächsten 50 Jahren etablierbar ist.

Zusammenfassend lässt sich die Massnahmenbeurteilung also auf Basis der waldbaulichen Beurteilung der Schutzwirkung (z.B. mit Hilfe des Formulars 2 nach NaiS) beurteilen. Tabelle 1 gibt einen Überblick über die jeweils relevanten Kriterien.

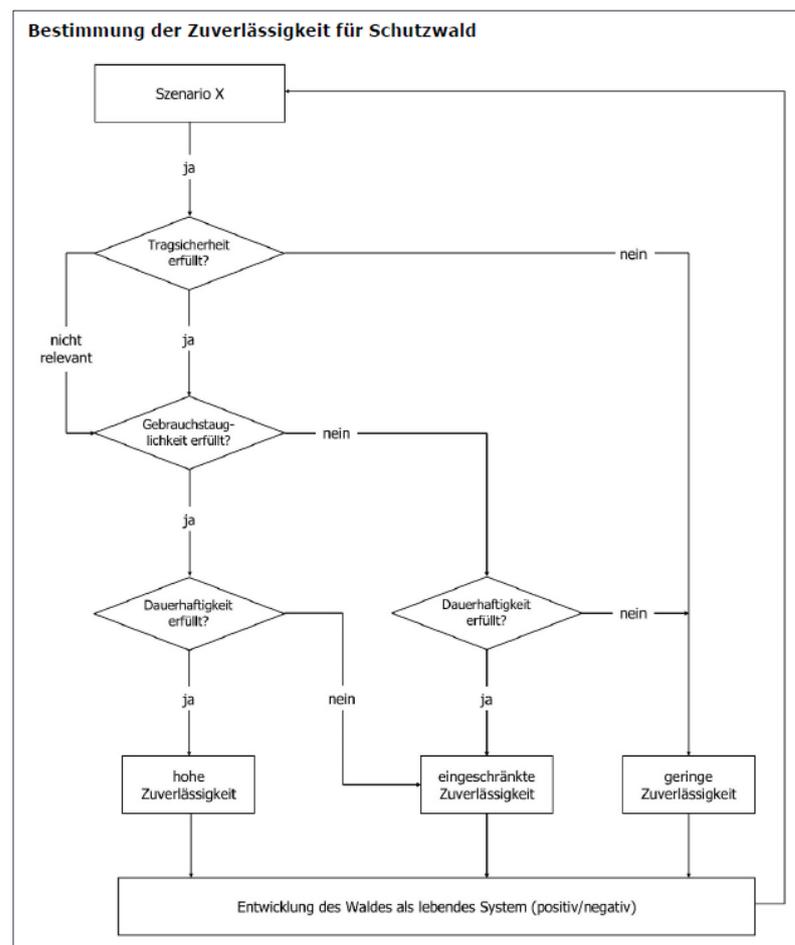


Abbildung 2: Bestimmung der Zuverlässigkeit (Perren und Wasser 2014).

Tabelle 1: Zusammenfassende Übersicht Massnahmenbeurteilung gemäss PROTECT Bio für flachgründige Rutschungen. Grau hinterlegt sind jene Zellen, deren Beurteilung für das jeweilige Kriterium nicht massgebend ist.

	<b>Tragfähigkeit</b>	<b>Gebrauchstauglichkeit</b>	<b>Dauerhaftigkeit</b>
	Erfüllt, wenn Anforderungen minimal erreicht	Erfüllt, wenn Anforderungen minimal erreicht	Erfüllt, wenn künftige Entwicklung (50J.) Anforderungen minimal erreicht bzw. Verjüngung etablierbar ist
Baumartenmischung	Anforderungen minimal erfüllt	Anforderungen minimal erfüllt	Entwicklungstendenzen erfüllen Anforderungen minimal
Entwicklungsstufen	Anforderungen minimal erfüllt		
Deckungsgrad	Deckungsgrad über gesamte Fläche erfüllt	Anforderungen minimal erfüllt	Entwicklungstendenzen erfüllen Anforderungen minimal
Lücken		Anforderungen minimal erfüllt	Entwicklungstendenzen erfüllen Anforderungen minimal.
Stabilität	Anforderungen minimal erfüllt	Anforderungen minimal erfüllt	Entwicklungstendenzen erfüllen Anforderungen minimal bzw. können mit Eingriff korrigiert werden
Verjüngung zielgerecht bzw. in nächsten 50 Jahren etablierbar			Entwicklungstendenzen erfüllen Anforderungen minimal bzw. können mit Eingriff korrigiert werden
Wahrscheinlichkeit Gefährdungsbilder mit wesentlichen Schäden			Wahrscheinlichkeit für Gefährdungsbilder mit wesentlichen Schäden klein
<b>Anforderung bzgl. Kriterien erfüllt</b>	<b>Tragsicherheit erfüllt</b> <input checked="" type="checkbox"/>	<b>Gebrauchstauglichkeit erfüllt</b> <input checked="" type="checkbox"/>	<b>Dauerhaftigkeit erfüllt</b> <input checked="" type="checkbox"/>

### Wirkungsbeurteilung

Mit der Wirkungsbeurteilung wird der Einfluss des Schutzwaldes auf den Gefahrenprozess unter Berücksichtigung seiner Zuverlässigkeit quantifiziert. Die Gefahrenbeurteilung wird dabei für die verschiedenen Wirkungsszenarien vorgenommen, so dass daraus Intensitätskarten abgeleitet werden können.

### 2.2 Anwendung und Anpassung der Methode PROTECT Bio im vorliegenden Projekt

Die im Rahmen des vorliegenden Projekts angewendete Methode zur Quantifizierung der Risikoreduktion auf Bahnanlagen und -betrieb an drei verschiedenen Fallbeispielen richtet sich im Grundsatz nach dem vorangehend beschriebenen Vorgehen gemäss PROTECT Bio.

Die **Wirkungsbeurteilung** basiert dabei auf einer detaillierten und dem heutigen Stand des Wissens angepassten Methodik zur Quantifizierung der Waldwirkung gegen flachgründige Rutschungen, welche dem heutigen Stand der Forschung entspricht. In Kapitel 3 wird diese angepasste Methodik im Detail erläutert.

## 3 Methode Wirkungsbeurteilung und Risikoanalyse

### 3.1 Allgemeines Vorgehen

Aufgrund der spezifischen Anforderungen und Ansätzen des Projekts kann das gewählte Vorgehen in folgende Hauptphasen unterteilt werden (vgl. Abbildung 3):

- Beurteilungsschritte gemäss PROTECT Bio:
  - o Grobbeurteilung
  - o Massnahmenbeurteilung
  - o Wirkungsbeurteilung
- Risikoanalyse inkl. Kostenwirksamkeitsanalyse der waldbaulichen Massnahmen
- Evaluation und Planung waldbaulicher Massnahmen

Nachfolgend werden die gewählten Methoden und Modellierungsansätze zur Wirkungsbeurteilung, der Risikoanalyse sowie der forstlichen Massnahmenplanung erläutert. Die spezifischen Details zum Vorgehen, den hergeleiteten Werten und verwendeten Eingangsgrössen je Fallstudiengebiet sind in den entsprechenden Anhängen beschrieben bzw. in den Resultaten je Fallstudie dargelegt.

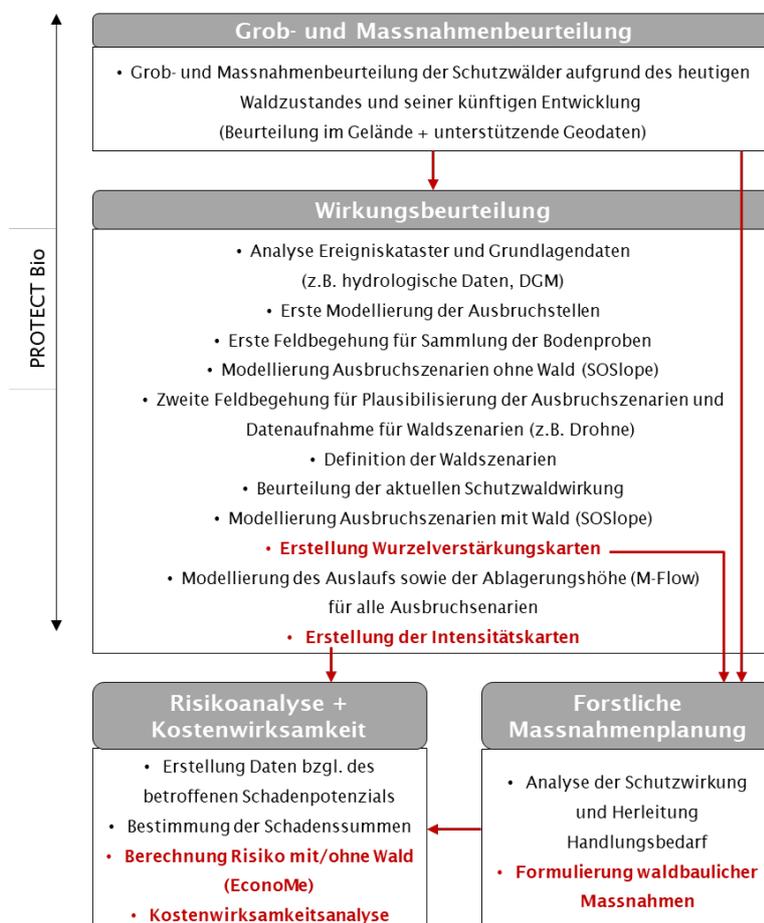


Abbildung 3: Ablaufschema zum allgemeinen Vorgehen mit den Hauptteilen zur Grob- und Massnahmenbeurteilung, Wirkungsbeurteilung, Risikoanalyse inkl. Kostenwirksamkeitsanalyse und waldbauliche Massnahmenplanung. Rot hervorgehoben sind die wichtigsten Resultate der Analysen.

### 3.2 Methodik Wirkungsbeurteilung

Die Wirkungsbeurteilung beinhaltet die Gefahrenanalyse sowie die Szenarienwahl. Folgende Arbeitsschritte sind dabei relevant:

1. Beschaffung und Aufbereitung der Grundlagen
2. Modellierung und Beurteilung von Anriss und Auslauf - inkl. Definition der Szenarien - für die Erstellung der Intensitätskarten ohne Wald
3. Definition der Waldszenarien und Berechnung der Intensitätskarten für die jeweilige Situation mit dem heutigen Waldzustand

Hauptresultat der Wirkungsbeurteilung sind die jeweiligen Intensitätskarten (10-, 30-, 100- und 300-jährliches Ereignis) pro Fallstudiengebiet, jeweils berechnet ohne Wald bzw. für die jeweilige Situation mit Wald (heutiger Zustand). Ein weiteres Produkt der Wirkungsbeurteilung sind die Karten der Wurzelverstärkung – diese können bei Bedarf als Grundlagen für die Detailplanung von waldbaulichen Massnahmen dienen.

#### 3.2.1 Beschaffung und Aufarbeitung der Grundlagen

Für die Gefahrenanalyse mussten in einem ersten Schritt verschiedene Grundlagen beschaffen und aufgearbeitet werden. Dies beinhaltet:

- Sammeln der allgemeinen Grundlagen (Digitales Geländemodell DGM, HADES, Geologie)
- Sichtung Ereigniskataster
- Erste Simulation zur groben Abgrenzung der gefährdeten Gebiete mit dem Modell SOSlope
- Feldbegehung zur Prüfung der Grundlagen, Fotos, Sammlung Bodenproben für Siebanalyse, Beurteilung Bodeneigenschaften, Bodenmächtigkeit und Beurteilung von Förderfaktoren.

#### 3.2.2 Gefahrenanalyse: Modellierung und Beurteilung von Anriss und Auslauf von flachgründigen Rutschungen

Zur Simulation möglicher Rutschungsereignisse in den untersuchten Projektperimetern kommen zwei verschiedene Modelle zur Anwendung: SOSlope für den Anriss sowie M-Flow für den Auslauf. Dabei wird 1) zuerst in SOSlope die Verschiebung des Bodenmaterials modelliert und auf Basis dieser Verschiebungen 2) die Anrissgebiete in GIS digitalisiert. Anhand der Anrissgebiete werden mit Hilfe von M-Flow 3) Auslauf und Mächtigkeit sowie 4) deren Erreichswahrscheinlichkeit simuliert und daraus 5) die Intensitätskarten abgeleitet (vgl. Abbildung 4).

Nachfolgend werden die Simulationen allgemein beschrieben. Die entsprechenden Detailschritte zum Vorgehen sind in Anhang A (SOSlope) und B (M-Flow) aufgeführt.

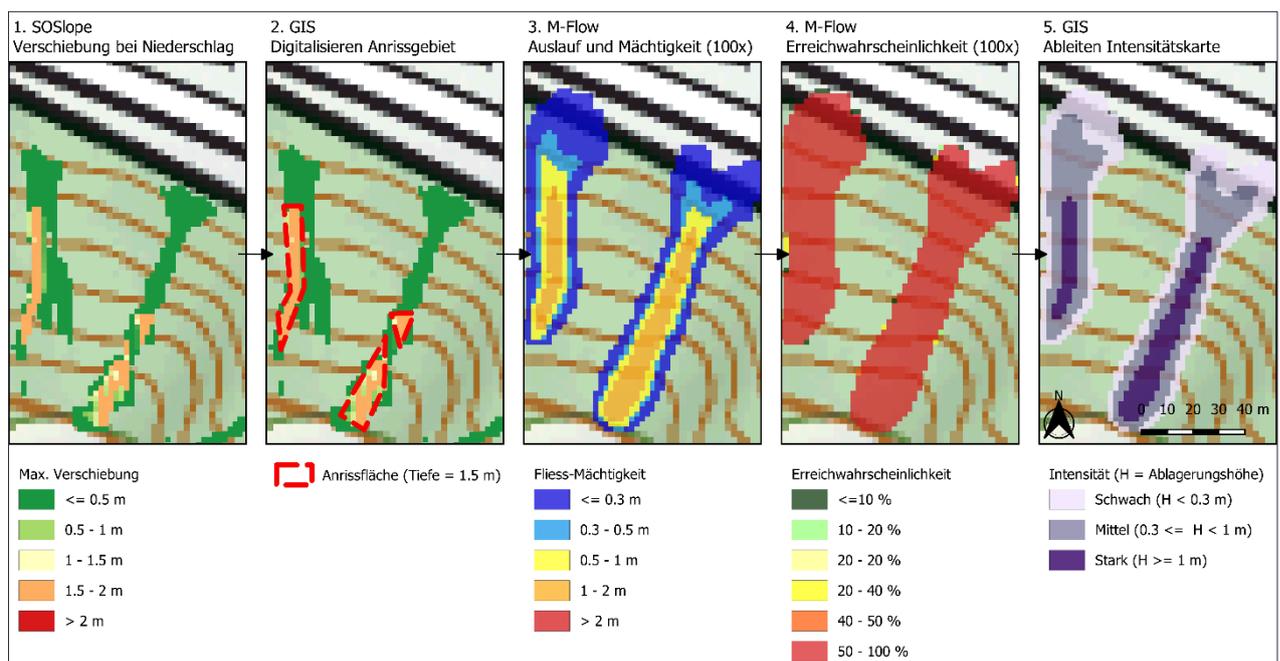
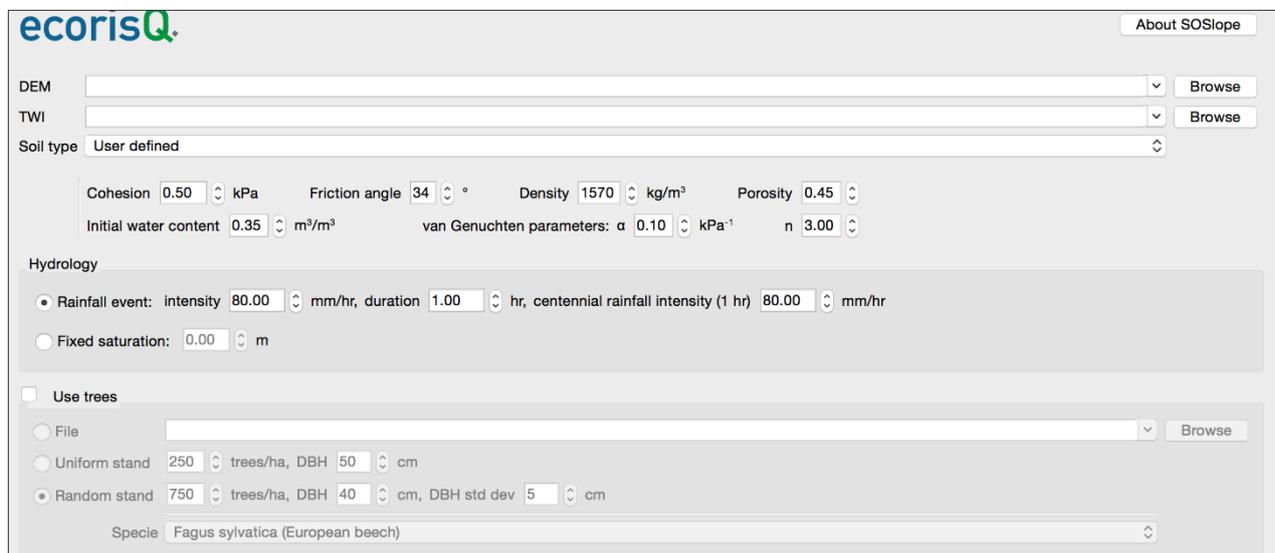


Abbildung 4: Visualisierung der Arbeitsschritte mit SOSlope und M-Flow zur Erstellung der Intensitätskarten.

## Anriss (SOSlope)

Anrisswahrscheinlichkeit und -volumen (Dimensionen) von flachgründigen Rutschungen werden mit Hilfe des Modells SOSlope berechnet, welches auf dem sogenannten Feder-Block-Ansatz basiert. Das Untersuchungsgebiet wird in Blöcke unterteilt und jeder einzelne Block ist durch „Federn“ mit der Gleitfläche und mit den Nachbarblöcken verbunden. Für diese Studie wurde eine Flächengrösse der einzelnen Blöcke von 2x2m verwendet. Simuliert werden die Kräfteverteilung und Verformungen der Rutschungen unter Berücksichtigung verschiedener Faktoren wie Gelände, lokale Bodeneigenschaften, Wald und hydrologische Szenarien (vgl. Cohen und Schwarz 2017). Die Verstärkung der Wurzeln unter Zug- und Druckbelastungen ist mit dem Root Bundle Model RBM berechnet. Dieses beschreibt die laterale Wurzelverstärkung (Schwarz et al. 2017b) je nach Baumart und dessen Brusthöhendurchmesser (BHD) in Abhängigkeit der Distanz zum Baum (Schwarz et al. 2013; Cohen und Schwarz 2017). Abbildung 5 zeigt die Anwendungsoberfläche von SOSlope, in welche die Inputs für die Modellierung eingegeben werden. Diese bestehen aus einem digitalen Oberflächenmodell, der Karte des „Topographic Wetness Index“, dem Bodentyp sowie der Niederschlagsdauer und -Intensität.



The screenshot displays the SOSlope software interface. At the top left is the 'ecorisQ' logo, and at the top right is an 'About SOSlope' button. The interface is organized into several sections:

- DEM and TWI:** Two input fields with 'Browse' buttons.
- Soil type:** A dropdown menu currently set to 'User defined'.
- Material Properties:** A row of input fields for Cohesion (0.50 kPa), Friction angle (34 °), Density (1570 kg/m³), and Porosity (0.45). Below this is a row for Initial water content (0.35 m³/m³) and van Genuchten parameters:  $\alpha$  (0.10 kPa<sup>-1</sup>) and  $n$  (3.00).
- Hydrology:** A section with two radio buttons. The first is 'Rainfall event:' with sub-inputs for intensity (80.00 mm/hr), duration (1.00 hr), and centennial rainfall intensity (1 hr) (80.00 mm/hr). The second is 'Fixed saturation:' (0.00 m).
- Use trees:** A section with a 'File' dropdown and 'Browse' button, and two radio buttons for 'Uniform stand' (250 trees/ha, DBH 50 cm) and 'Random stand' (750 trees/ha, DBH 40 cm, DBH std dev 5 cm).
- Species:** A dropdown menu currently set to 'Fagus sylvatica (European beech)'.

Abbildung 5: Anwendungsoberfläche SOSlope (<http://www.ecorisq.org/ecorisq-tools>)

Der am schwierigsten zu schätzende Parameter für die Simulationen ist die effektive Bodenkohäsion. Um einen plausiblen Wert festzulegen, wurde in einer ersten Simulation (Szenario „ohne Wald“) ein einstündiges Niederschlagsereignis mit der geschätzten 1-jährlichen Intensität sowie trockener oder feuchter Vorfeuchte („initial water content“ = 15 bis 35 % je nach Gebiet) verwendet und anschließend die effektive Bodenkohäsion im Modell so angepasst, dass keine Rutschungen mehr entstehen. Der so bestimmte Wert der Kohäsion wurde für die weiteren Berechnungen verwendet. Aus der Erfahrung mit der Anwendung von SOSlope hat sich dieses Verfahren als bestes ergeben für die Erzeugung von plausiblen Resultaten.

Eine detaillierte Zusammenstellung der verwendeten Grundlagen der SOSlope-Modellierung befindet sich in Anhang A.

Die Anrissgebiete je Szenario werden schliesslich aufgrund der resultierenden Verschiebung (> 1.5 m hangparallel) festgelegt. Anrissgebiete, welche mehr als 1.5 m Verformung zeigen, mussten nach Berechnung einen Sicherheitsfaktor (SF) < 1.2 aufweisen. Dieser ist berechnet als Quotient zwischen stabilisierenden und destabilisierenden Kräften. Die generierten Anrissgebiete je Szenario dienen als Eingangsgrösse für die Modellierung des Auslaufs mit M-Flow. Die Jährlichkeiten der Szenarien sind dabei aufgrund der Niederschlagsstatistik definiert (Werte aus HADES, vgl. Kapitel 3.2.3).

## Auslauf (M-Flow)

Mit dem Modell M-Flow, welches auf einem physikalisch-probabilistischen Ansatz von Horton et al. (2013) basiert, können Auslaufbereiche und die dazugehörigen Ablagerungsmächtigkeiten und Drücke von flachgründigen Rutschungen simuliert werden. In M-Flow wird das Gelände durch ein hoch aufgelöstes digitales Geländemodell (DGM) repräsentiert. Auch hier wurde eine Auflösung von 2x2 m verwendet. Durchlässe sind in einem DGM nicht enthalten. Deshalb muss je Szenario und pro Durchlass entschieden werden, ob entweder Verklausung auftritt (und der Durchlass damit vernachlässigt werden kann) oder ob die gesamte Rutschmasse durchfließt. Im letzten Fall wäre es nötig, das DGM lokal anzupassen.

Die Ausbreitung der flachgründigen Rutschungen von einer Zelle zu benachbarten Zellen wird mittels eines multiplen fließrichtungsbasierten Algorithmus für die Massenverteilung berechnet. Die Gradienten zwischen den benachbarten Zellen, welche die Neigung des Geländes repräsentieren, stellen eine wichtige Grösse in der Berechnung der möglichen Fließrichtungen pro Zelle, und damit der Massenverteilung, dar. Mittels einer Vielzahl an Einzelsimulationen, bei welchen die berechneten Gradienten jeweils einer zufälligen Variation im Geländemodell von 0 - 10 cm unterliegen, wird eine aussagekräftige Reichweitenwahrscheinlichkeit berechnet, welche beispielsweise auch ausgesprochen lange Auslaufdistanzen berücksichtigt.

Mit den in M-Flow simulierten Auslaufszenerarien können auf Basis der auf der Bahnlinie zu erwartenden Erreichenswahrscheinlichkeit und Mächtigkeiten (siehe Abschnitt Intensitätsstufen auf der nachfolgenden Seite) schliesslich die Intensitätskarten pro Wiederkehrdauer erstellt werden. Dazu werden die modellierten Mächtigkeiten verifiziert und arrondiert, damit gut lesbare Intensitätskarten entstehen. Diese werden für die Risikoberechnung im GIS mit der Bahnlinie verschnitten, damit die Längen der betroffenen Abschnitte und die dazugehörigen Intensitäten pro Szenario berechnet werden können.

Nachfolgende Grafik (Abbildung 6) fasst die wichtigsten In- und Outputs zur Modellierung der Anrissgebiete (SOSlope) sowie des Auslaufs (M-Flow) schematisch zusammen. Es wird dabei stets mit dem Dateiformat ESRI ASCII Raster (.asc) gearbeitet.

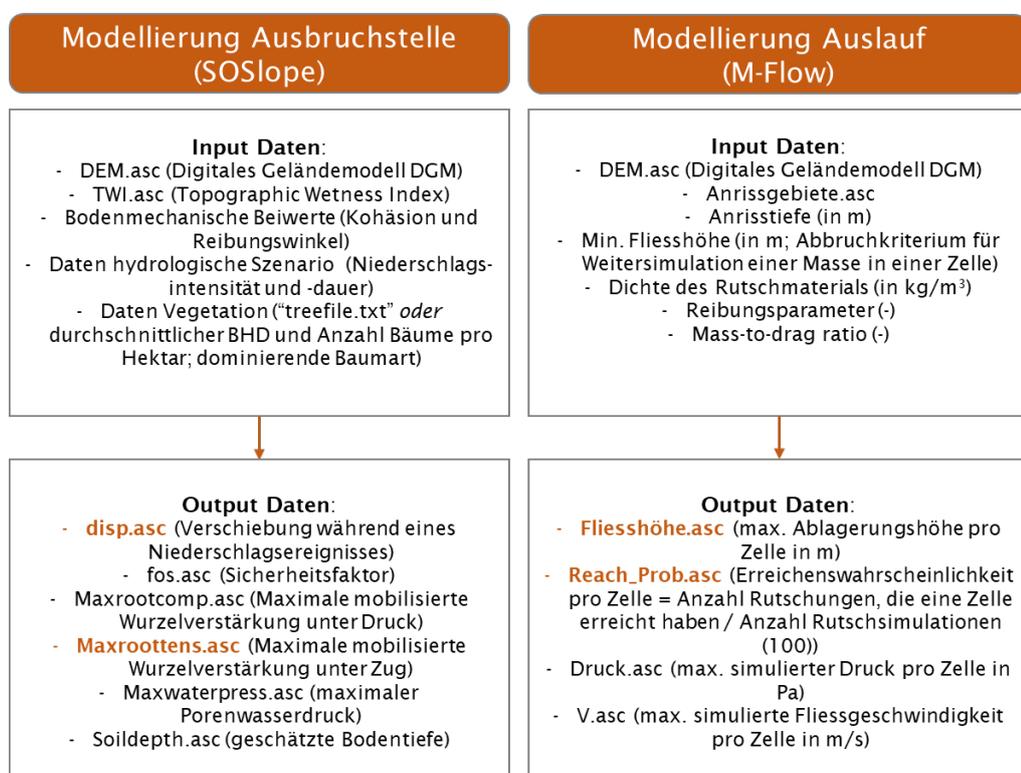


Abbildung 6: Übersicht Input- und Outputdaten der Modelle SOSlope (Anriss) und M-Flow (Auslauf). Orange markiert sind die jeweils wichtigsten Outputdaten zur Aufbereitung der Resultate. Die anderen Outputs sind wichtig zur Qualitätskontrolle und Plausibilisierung der Simulationsergebnisse.

### 3.2.3 Szenariendefinition und Intensitätsstufen

#### Jährlichkeit

Die Jährlichkeiten der Rutschungsausbrüche werden durch die Wiederkehrdauer der Niederschlagsereignisse definiert. Für jedes der drei Fallstudiengebiete wurden die Niederschlagsintensitäten mit den Werten aus HADES (Hydrologischer Atlas der Schweiz) geschätzt. Jedes der gewählten Niederschlagsszenarien ist repräsentativ für ein bestimmtes Intervall der Wiederkehrperiode, welches für die gesamte Risikoanalyse berücksichtigt wird. So ist beispielsweise das 10-jährliche Ereignis repräsentativ für eine Wiederkehrperiode zwischen 10 und 30 Jahren. Tabelle 2 gibt einen Überblick über die geschätzten Niederschlagsintensitäten je Wiederkehrdauer und Fallstudiengebiet. Als Niederschlagsdauer wurde jeweils ein 1-stündiges Niederschlagsereignis angenommen. Aufgrund stattgefundenere Ereignisse sowie der Erfahrung der lokalen Fachexperten wird davon ausgegangen, dass viele Rutschungen durch relativ kurze, intensive Niederschläge bei einer hohen Vorfeuchte der Bodenmatrix eintreten. Detaillierte Informationen finden sich in Anhang A.

Tabelle 2 : Werte der geschätzten Niederschlagsintensitäten [mm / Stunde] je nach Wiederkehrdauer und Gebiet (1 J. und 100 J. gemäss HADES).

Wiederkehrdauer	Gambarogno	Langnauerwald	Schächliwald
1 J.	30 mm/h	20 mm/h	20 mm/h
10 J.	50 mm/h	35 mm/h	30 mm/h
30 J.	65 mm/h	45 mm/h	40 mm/h
100 J.	80 mm/h	55 mm/h	50 mm/h
300 J.	100 mm/h	75 mm/h	70 mm/h

#### Formulierung und Modellierung der Waldszenarien

Um letztlich die Risikoreduktion berechnen und damit die Schutzwirkung des Waldes bestimmen zu können, sollte nebst der Ausgangssituation ohne Wald auch der aktuelle Waldzustand des jeweiligen Fallstudiengebiets berücksichtigt werden. Diese werden mit dem jeweiligen Szenario „Wald Istzustand“ wiedergegeben.

In dieser Studie wird die Wirkung des Waldes gegen flachgründige Rutschungen mit Hilfe des Modells SOSlope V1.3 (Definition Anriss) bestimmt (vgl. Cohen und Schwarz 2017). Der Effekt von Bäumen als „Murenbrecher“ im Transit- und Auslaufgebiet wird nicht berücksichtigt. SOSlope berechnet die Wurzelverstärkung der Bäume unter Zug und Druck (siehe Schwarz et al. 2017b) und berücksichtigt somit die Waldwirkung für die Modellierung des Anrisses.

Das Modell SOSlope berücksichtigt die Waldwirkung auf Basis der folgenden Parameter:

- ➔ **Baumart:** unterschieden werden kann zwischen Buche, Fichte und Kastanie
- ➔ **BHD** (Brusthöhendurchmesser)
- ➔ sowie der **Anzahl Bäume pro ha** oder deren Verteilung auf der Fläche (**Positionen**)

Somit kann SOSlope die prozessbezogenen wichtigen Eigenschaften des Waldes abbilden (Baumarten, Gefüge horizontal und vertikal – vgl. Tabelle 3). Die Aspekte, welche auf eine nachhaltige Sicherstellung der Schutzwirkung und Naturverjüngung zielen (Kriterien gemäss NaiS Formular 2: Stabilitätsträger sowie Verjüngung Keimbett, An- und Aufwuchs) müssen je nach Situation von Experten im Feld beurteilt werden, ebenso die konkrete waldbauliche Planung mit der Herleitung des Handlungsbedarfs sowie dem Ableiten entsprechender Massnahmen.

Tabelle 3: Merkmale gemäss Anforderungsprofilen NaiS und deren vereinfachte Berücksichtigung im Modell SOSlope

Anforderungsprofil NaiS (Rutschung)	SOSlope
<b>Baumart</b>	✓ Baumart: Buche, Fichte, Kastanie
<b>Gefüge vertikal</b> (BHD-Streuung)	✓ BHD, Anzahl Bäume pro ha
<b>Gefüge horizontal</b> (Lückengrösse und Deckungsgrad)	✓ Lückengrösse: indirekt über Baumpositionen ✓ Deckungsgrad: indirekt über Baumpositionen und BHD
<b>Stabilitätsträger</b> (keine schweren und wurfgefährdeten Bäume)	✓ Gewicht der Bäume ist nicht relevant (Schwarz et al. 2017) ✓ Simulierte Bäume sind stabil.
<b>Verjüngung</b> (Keimbett, Anwuchs, Aufwuchs)	✗ nicht berücksichtigt, weil die Wurzelverstärkung der Verjüngung nicht relevant ist.

Der aktuelle Waldzustand (jeweiliges Szenario „Wald Istzustand“) wurde für die Modellierung in SOSlope in folgender Form abgebildet:

Für die beiden Fallstudiengebiete im Entlebuch konnten wir mit unserer Drohne ein Vegetationshöhenmodell (VHM) erzeugen und mit FINT die Position der dominierende Bäume sowie deren BHD (über die Baumhöhe) ermitteln. Weitere Aufnahmen für die Bestimmung des aktuellen Waldzustandes erfolgten auf Basis von Standort- und Bestandeskarten des Kantons Luzern, sowie der Beurteilung gemäss Formular 2 nach NaiS im Feld (vgl. Anhang C). Wie aus der waldbaulichen Analyse des heutigen Zustands hervorgeht, befindet sich der Langnauerwald zwischen dem Minimal- und Idealprofil, der Schächliwald beim Minimalprofil.

In Gambarogno waren Drohnenflüge wegen fehlender Start- und Landeplätze nicht möglich. In solchen Fällen kann in SOSlope auch eine vom Anwender definierte Baumverteilung (homogen oder zufällig verteilt) gewählt werden. In Gambarogno haben wir auf Basis einer im Tessin durchgeführten Studie (Dazio et al. 2018) einen durchschnittlichen Baumabstand von 5 m festgelegt.

Wie aus Tabelle 3 ersichtlich wird, kann hinsichtlich der **Baumart** in SOSlope V1.3 lediglich zwischen Buche, Fichte und Kastanie unterschieden werden. Die laubholz- bzw. hauptsächlich buchendominierten Bestände im Langnauer- und Schächliwald wurden deshalb mit 100 % Buche modelliert. Für Gambarogno wurde die Kastanie berücksichtigt.

Das **Gefüge vertikal**, welches in NaiS als Mass für die Stufigkeit (Anzahl entwicklungsfähiger Durchmesserklassen) gilt, kann von SOSlope berücksichtigt werden, da entweder die Anzahl Bäume pro ha oder sogar die Positionen von Einzelbäumen sowie deren BHD als Eingangsgrösse dienen. Das gemäss NaiS für Rutschungen relevante Merkmal **Deckungsgrad** wird in SOSlope indirekt über die Anzahl Bäume, deren BHD sowie deren Verteilung berücksichtigt, da eine allometrische Beziehung zwischen Kronenradius und BHD besteht (Pretzsch et al. 2015).

Tabelle 4 gibt einen Überblick über die in SOSlope verwendeten Parameter und Datengrundlagen für die jeweiligen Waldszenarien.

Tabelle 4: Überblick verwendete Parameter und Datengrundlagen zur Darstellung der Waldszenarien

Parameter	Waldszenarien: „Wald Istzustand“
<b>Baumart</b>	<b>Gambarogno:</b> 100 % Kastanie <b>Langnauer-/Schächliwald:</b> 100 % Buche
<b>Gefüge</b> Baumpositionen, Stammzahlen und BHD (und damit indirekt Deckungsgrad)	<b>Gambarogno:</b> Homogener Bestand mit durchschnittlichem Baumabstand von 5 m (Dazio et al. 2018) <b>Langnauer-/Schächliwald:</b> Treefile je Projektgebiet mit effektiven Baumpositionen und BHD, welche mit Hilfe von FINT (Find Individual Trees, vgl. Menk et al. 2017) anhand der zur Verfügung stehenden Geodaten (Drohnenflug) generiert wurde.

### Zusammenfassung der Szenarien

Somit resultieren für die drei Fallstudiengebiete je acht Szenarien: „Ohne Wald“ bzw. „mit Wald“ für die jeweiligen Eintretenswahrscheinlichkeiten 10j., 30j., 100j. sowie 300j. (vgl. Tabelle 5).

Tabelle 5: Übersicht modellierte Szenarien je Fallstudiengebiet

Szenarien	Gambarogno (TI)				Langnauerwald (LU)				Schächliwald (LU)			
	10j	30j	100j	300j	10j	30j	100j	300j	10j	30j	100j	300j
Ohne Wald	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Mit Wald „Istzustand“	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Auf Basis der miteinbezogenen Wurzelverstärkung in SOSlope konnten analog zur Simulation ohne Wald (vgl. vorangehendes Kapitel 3.2.2) somit die Anrissgebiete definiert und anschliessend der Auslauf mit M-Flow simuliert und die entsprechenden Intensitätskarten für die verschiedenen Szenarien erstellt werden.

### 3.3 Intensitätsstufen

Die Intensität von flachgründigen Rutschungen wird anhand der Mächtigkeit der Ablagerung (h) auf der Bahnlinie definiert. Für die Abgrenzung der Intensitätsklassen wurden in diesem Projekt folgende Werte definiert, wobei der Grenzwert von 0.3 m auf den Schutzzielen der SBB basiert (modifiziert nach BAFU, 2016):

Prozess	Schwache Intensität	Mittlere Intensität	Starke Intensität
Fliessprozesse	$0 \text{ m} < h < 0.3 \text{ m}$	$0.3 \text{ m} \leq h < 1 \text{ m}$	$h \geq 1 \text{ m}$
Hangmuren			

h = Höhe der Ablagerung durch flachgründige Rutschungen [m]

### 3.4 Methodik Risikoanalyse

Die Risikoanalyse besteht aus der Expositions- und Konsequenzenanalyse. Als Vorbereitung wurden die Intensitätskarten mit den Gleisabschnitten in GIS verschnitten und anschliessend die Berechnungen in EconoMe 4.0 durchgeführt. Je Fallstudiengebiet wurde dazu ein Projekt eröffnet, die dafür notwendigen Eingangsdaten aufbereitet und anschliessend die Risikoanalyse durchgeführt. Berücksichtigt sind jeweils nur direkte Kosten; indirekte Kosten werden nicht miteinbezogen. Grundlage bilden die Intensitätskarten je Fallstudiengebiet und die daraus berechneten betroffenen Gleisabschnitte je nach Szenarien.

Einen Überblick über alle verwendeten Parameter und die dazugehörigen Resultate sind Anhang D (EconoMe 4.0 Outputs) zu entnehmen.

#### 3.4.1 Parameter für die Gefahrenanalyse

##### Definition Gefahrenprozess

Als Gefahrenprozess wurde jeweils ein einzelnes Ereignis „Hangmure / Rutschung spontan“ ausgewählt. Ein solches Ereignis beinhaltet demnach je Fallstudiengebiet durch mehrere Rutschungen betroffene Gleisabschnitte mit den dazugehörigen Intensitäten (vgl. **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**). Damit werden die abgehenden Rutschungen also als voneinander abhängige Ereignisse betrachtet (→ ein auslösendes Niederschlagsereignis führt zu mehreren Rutschungen im Projektgebiet, die mehr oder weniger gleichzeitig losgehen). Durch die Wahl eines einzelnen Ereignisses (auch wenn dieses aus mehreren Rutschungen besteht) werden Direkttreffer- und Anprallwahrscheinlichkeit nur einmal gewichtet, da nach dessen Auftreten und angenommener Streckensperrung mit keinen weiteren Direkttreffern oder Anprall zu rechnen ist. Würde man jede einzelne Rutschung als einzelnes Ereignis in EconoMe einlesen, würden Direkttreffer- und Anprallwahrscheinlichkeit mehrmals gewichtet werden. Zurzeit ist ein Faktor für die Berücksichtigung der Gleichzeitigkeit von Ereignissen in EconoMe noch nicht umgesetzt.

##### Räumliche Auftretenswahrscheinlichkeit p(rA)

Die räumliche Auftretenswahrscheinlichkeit wird jeweils mit 1 angenommen. Entsprechend der räumlich konkreten Modellierung der Rutschungen bilden die jeweiligen Intensitätskarten einzelne Ereignisse auf den entsprechenden Gleisabschnitten ab. Somit ist die räumliche Auftretenswahrscheinlichkeit nicht auf Basis der umhüllenden Intensitätskarte mit einzelnen Ereignissen zu berechnen, sondern bezieht sich direkt auf die betroffenen Abschnitte, in welchen gemäss unserer Beurteilung Rutschungen auftreten (vgl. Abbildung 7).

### Beispiel Schächliwald (LU)

Ausschnitt aus der Intensitätskarte Szenario 10J., „ohne Wald“

Jede der beiden abgebildeten Rutschungen mit räumlicher Auftretenswahrscheinlichkeit  $p(rA) = 1$

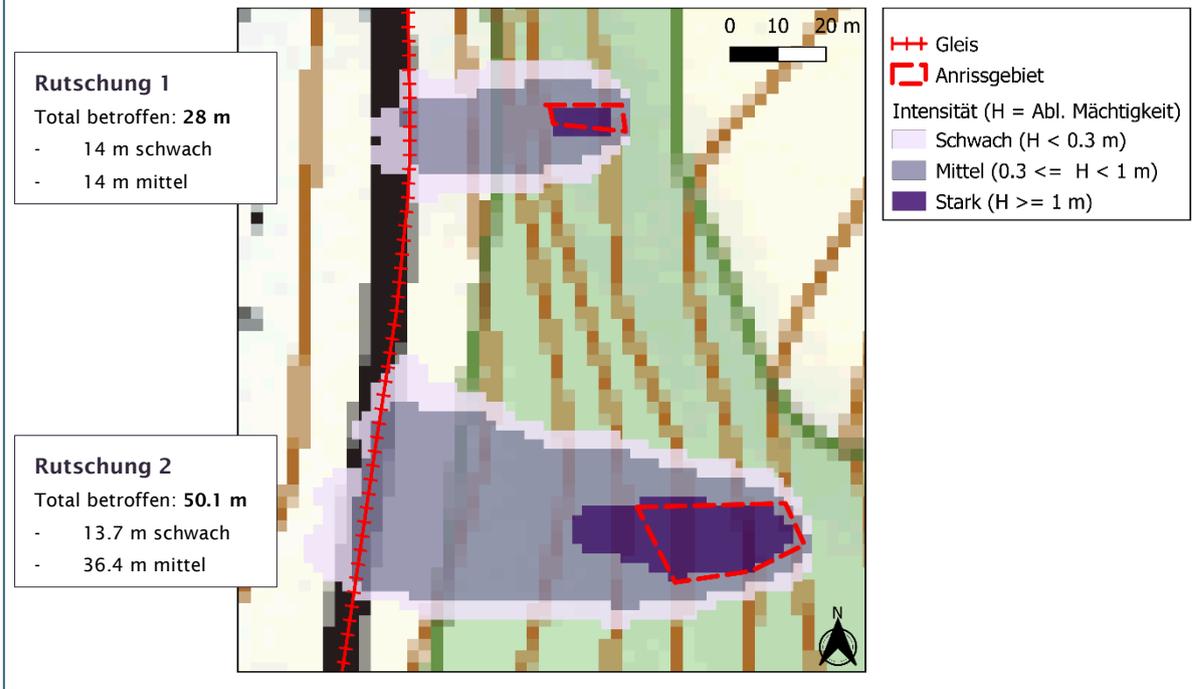


Abbildung 7: Schematische Darstellung von zwei modellierten Rutschungen und daraus generierten Intensitätskarten (betroffene Gleisabschnitte) am Beispiel Schächliwald (LU) für das 10-jährliche Ereignis ohne Wald.

### Ereigniswahrscheinlichkeit im Gleisbereich $p(EG)$

Anpassungen in der Ereigniswahrscheinlichkeit wurden keine vorgenommen. Die Ereigniswahrscheinlichkeit im Gleisbereich bleibt damit bei 1. Die Modellierung der Rutschungen beruht bereits auf den effektiven Niederschlagsdaten sowie dem Ereigniskataster als Grundlage zur Bestimmung der Ereigniswahrscheinlichkeit je Wiederkehrdauer. Somit ist der Tatsache, dass nicht jedes Grossniederschlagsereignis zur einer Rutschung führt, bereits Rechnung getragen.

### Wahrscheinlichkeit vorsorgliche Sperrung $p(vSp)$ sowie Anordnung Fahren auf Sicht $p(FAS)$

In Absprache mit dem Auftraggeber wurden die Defaultwerte (=0) belassen.

### 3.4.2 Parameter für Schadenpotenzial (risikorelevante Attribute)

Pro Fallstudiengebiet besteht das betroffene Schadenpotenzial jeweils aus einem Objekt (Bahnlinie, eingleisig), wobei die SBB jeweils zu 100 % Nutzniesserin ist. Tabelle 6 zeigt Herkunft und Werte der risikorelevanten Attribute für die Fallstudiengebiete sowie die daraus berechneten Schadenpotenziale. Das gesamte Schadenpotenzial, wie es für die Berechnungen in EconoMe verwendet wird, ist im Langnauer- und Schächliwald deutlich höher als in Gambarogno. Dies hat mit den wesentlich höheren Werten der Personenzug-bezogenen Parameter zu tun. Der in Gambarogno relevante Güterverkehr wird hingegen nicht im Schadenpotenzial mitberechnet.

Tabelle 6: Übersicht Parameter für Schadenpotenzial und berechnete Werte (EconoMe 4.0)

Attribut	Datengrundlage	Gambarogno	Langnauerwald	Schächliwald
Objekt	Angaben SBB	Gleis, einspur	Gleis, einspur	Gleis, einspur
Betroffene Streckenabschnitte (kumulierte Länge pro Szenario) [m]	gem. Projektperimeter	91	164	242
Wert Gleis (CHF/Laufmeter Geleise)	Basiswert	6300	6300	6300
Ø Personen /Zug	Angaben SBB	15.44	71.06	44.37
Ø Geschw. Personenzüge [km/h]	Angaben SBB	80	125	75
Ø Personenzüge/Tag	Angaben SBB	14.7	74.7	73.57
Ø Zuglänge Personenzüge [m]	Angaben SBB	74.4	121.12	101.79
Geländeverhältnisse	Angaben SBB	günstig	günstig	günstig
Ø Anzahl Güterzüge/Tag	Angaben SBB	26	2	0
Anzahl Durchfahrten derselben Person / Tag	Basiswert	2	2	2
Sachwert Personenzug	Basiswert	5'000'000	5'000'000	5'000'000
<b>Berechnetes Schadenpotenzial</b>				
Schadenpotenzial Personen monetarisiert	EconoMe 4.0	77'200'000	355'300'000	221'850'000
Schadenpotenzial Sachwerte (zusammengesetzt aus Sachwert Personenzug + betroffene Streckenabschnitte*Wert Gleis)	EconoMe 4.0	5'573'300	6'033'200	6'524'600
<b>Schadenpotenzial gesamt</b>	EconoMe 4.0	82'773'300	361'333'200	228'374'600
Schadenpotenzial gesamt (Berechnung mit Basiswerten)	EconoMe 4.0	5'573'300	6'033'200	6'524'600

### 3.4.3 Parameter für Massnahmendefinition

Der Wald wurde mit seinem aktuellen Zustand je Fallstudiengebiet als Massnahme in der Risikoanalyse berücksichtigt. Damit lassen sich die Risiken mit und ohne Wald miteinander vergleichen und eine Kostenwirksamkeitsanalyse durchführen. Für die Massnahmendefinition in EconoMe – welche auf Massnahmen im technischen Verbau ausgerichtet sind - müssen folgende Werte angegeben werden, aus welchen schliesslich die jährlichen Kosten berechnet werden: Investitionskosten, Unterhaltskosten, jährliche Betriebskosten, Lebensdauer der Massnahme, Zinssatz und Restwert.

Nachfolgend sind die Parameter, welche zur Berechnung der jährlichen Kosten der Massnahmen in EconoMe verwendet werden, beschrieben. Die Massnahmenkosten basieren jeweils auf einer einfachen Kostenabschätzung der Schutzwaldbewirtschaftung, welche mit den zuständigen lokalen Forstfachpersonen diskutiert wurde. Details sind den entsprechenden Resultaten und dazugehörigen Anhängen der waldbaulichen Planung zu entnehmen (Kapitel 4.1.4 sowie 4.2.4. bzw. 4.3.4).

#### Unterhalt: Reguläre Schutzwaldbewirtschaftung

Die reguläre Schutzwaldbewirtschaftung gemäss NaiS (Frehner et al. 2005) zur Sicherstellung der nachhaltigen Schutzwirksamkeit des Waldes ist gemäss PROTECT Bio als Unterhalt anzusehen. Die Kosten der waldbaulichen Behandlung je Fallstudiengebiet wurden somit in Form der Unterhaltskosten berücksichtigt. Die jährlichen Betriebskosten (welche beispielsweise aus Verwaltungs- oder Infrastrukturkosten bestehen) sind bereits in diesen Kosten inkludiert und werden deshalb nicht separat ausgewiesen.

Für die reguläre Schutzwaldbewirtschaftung im Sinne des Unterhalts besteht die Massnahmendefinition also lediglich aus den Unterhaltskosten, welche den in EconoMe berechneten jährlichen Kosten entsprechen. Sie wurden wie folgt berechnet:

$$\frac{\text{Jährliche Unterhaltskosten}}{\text{Gesamtfläche}} \quad [\text{CHF} / \text{Jahr}] = \frac{\text{Ø Kosten der Schutzwaldbewirtschaftung} \quad [\text{CHF} / \text{ha}] \quad * \quad \text{Waldfläche des Fallstudiengebietes} \quad [\text{ha}]}{\text{Eingriffsturnus} \quad [\text{Jahre}]}$$

#### Investition: Zusätzliche Spezialmassnahmen

Nur wo Investitionen als solche ausgewiesen werden, sind auch Lebensdauer der Massnahme, Zinssatz und Restwert zu definieren. Als Investitionen ausgewiesen wurden spezielle, über die reguläre Schutzwaldbewirtschaftung hinausgehende Kosten für Massnahmen wie beispielsweise Aufforstung

oder ingenieurbioologischer Verbau. Der dazugehörige Zinssatz wurde auf den üblichen 2 % belassen. Als Lebensdauer für solche Investitionen wurden 150 Jahre gewählt. Wir gehen davon aus, dass solche ingenieurbioologischen Massnahmen im Gegensatz zu technischen Verbauungen langfristig und nachhaltig zum Schutz beitragen, weshalb analog zur im abgeänderten Vorschlag der Massnahmenbeurteilung gemäss PROTECT Bio (Anhang E) vorgeschlagenen Dauerhaftigkeit von 150 Jahren für Wald derselbe Wert auch für die Lebensdauer dieser ingenieurbioologischen Massnahmen gewählt wurde. Der Restwert der Investition wurde mit 0 CHF beziffert.

Tabelle 7 gibt einen Überblick über die Parameter der Massnahmendefinition. Es sei darauf hingewiesen, dass die Unterschiede in den gesamten jährlichen Kosten zwischen Gambarogno und dem Entlebuch hauptsächlich auf die im Projektperimeter massgebende Flächengrösse zurückzuführen sind, worauf sich diese beziehen. Pro Flächeneinheit bewegen sich die jährlichen Kosten ungefähr im selben Bereich (ca. 600.- bis 620.- /ha)

Tabelle 7: Waldbauliche Massnahmen und Parameter in EconoMe.

	Gambarogno	Langnauerwald	Schächliwald
<b>Waldbauliche Massnahmen</b>			
Waldfläche	<b>12 ha</b> davon «intensiv»: 2 ha davon «regulär»: 10 ha	<b>3.8 ha</b>	<b>4.3 ha</b>
Kosten Schutzwald-Bewirtschaftung	«intensiv»: 20'000.- / ha «regulär»: 10'000.- / ha	12'000.- / ha	12'000.- / ha
Eingriffsturnus	20 Jahre	20 Jahre	20 Jahre
<b>Spezialmassnahme</b> (über reguläre Schutzwaldbewirtschaftung hinausgehend)	Aufforstung, evtl. Verbisschutz lokal	Ingenieurbioologische Massnahme: Saat bei Runse Südwest	keine
<b>Massnahmendefinition EconoMe</b>			
<b>Investitionskosten</b>	<b>10'000.-</b>	<b>5000.-</b>	keine
<b>Jährliche Unterhaltskosten</b>	2000.- + 5000.- = <b>7000.-</b>	<b>2280.-</b>	<b>2580.-</b>
Jährliche Betriebskosten	-	-	-
Lebensdauer Massnahme (Investition)	150 Jahre	150 Jahre	-
Zinssatz (Investition)	2 %	2 %	-
<b>Jährliche Kosten</b> (bezogen auf gesamte Waldfläche)	<b>7167.-</b>	<b>2363.-</b>	<b>2580.-</b>
Restwert	0.-	0.-	0.-

### 3.5 Evaluation und Planung waldbaulicher Massnahmen

Die Herleitung des Handlungsbedarfs nach NaiS sowie die Planung und Diskussion waldbaulicher Massnahmen für die Gebiete im Entlebuch erfolgten vor Ort und in Absprache mit der zuständigen Forstfachperson. Das Vorgehen kann in folgende Schritte aufgeteilt werden:

- 1) Sichten vorhandener Datengrundlagen und erste Feldbegehung
- 2) Aufnahme Waldzustand und Herleitung des Handlungsbedarfs gemäss NaiS, Ableiten von Massnahmen
- 3) Diskussion und Anpassung der waldbaulichen Planung mit den zuständigen Forstfachpersonen (U. Felder, Kanton Luzern)

Für das Gebiet in Gambarogno wurde nebst einer Feldbegehung eine allgemeine Formulierung waldbaulicher Massnahmen vorgenommen und mit dem lokale Forstingenieur und Experten diskutiert (U. Felder, Kt. LU; M. Bonardi, Kt. TI; M. Conedera, WSL; M. Pividori, Uni Padova; P. Ammann, BZW Lyss).

## 4 Resultate der Fallstudien

### 4.1 Gambarogno (TI)

Das gewählte Fallstudiengebiet in Gambarogno befindet sich zwischen den Ortschaften Scimiana und St. Abbondio (vgl. Abbildung 8), südöstlich der einspurigen Bahnlinie, welche sowohl von Personen- wie auch von Güterzügen frequentiert wird.

Topografisch lässt sich das Gebiet durch kleinere Gerinneabhängungen abgrenzen, die Hangneigung beträgt fast durchgehend zwischen 25° und 40°. In der Region Gambarogno handelt es sich beim ausgewählten Projektperimeter um das am wenigsten von anthropogenen Faktoren beeinflusste Gebiet.

Geologisch befindet sich der Untersuchungsperimeter in einer kristallinen Formation mit Orthogneis als Ausgangsgestein. Der Boden weist eine mittlere Entwicklung auf, Vernässungsmerkmale und Tonverlagerungen lassen sich bis zu einer Tiefe von ca. 1 m nicht finden. In der näheren und weiteren Umgebung des Perimeters lassen sich verschiedene Zeugen von flachgründigen Rutschungen ausmachen. Dass es in den letzten Jahrzehnten im Gebiet immer wieder zu Ereignissen gekommen ist, lässt sich anhand des Ereigniskatasters nachvollziehen (vgl. Anhang A). Der Wald im Untersuchungsgebiet ist aus einer ehemaligen Niederwaldbewirtschaftung entstanden und besteht hauptsächlich aus Kastanien.

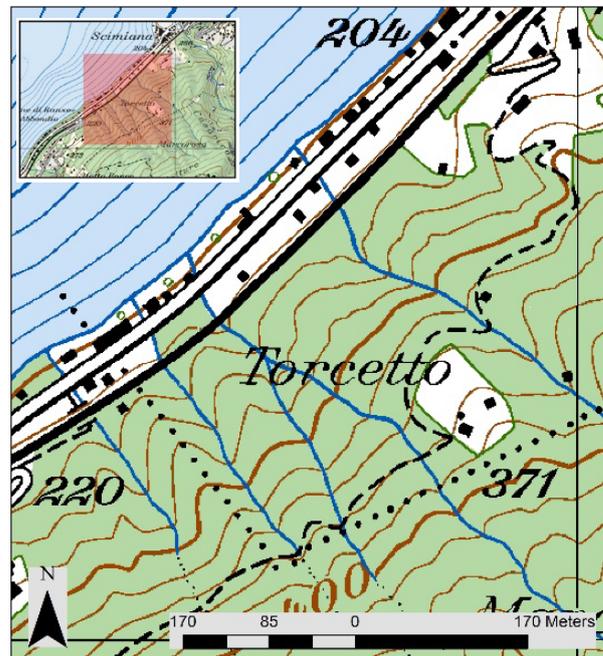


Abbildung 8: Lage des Fallstudiengebiets Gambarogno

Im Untersuchungsperimeter befinden sich unterhalb der Geleise vier Durchlässe. Der grösste weist Dimensionen von ca. 1.5 m Höhe und 3 m Breite auf (halbkreisförmiges Querprofil). Wir gehen davon aus, dass bei allen berücksichtigten Szenarien wegen transportierten Baumstämmen Verklauung auftritt. Ein dokumentiertes Ereignis von 2013 bestätigt, dass diese Annahme realistisch ist.

#### 4.1.1 Gambarogno: Resultate der Grob- und Massnahmenbeurteilung Grobbeurteilung gemäss PROTECT Bio

Der oberhalb der Bahnlinie gelegene Schutzwald erstreckt sich über das gesamte Gebiet. Es handelt sich dabei um einen überalterten Niederwald von heterogener Struktur. Der Deckungsgrad über den gesamten betrachteten Bestand (12 ha) beträgt rund 90 %. Lücken grösser als 10 a sind nur wenige vorhanden und machen damit deutlich weniger als 20 % der Gesamtfläche aus. Die Bedingungen für eine vermutete Relevanz des Schutzwaldes in Gambarogno gegenüber flachgründigen Rutschungen sind somit gegeben.

#### Massnahmenbeurteilung gemäss PROTECT Bio

Die Bestimmung der Zuverlässigkeit des aktuellen Waldzustandes im Hinblick auf ihre Wirkung wurde anhand der Kriterien zur Tragsicherheit, Gebrauchstauglichkeit und Dauerhaftigkeit durchgeführt. Die Anforderungen an die Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit des Schutzwaldes sind erfüllt: Der Schutzwald verfügt über eine standortnahe Baumartenmischung und entwicklungsfähige Bäume in mindestens zwei Durchmesserklassen. Deckungsgrad und Lückengrösse erfüllen die Kriterien ebenfalls. Stabilitätsträger sind über die gesamte Fläche vorhanden. Trotz einiger instabiler Bäume sind die Anforderungen minimal erfüllt.

Auch die Dauerhaftigkeit des Schutzwaldes kann als gegeben betrachtet werden. Die Entwicklungstendenzen bezüglich der Einzelbaum- und Bestandesmerkmale erfüllen die

Anforderungen minimal bzw. können mit einem regulären Schutzwaldpflegeeingriff korrigiert werden, falls sich Stabilität oder Verjüngung massgeblich verschlechtern würden. Die Wahrscheinlichkeit von Gefährdungsbildern mit wesentlichen Schäden (in Gambarogno sind dabei Feuer und Windwurf zu nennen) ist zwar nicht zu vernachlässigen. Aufgrund des heutigen Zustandes kann aber davon ausgegangen werden, dass die Störungsresistenz gegeben ist und damit keine flächigen Störungen zu erwarten sind (vgl. z.B. Vogt et al. 2006). Einzelne Streuschäden sollten keine massgebende Verminderung der Schutzwirkung nach sich ziehen.

Die Zuverlässigkeit des Schutzwaldes in Gambarogno hinsichtlich flachgründiger Rutschungen kann damit als gegeben betrachtet werden.

#### 4.1.2 Gambarogno: Wirkungsbeurteilung (Überblick Szenarien und Intensitätskarten)

Aus der Berechnung von Disposition und Auslauf der flachgründigen Rutschungen in Gambarogno ergeben sich für das 10-, 30-, 100- sowie 300-jährliche Ereignis abhängig vom jeweiligen Szenario (ohne Wald bzw. mit Wald „Istzustand“) die entsprechenden Intensitäten, von welchen die Bahnlinie betroffen ist. Zwischen dem 100- und dem 300-jährlichen Ereignis zeigen sich dabei innerhalb der Variante „ohne Wald“ bzw. mit Wald „Istzustand“ keine Veränderungen. Das heisst, dass das 100-jährliche Ereignis ohne Wald dem 300-jährlichen entspricht. Analog gilt dies für die 100- bzw. 300-jährlichen Szenarien mit Wald (vgl. Tabelle 8). Wie sich zeigt, kann der heutige Waldzustand im Vergleich zu den Szenarien ohne Wald die Betroffenheit des Bahngleises und damit das Schadenausmass reduzieren: Für das 10- und 30-jährliche Ereignis ist mit Wald „Istzustand“ mit keinen Schäden zu rechnen. Für das 100- sowie 300-jährliche Ereignis ergibt sich eine Verschiebung in den betroffenen Streckenlängen und der Intensität: Während ohne Wald total 91 m Geleise betroffen sind (58 m mit starker und 33 m mit mittlerer Intensität), sind es mit Wald 85 m (davon 40 m starke und 45 m mittlere Intensität) (vgl. Tabelle 9). Insgesamt ist mit Wald im Durchschnitt 41 % weniger Streckenlänge betroffen.

Tabelle 8: Übersicht der modellierten Szenarien (Anzahl Spalten und Zeilen) für Gambarogno. Die Resultate des 100- sowie 300-jährlichen Ereignisses führen jeweils zu gleichen Ergebnissen, d.h. die Szenarien entsprechen sich.

	10 J.	30 J.	100 J.	300 J.
<b>Ohne Wald</b>	10 J. ohne Wald	30 J. ohne Wald	100/300 J. ohne Wald	100/300 J. ohne Wald
<b>Wald Istzustand</b>	10 J. Wald IST *	30 J. Wald IST *	100/300 J. Wald IST	100/300 J. Wald IST

\* Szenarien mit Stern = Szenarien, wo keine Rutschung ausbricht

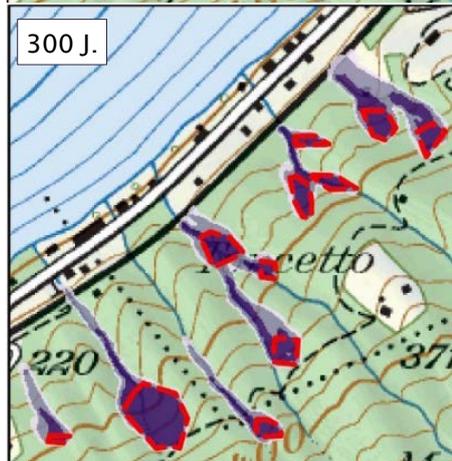
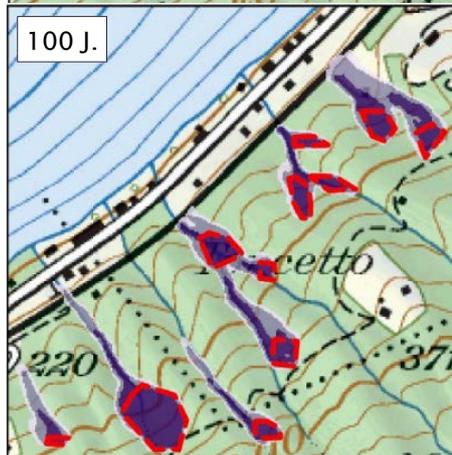
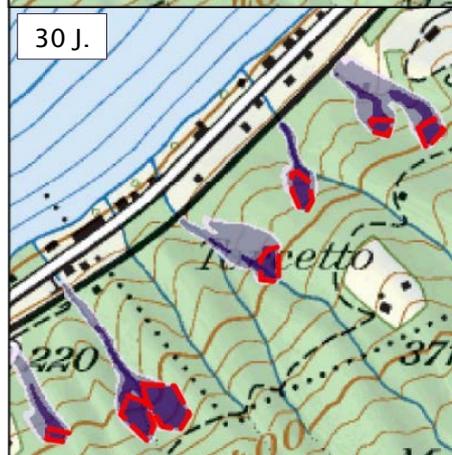
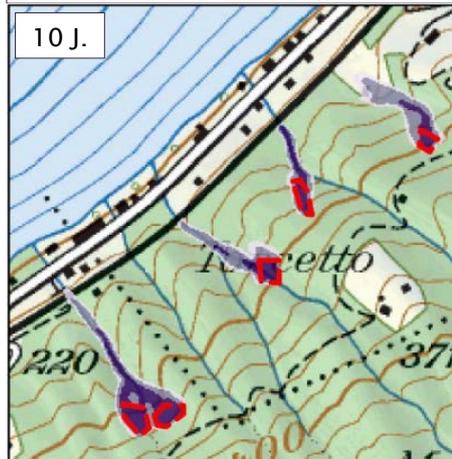
Tabelle 9: Betroffene Streckenlängen in Gambarogno in Abhängigkeit der Intensität und Wiederkehrperiode. Die Intensitätsklassen sind folgendermassen abgekürzt: int1 = schwache Intensität, int2 = mittlere Intensität, int3 = starke Intensität.

Gambarogno	SZ 1: 10 J.			SZ 2: 30 J.			SZ 3: 100 J.			SZ 4: 300 J.		
	int1	int2	int3	int1	int2	int3	int1	int2	int3	int1	int2	int3
<b>Ohne Wald</b>	20	0	0	35	15	0	58	33	0	58	33	0
<b>Wald Istzustand</b>	0	0	0	0	0	0	40	45	0	40	45	0

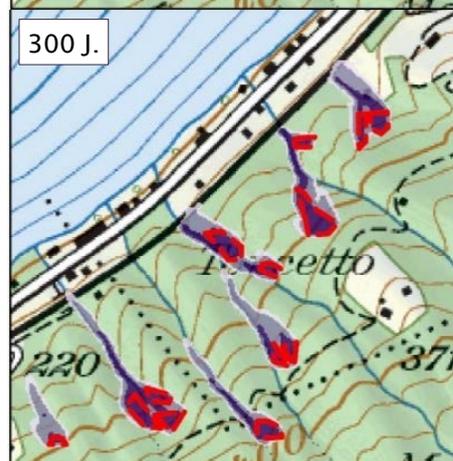
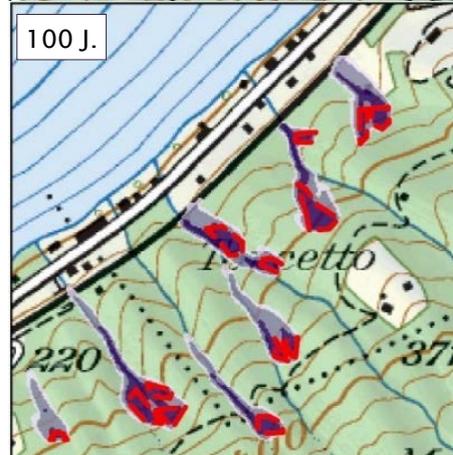
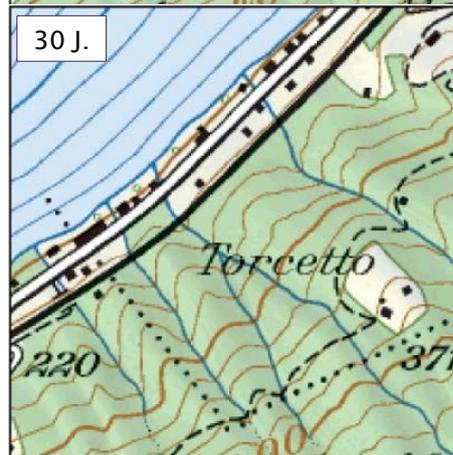
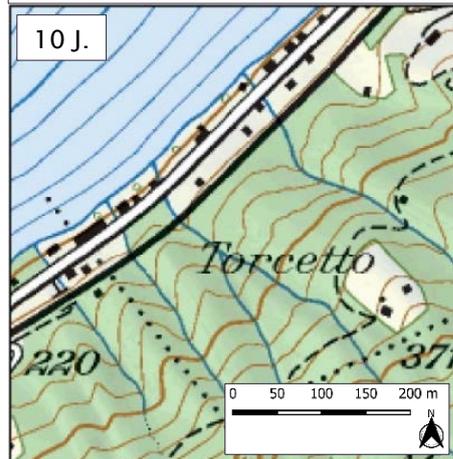
#### Intensitätskarten Gambarogno und betroffene Streckenlängen

Die Intensitätskarten Gambarogno für die Szenarien „ohne Wald“ sowie „Wald Istzustand“ sind auf der nachfolgenden Seite dargestellt.

Szenarien ohne Wald



Szenarien mit Wald Istzustand



 Anrissfläche (Tiefe = 1.5 m)

Intensität (H = Ablagerungshöhe)

-  Schwach ( $H < 0.3 \text{ m}$ )
-  Mittel ( $0.3 \leq H < 1 \text{ m}$ )
-  Stark ( $H \geq 1 \text{ m}$ )

### 4.1.3 Gambarogno: Risikoanalyse und Kostenwirksamkeit

Die Summe des Schadenpotenzials im gesamten Perimeter in Gambarogno beläuft sich auf 82'773'300.- (aufteilt in über 93 % Schadenpotenzial Personen sowie knapp 7 % Schadenpotenzial Sachwerte). Das effektive Schadenausmass je Szenario kann dem Abschnitt „Konsequenzenanalyse“ der EconoMe-Outputs in Anhang D entnommen werden. Das Schadenausmass mit Wald fällt in Gambarogno höher aus als ohne Wald. Dies hat mit den von unterschiedlichen Intensitäten betroffenen Gleisabschnitten (vgl. Tabelle 9) zu tun: Die Resultate mit Wald zeigen eine grössere betroffene Streckenlänge in der mittleren Intensität (45 m mit Wald im Vergleich zu 30 m ohne Wald), was einen stärkeren Einfluss auf das Schadenausmass hat als die betroffenen Gleisabschnitte schwacher Intensität (58 m ohne Wald im Vergleich zu 40 m mit Wald).

Insgesamt lässt sich aus dem Schadenausmass damit für die Ausgangslage „ohne Wald“ ein jährliches Risiko von 12'746 CHF/Jahr berechnen. Für die Situation mit Wald (heutiger Waldzustand) beträgt das jährliche Risiko 3'438.- CHF/Jahr. Die Risikoreduktion beträgt damit 9'308 CHF/Jahr (Tabelle 10 und Abbildung 9). Mit den geschätzten 7'167.- jährlichen Massnahmenkosten resultiert damit ein Nutzen-Kosten-Verhältnis von 1.3

Alle Ergebnisse der Risikoanalyse in EconoMe sind in Anhang D ersichtlich.

Tabelle 10: Übersicht Resultate der Risikoanalyse für Gambarogno

Gambarogno	Vor Massnahme	Nach Massnahme
	ohne Wald	Wald Istzustand
<b>Individuelles Todesfallrisiko</b>	2.72 * 10 <sup>-5</sup>	6.49 * 10 <sup>-6</sup>
<b>Risiko Personen</b>	1092 CHF/a	263 CHF/a
<b>Risiko Sachwerte</b>	11'654 CHF/a	3'175 CHF/a
<b>Kollektives Risiko</b>	12'746 CHF/a	3'438 CHF/a
<b>Risikoreduktion</b>	-	9'308 CHF/a
<b>Nutzen-Kosten-Verhältnis</b> (Massnahmenkosten: 7167.-/a)	-	1.3

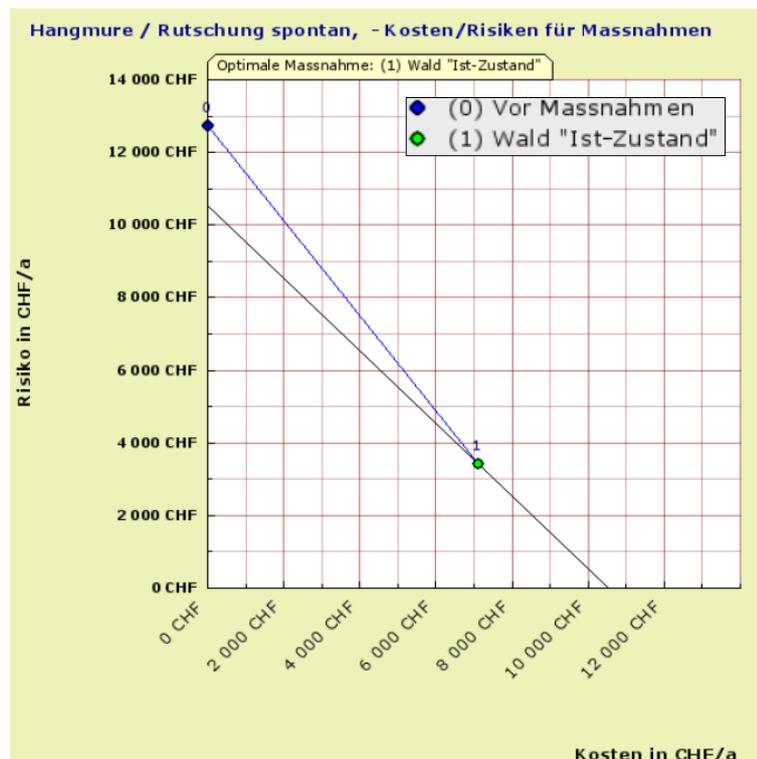


Abbildung 9: Kosten/Risiken für Szenarien ohne Wald ("vor Massnahme") bzw. nach Massnahme «Wald Istzustand».

#### 4.1.4 Gambarogno: Waldbauliche Massnahmen

Der Wald in diesem Fallstudiengebiet besteht mehrheitlich aus einem veraltete Kastanien Niederwald (ca. 70 Jahren alt). Die für die massgebenden Prozesse beurteilte Schutzwaldfläche erstreckt sich über rund 12 ha südöstlich der Bahngleise (Abbildung 10).

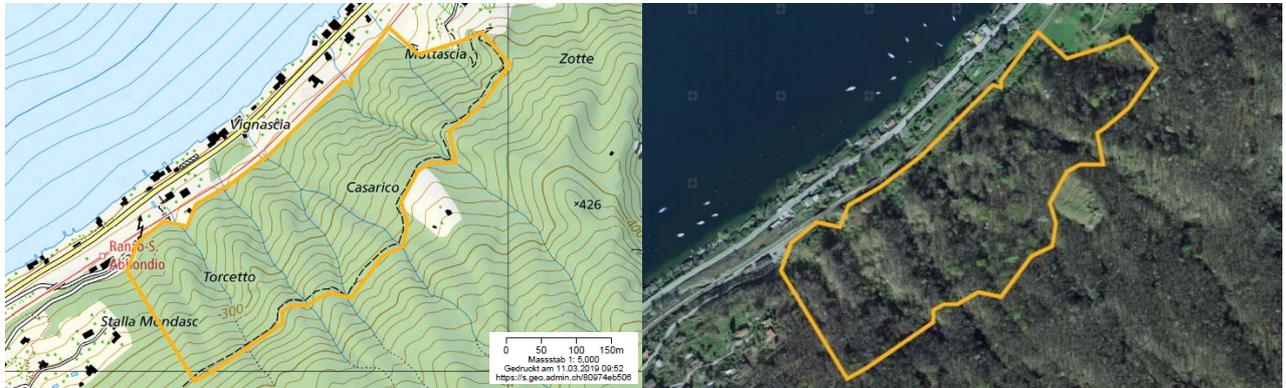


Abbildung 10: Übersicht Schutzwaldperimeter Gambarogno (links: Karte 1:10'000. Rechts: Luftbild).

Im nordöstlichen Bereich ist der Wald heterogen strukturiert und weist eine differenzierte Baumartenmischung auf (*Tilia cordata*, *Carpinus betulus*, *Castanea sativa*). Im ganzen Gebiet sind nur einzelne Lichtungen vorhanden, welche die Folge von umgeworfenen Gruppen von veralteten Stockausschlägen sind. Diese Öffnungen sind im Moment durch Pionierbaumarten (z.B. *Robinia pseudoacacia* oder *Rubus sp.*) bedeckt.

Das Gebiet ist nur schlecht erschlossen, weshalb bei der Holzernte mit dem Helikopter gearbeitet werden müsste.



Abbildung 11: Bestandesbilder Gambarogno

Für die Planung der waldbaulichen Maßnahmen können drei verschiedene Situationen berücksichtigt werden: 1) Bereiche mit potentiellen Anrissstellen, 2) Bereiche ohne potentielle Anrissstellen, sowie 3) Wald entlang des Bahngleises und entlang der Wege. Die waldbaulichen Massnahmen können demnach ortsspezifisch erfolgen (vgl. Abbildung 12).

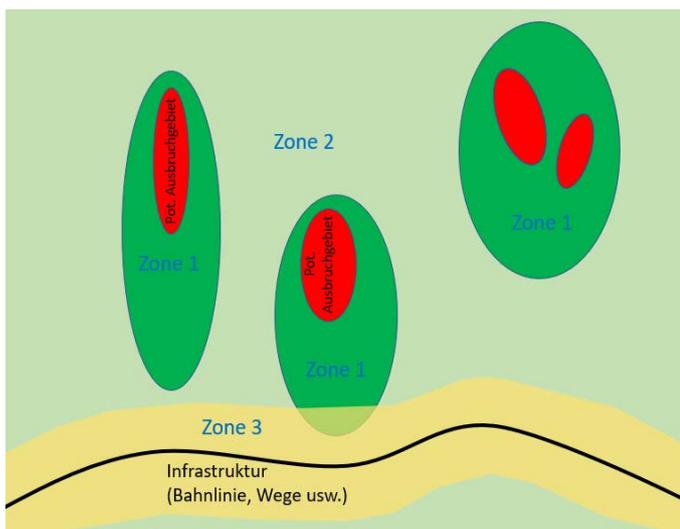


Abbildung 12:  
Schematische Darstellung der verschiedenen Bereiche unterschiedlicher waldbaulicher Behandlung: Zone 1 (Bereiche mit potentiellen Anrissgebieten), Zone 2 (Bereiche ohne potentielle Anrissgebiete) sowie Zone 3 (Wald entlang der Bahnlinie sowie entlang von Wegen).

### 1) **Bereiche mit potentiellen Anrissgebieten (ca. 2 ha)**

In diesen Fällen sollte man eine „aktive“ Bewirtschaftung planen, welche auf eine bessere Stabilität des Bestandes sowie eine langfristige Maximierung der Wurzelverstärkung zielt. Gemäss Untersuchungen von Dazio et al. (2018) ist die Wurzelverstärkung auf diesen Standorten maximiert durch die Förderung von Bäumen mit großen Dimensionen. Dies kann mit einem gut strukturierten Hochwald mit möglichst vielen gesunden, stabilen älteren Bäumen erreicht werden. Dieses Ziel kann waldbaulich durch femelschlagartige Eingriffe erreicht werden (gezieltes mosaikartiges Eingreifen). Wo möglich sollte die vorhandene Verjüngung gefördert werden. In Situationen, wo die Verjüngung beispielsweise aufgrund von erhöhtem Wilddruck nicht vorhanden ist, können eingezäunte Aufforstungen mit standortgerechter Baumartenmischung geplant werden. Pflanzungen und Schutzmassnahmen gegen Wildschäden sollten sich auf jene Flächen konzentrieren, wo die Wurzelverstärkung am meisten wirkt.

Für die Behandlung der Bereiche mit potentiellen Anrissgebieten ist eine verhältnismässig intensive Schutzwaldpflege vorgesehen. Deren Kosten setzen sich zusammen aus der regulären Schutzwaldpflege sowie zusätzlichen Investitionen für Spezialmassnahmen wie Pflanzung und Zäune zum Schutz der Verjüngung (punktuell).

Die Kosten der Schutzwaldpflege, welche lokal auch eine gezielte Jungwaldpflege zur Förderung stabiler und standortgerechter Baumarten beinhaltet, belaufen sich auf rund 20'000.- / ha. Mit einem Eingriffsturnus von 20 Jahren entstehen dadurch rund 2000.- jährliche Pflegekosten („Unterhaltskosten“ in der Massnahmendefinition in EconoMe). Durch die regelmässige Bewirtschaftung der Wälder sollen künftig ungünstige Zustände, welche später zu höheren Kosten führen könnten, vermieden werden. Hinzu muss mit Spezialmassnahmen (in EconoMe als „Investitionen“ einkalkuliert) im Umfang von 10'000.- gerechnet werden. Diese beinhalten Pflanzungen und Zäune, welche lokal zum Schutz vor Wildschäden eingerichtet werden sollen.

### 2) **Bereiche ohne potentielle Anrissbereiche (ca. 9 ha)**

In diesen Gebieten wird empfohlen, den Bestand grundsätzlich seiner natürlichen Entwicklung zu überlassen, diese aber regelmässig zu beobachten und wo nötig einzugreifen. Wo es Alter, Struktur und Baumartenmischung erlauben, kann nach dem Prinzip der biologischen Rationalisierung gearbeitet werden. Wo aufgrund der Stabilität vermutet wird, dass Bestandesteile grossflächig zusammenbrechen könnten, kann versucht werden, mit einem minimalen Eingriff die räumliche Entwicklung der Waldstruktur zu steuern (Förderung stabiler Einzelbäume, Durchforstung im Radius von ca. 5 bis 8 m). Das gefällte Holz sollte wenn möglich entfernt werden. Entlang der murgangfähigen Gerinne sollten instabile Bäumen entfernt werden.

Die geschätzten Kosten belaufen sich auf 10'000.- / ha, eine entsprechende Pflege sollte auf den total 9 ha ebenfalls alle 20 Jahre erfolgen. Für diese Fläche ergeben sich somit jährliche Kosten für die Schutzwaldpflege („Unterhaltskosten“) von 4500.-.

### 3) **Wald entlang Bahngleis oder entlang der Wege (ca. 1 ha)**

In diesem Bereich sollten alle instabilen Bäume entfernt werden. Wo möglich ist der Einsatz von langsam wachsenden Straucharten zu fördern, um langfristig die Bewirtschaftungskosten zu senken. Zudem kann die Wirkung der Wurzeln von Straucharten für die Hangstabilität relevant sein, allerdings deutlich weniger als mit einem Waldbestand. Angehende Untersuchungen bezüglich der stabilisierenden Wirkung von Neophyten (Palmen und Götterbaum) deuten auf einen mässigen Beitrag hin; es wird deshalb empfohlen, solche Arten wo möglich zu bekämpfen.

Die geschätzten Kosten belaufen sich auch hier auf rund 10'000.- / ha, welche alle 20 Jahre anfallen. Damit ist mit Kosten für die Schutzwaldpflege („Unterhaltskosten“) von 500.-pro ha und Jahr zu rechnen.

Zusammenfassend fallen also jährlich Kosten von rund 7000.- für die Schutzwaldpflege an (davon 9+1 ha regulär sowie 2 ha in intensivierter Form), hinzu kommen einmalige Investitionskosten für die genannten Spezialmassnahmen von 10'000.-.

## 4.2 Langnauerwald (LU)

Das Untersuchungsgebiet Langnauerwald befindet sich zwischen den Ortschaften Schachen und Werthenstein im Entlebuch (Abbildung 13). Die unterhalb verlaufende einspurige Bahnlinie dient vor allem dem Personenverkehr, aber auch wenigen Güterzügen. Auf dem rund 30-38° geneigten Hang sind Spuren von kürzlich stattgefundenen flachgründigen Rutschungen sichtbar; eine grössere Rutschfläche an der Kante einer Schotterterrasse wird mittels Drainierungsmassnahmen stabilisiert.

Geologisch befindet sich der Langnauerwald im Molassebecken auf einer Schotterterrasse. Hänge und Mulden sind hauptsächlich mit Ablagerungen von Lockermaterial bedeckt. Der Boden weist eine fortgeschrittene Entwicklung auf. Je nach Geländemorphologie wechseln sich Braunerde mit vergleyten Böden ab.

Direkt oberhalb der Bahnlinie, welche stellenweise von einer kleineren Holzpalisade vom darüberliegenden Hang abgeschirmt wird, stockt ein schmaler, vorwiegend aus Haseln bestehender Waldgürtel, welcher gegen oben in einen baumholzdominierten Mischbestand übergeht.

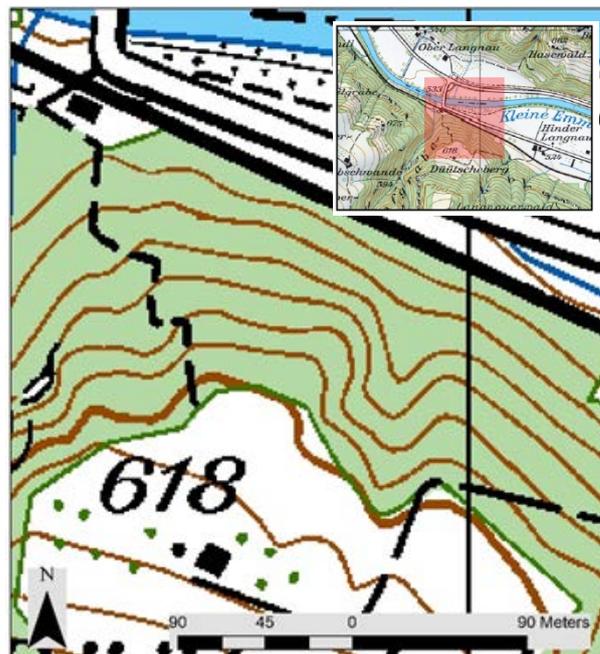


Abbildung 13: Lage des Fallstudiengebiets Langnauerwald

### 4.2.1 Langnauerwald: Resultate der Grob- und Massnahmenbeurteilung Grobbeurteilung gemäss PROTECT Bio

Der Langnauerwald mit rund 3.8 ha Fläche weist einen Deckungsgrad von über 60 % auf, wobei grosse Teile fast vollständig überschirmt sind (DG über 80 %). Lücken grösser als 10 a sind nur wenige vorhanden – zu nennen ist die offene Rutschfläche im östlichen Teil des Perimeters. Der Anteil grösserer Lücken ist aber deutlich kleiner als 20 % der Gesamtfläche, womit die Bedingungen für eine vermutete Relevanz des Schutzwaldes im Langnauerwald gegenüber flachgründigen Rutschungen gegeben sind.

#### Massnahmenbeurteilung gemäss PROTECT Bio

Die Zuverlässigkeit des aktuellen Waldzustandes im Langnauerwald im Hinblick auf ihre Wirkung gegen flachgründige Rutschungen kann als gegeben betrachtet werden, da sowohl die Anforderungen an die Tragsicherheit, die Gebrauchstauglichkeit sowie die Dauerhaftigkeit erfüllt sind.

Gemäss Beurteilung des Schutzwaldes anhand des Formulars 2 nach NaIS befinden sich alle Kriterien im Bereich des Minimalprofils. Bei den Entwicklungstendenzen zeigt sich dasselbe Bild – lediglich für das Gefüge, die Stabilität sowie die Verjüngung wird erwartet, dass sich der Zustand bis in 50 Jahren negativ verändern wird. Mit regulären Pflegeeingriffen, wie sie gemäss waldbaulicher Massnahmenplanung vorgesehen sind, können diese aber korrigiert und damit auch die Kontinuität der Schutzwirksamkeit gewährleistet werden.

Als relevante Gefährdungsbilder kommen im Langnauerwald Störungen wie Sturm, Trockenheit sowie biotische Schäden (beispielsweise Eschentriebsterben, Borkenkäfer) in Frage. Aufgrund des durch Baumartenmischung, Gefüge und Stabilität bestimmten Zustandes sind aber keine grossflächigen Zusammenbrüche zu erwarten bzw. wenig wahrscheinlich. Auch allfällige Nassschnees Schäden dürften eher zu lokaleren Streuschäden führen.

#### 4.2.2 Langnauerwald: Wirkungsbeurteilung (Überblick Szenarien und Intensitätskarten)

Mit den Modellierungen konnten Anriss, Auslauf und dazugehörige Intensitäten für das 10-, 30-, 100- sowie 300-jährliche Ereignis im Langnauerwald jeweils für die Varianten ohne Wald und mit Wald berechnet werden. Wie die Resultate zeigen, führen alle acht modellierten Szenarien zu unterschiedlichen betroffenen Gleisabschnitten und Intensitäten. Der heutige Wald in seinem aktuellen Zustand kann die von Rutschungen betroffenen Streckenlängen dabei massgeblich reduzieren, vermag aber Rutschungen nicht grundsätzlich zu verhindern (Tabellen 11 und 12). Insgesamt ist mit Wald durchschnittlich 61 % weniger Strecke betroffen und die Intensität je Szenario reduziert sich.

Tabelle 11: Übersicht der modellierten Szenarien (Anzahl Spalten und Zeilen) für den Langnauerwald.

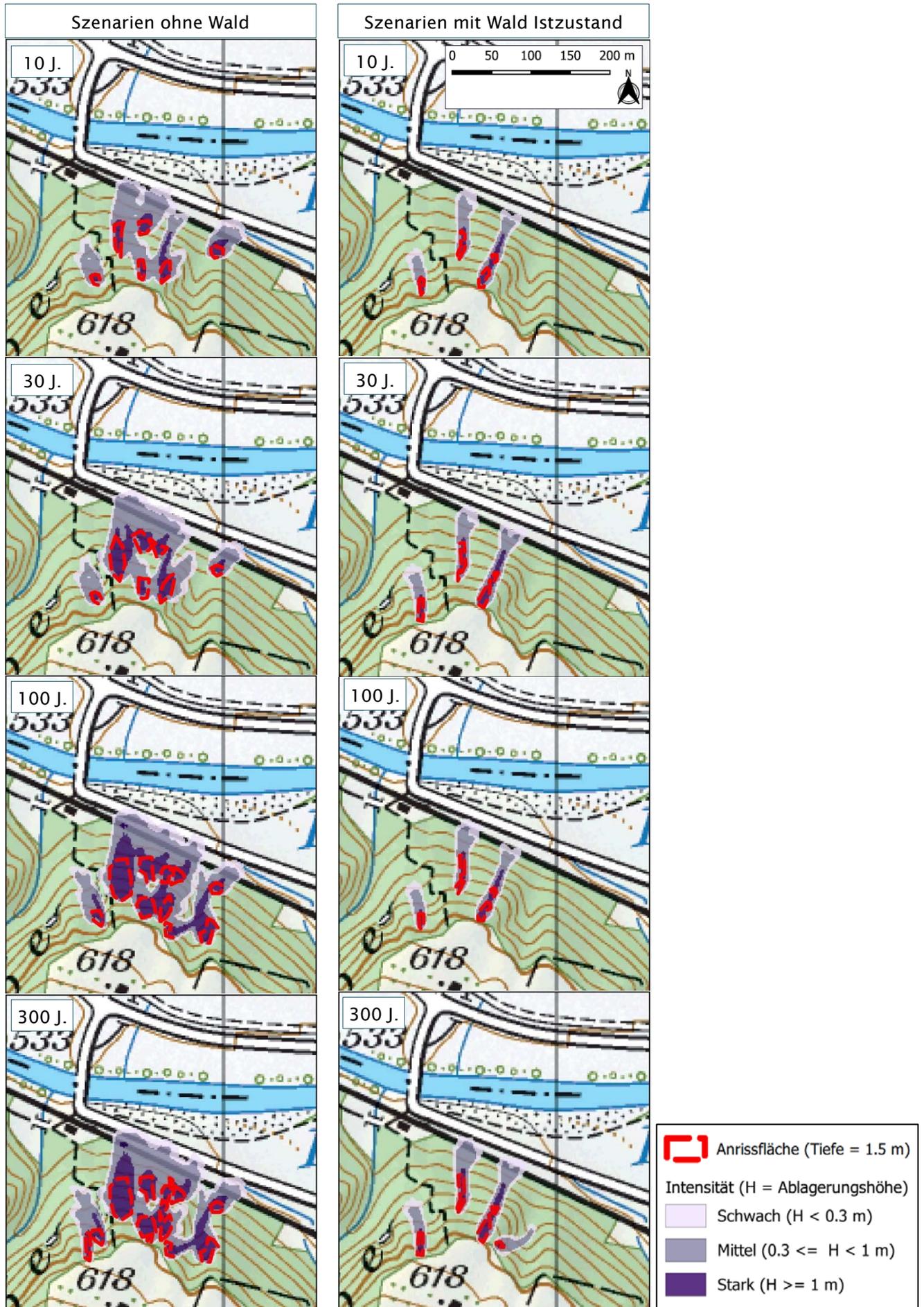
	10 J.	30 J.	100 J.	300 J.
<b>Ohne Wald</b>	10 J. ohne Wald	30 J. ohne Wald	100 J. ohne Wald	300 J. ohne Wald
<b>Wald Istzustand</b>	10 J. Wald IST	30 J. Wald IST	100 J. Wald IST	300 J. Wald IST

Tabelle 12: Betroffene Streckenlängen im Langnauerwald in Abhängigkeit der Intensität und Wiederkehrperiode. Die Intensitätsklassen sind folgendermassen abgekürzt: int1 = schwache Intensität, int2 = mittlere Intensität, int3 = starke Intensität.

Langnauerwald	SZ 1: 10 J.			SZ 2: 30 J.			SZ 3: 100 J.			SZ 4: 300 J.		
	int1	int2	int3	int1	int2	int3	int1	int2	int3	int1	int2	int3
<b>Ohne Wald</b>	47	93	0	28	117	0	19	137	8	14	138	12
<b>Wald Istzustand</b>	44	0	0	42	8	0	46	14	0	35	36	0

#### Intensitätskarten Langnauerwald

Die Intensitätskarten Langnauerwald für die Szenarien „ohne Wald“ sowie „Wald Istzustand“ sind auf der nachfolgenden Seite dargestellt.



### 4.2.3 Langnauerwald: Risikoanalyse und Kostenwirksamkeit

Für den Langnauerwald ergibt sich aufgrund der Personen- und Sachwerte ein gesamtes Schadenpotenzial von 361'333'200.-. Das Schadenausmass je nach Szenario kann der Konsequenzenanalyse in Anhang D entnommen werden.

Aus diesem lässt sich für die Ausgangslage ohne Wald ein jährliches Risiko von total 207'561 CHF/ Jahr errechnen. Mit Wald gemäss heutigem Zustand („Wald Istzustand“) reduziert sich das Gesamtrisiko beträchtlich (Risikoreduktion: 110'675 CHF / Jahr). Das Nutzen-Kosten-Verhältnis ist damit weit grösser als 1 (N/K = 46.8), da die jährlichen Massnahmenkosten auf 2'363.- geschätzt wurden (Tabelle 13, Abbildung 14).

Alle Ergebnisse der Risikoanalyse in EconoMe sind in Anhang D ersichtlich.

Tabelle 13: Übersicht Resultate der Risikoanalyse für den Langnauerwald

Langnauerwald	Vor Massnahme	Nach Massnahme
	ohne Wald	Wald Istzustand
<b>Individuelles Todesfallrisiko</b>	$4.8 * 10^{-4}$	$1.40 * 10^{-4}$
<b>Risiko Personen</b>	92'183 CHF/a	25'296 CHF/a
<b>Risiko Sachwerte</b>	115'378 CHF/a	71'590 CHF/a
<b>Kollektives Risiko</b>	207'561 CHF/a	96'886 CHF/a
<b>Risikoreduktion</b>	-	110'675 CHF/a
<b>Nutzen-Kosten-Verhältnis</b> (Massnahmenkosten: 2363.-/a)	-	46.8

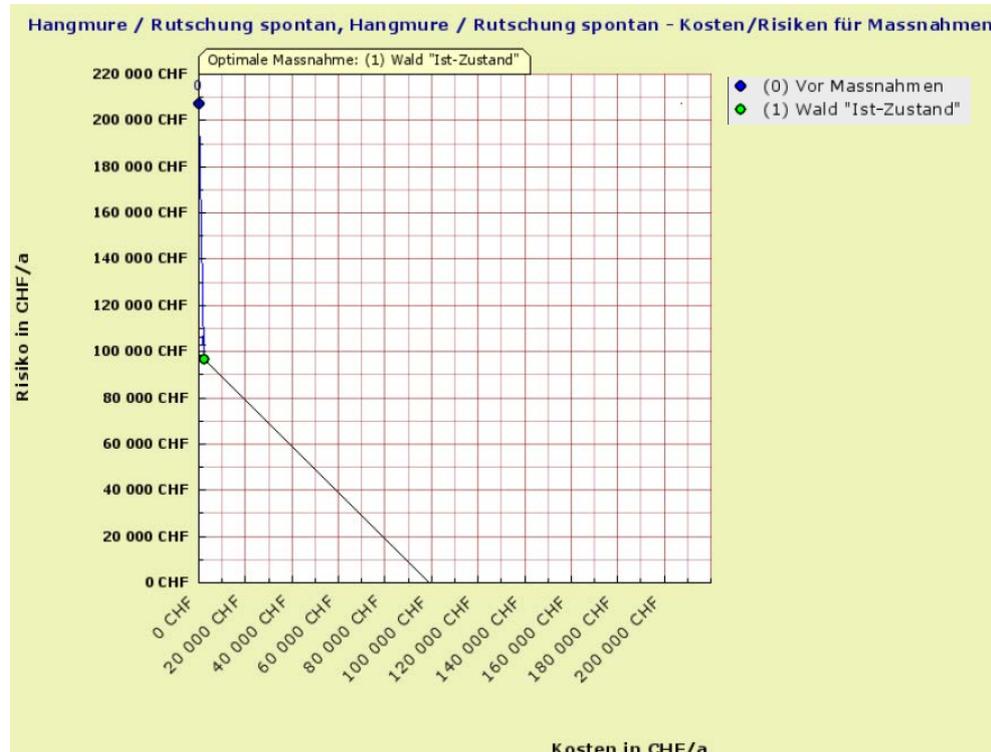


Abbildung 14: Kosten/Risiken für Szenarien ohne Wald («vor Massnahme») bzw. nach Massnahme «Wald Istzustand».

#### 4.2.4 Langnauerwald: Waldbauliche Massnahmen Ausgangslage

Der Langnauerwald ist als Wald mit besonderer Schutzfunktion ausgeschieden und den Zieltypen „Rutsch/Murgang in sauren bis basenreichen Buchenwäldern“ zugewiesen. Mit einer Lage von ca. 550 m ü. M. gehört er der untermontanen Höhenstufe an. Die Waldstandorte sind hauptsächlich von Waldhirschen-Buchenwäldern (8f, 8g, 8a, teilweise in feuchterer Variante 8aS) geprägt, der Bestand besteht vorwiegend aus schwachem bis mittlerem Baumholz und einem Laubholzanteil von rund 70-80 %. Im nordöstlichen Teil der Fläche finden sich auch jüngere Flächen mit Stangenholz. Im unteren Bereich des Bestandes findet sich ein niedriger Waldgürtel, der hauptsächlich aus Hasel besteht. Eine offene Rutschfläche entlang des Gerinnes, welche mit Drainagemassnahmen stabilisiert wird, prägt die Fläche im östlichen Teil. Aufgrund der Muldenlage sowie der Konkurrenzvegetation konnte sich in jenem Bereich noch keine stabile Verjüngung etablieren (vgl. Abbildung 15).

Der Langnauerwald ist nur unzureichend erschlossen; eine Güterstrasse 2. Klasse führt lediglich von der Kantonsstrasse weg und westlich des Projektperimeters entlang. Eine entsprechende Zufahrt mit LKW ist deshalb schwierig bzw. nicht möglich. Der schmale Waldweg entlang der Holzpalisaden unterhalb des Langnauerwaldes ist nur mit einem Schlepper befahrbar. Die Höfe Dütscheberg sind von Osten her über eine Güterstrasse 3. Klasse erschlossen; für die Holzernte mit einem Yarder müsste ggf. ein Teilausbau der Strasse in Betracht gezogen werden.

In Anhang C befindet sich eine zusätzliche Fotodokumentation, die waldbauliche Beurteilung nach NaiS (Formular 2) sowie alle verwendeten Grundlagenkarten (z.B. Bestandeskarte, Waldsoziologie, Erschliessungssituation, Grundbuchplan, Karte waldbauliche Planung).

#### Waldbauliche Beurteilung und Massnahmenvorschlag

Die waldbauliche Beurteilung und Herleitung des Handlungsbedarfs nach NaiS mit Hilfe des Formulars 2 (vgl. Anhang C) ergibt folgendes Bild: Grundsätzlich sind die minimalen Anforderungen gemäss Standort und Naturgefahr heute über die gesamte Fläche erfüllt. Es handelt sich um einen gut wüchsigen und verjüngungsfreudigen Standort. Negative Entwicklungstendenzen in den kommenden 50 Jahren sind hinsichtlich Gefüge, Stabilität und Verjüngung zu erkennen, können aber mit waldbaulichen Eingriffen gesteuert werden: Mit einem gezielten, femelschlagartigen Eingriff ist es möglich, die Stufigkeit und Stabilität zu fördern sowie die Verjüngung einzuleiten resp. wo vorhanden zu fördern.

Als waldbauliche Massnahmen wird folgendes vorgeschlagen:

- truppweises Freistellen der kleineren Durchmesserklassen, besonders von Tanne und Buche
- Begünstigung der vorhandenen Ansamung und Auflichten für alle Laubbaumarten, wobei diese für Bergahorn etwas grossflächiger ausfallen darf
- Wo möglich Variation in der Ausrichtung der Hiebsränder zur Förderung der Verjüngungsvielfalt
- Förderung der Tanne (erwünscht aufgrund Wurzelwirkung und erzieherischem Effekt als Nadelbaum für Stabilität der Laubbaumarten)
- Erhalt bzw. Förderung stabiler Strukturen (ggf. gruppenweise Entnahme), Entnahme einzelner instabiler Elemente, ggf. vorhandene Hasel im Hauptbestand wegpflegen



Abbildung 15: Bestandesbilder Langnauerwald. Oben: Auf einem Grossteil der Fläche findet sich ein baumholzdominierter Mischbestand. Mitte: Der unterste Teil des Langnauerwaldes besteht aus einem niedrigen Waldgürtel, der hauptsächlich aus Hasel besteht. Unten: Blick auf die offene Rutschfläche.

Einen Spezialfall bildet die grosse Rutschungsfläche (offene Runse) im östlichen Teil des Projektperimeters (vgl. Abbildung 16), welche drainiert und mit einem Holzkasten stabilisiert wird. Im **unteren Teil** handelt es sich um eine stellenweise waldfreie Offenfläche mit verjüngungsfeindlichen Bedingungen (feuchte Verhältnisse, Vegetationskonkurrenz). Zu den Kuppen hin ist zwar Verjüngung vorhanden, diese ist allerdings instabil und teilweise von Hasel und Waldrebe dominiert. Für diesen Bereich soll im Rahmen der Schutzwaldpflege versucht werden, den Wald bzw. bestehende, entwicklungsfähige Verjüngung von der waldfreundlicheren Kuppe her (Randbereich Runse im Übergang zum geschlossenen Bestand) in Richtung Mulde zu erweitern.

Hasel und Waldrebe sowie weitere verjüngungshemmende Konkurrenzholzer können weggepflegt und vorhandene stabile Einzelbäume und bestehende Verjüngungsansätze – insbesondere der Tanne – freigestellt und so gefördert werden. Weil dieser untere, stellenweise eher flachere Bereich aber nicht als potenzielles Anrissgebiet fungiert, werden keine intensiven Massnahmen wie Pflanzungen vorgeschlagen.

Im **oberen Teil** zur Hangkante hin scheint es hingegen zielführend, mittels über die reguläre Schutzwaldbewirtschaftung hinausgehende Spezialmassnahmen zu versuchen, den Hang zu stabilisieren. Der obere, östliche Teil der Rutschfläche ist bewaldet und heute stabil. Hier empfiehlt sich eine reguläre Schutzwaldbewirtschaftung gemäss NaiS. Eine dauernde, stufig aufgebaute Waldbestockung mit Ahorn, Buche und ggf. Tanne ist wünschenswert. Falls sich entgegen der Erwartung durch Erosion und kleinere Rutschaktivitäten hier neue, offene Flächen bilden, sollten diese ggf. mittels ingenieurbioologischen Massnahmen (Saat, Pflanzung) ergänzt werden. Die westliche Verzweigung an der Hangkante, welche heute teilweise vegetationsfrei ist (offener Boden), sollte mittels ingenieurbioologischen Massnahmen (Saat, Pflanzung) behandelt werden, um Erosion zu vermeiden und den Boden durch die aufkommende Vegetation zu stabilisieren.

Der östlich von der Rutschfläche gelegene, flachere Teilbereich (ältere Windwurffläche mit Pflanzungen) kann bei einem Eingriff ebenfalls behandelt und ggf. mit einer gezielten Pflege einzelner Baumarten gefördert werden. Da es sich um einen Bereich handelt, welcher für flachgründige Rutschungen aufgrund der Hangneigung und dem flachen Auslaufbereich nicht relevant ist, wird auf eine detailliertere waldbauliche Empfehlung im Rahmen dieses Projekts verzichtet.

Im Gegensatz zum Hauptbestand des Waldes, in welchem die Hasel unerwünscht ist und weggepflegt werden soll, kann der unterste, hauptsächlich aus Hasel bestehende Waldgürtel aus waldbaulicher Sicht so belassen bzw. niedrig gehalten werden. Dies sowohl im Sinne eines Sicherheitsstreifens in der Nähe der Bahnlinie wie auch aus Sicht Naturgefahr, da die Wurzelverstärkung in diesem spezifischen Fall aufgrund des flachen Hangfusses nicht mehr massgebend ist.

### **Holzernte und Kosten**

Es kann davon ausgegangen werden, dass durch die oben genannten, regulären Schutzwaldpflegemassnahmen für den Grossteil der Fläche eine Entnahme von ca. 25-30 % des Holzvorrates erfolgt. Die geschätzten Kosten belaufen sich auf rund 12'000.- /ha, welche aber stark vom gewählten Holzernteverfahren abhängen. Da die Erschliessung als unzureichend zu beurteilen ist, ist bei der Detailplanung nochmals zu prüfen, ob ein Ausbau der von Westen her zum Dütscheberg führenden Waldstrasse nötig ist. Eine solche muss sorgfältig geplant und mit entsprechenden baulichen Massnahmen umgesetzt werden (z.B. Drainage etc.), um das Risiko für neue Rutschungsausbrüche nicht zu vergrössern. Im Falle eines Ausbaus wäre mit höheren Kosten zu rechnen, das gesamte Gebiet könnte dann aber bewirtschaftet werden (Yarder). Dies hängt insbesondere auch davon ab, ob der östliche, flachere Teil des Langnauerwaldes, durch welchen die Dütschebergstrasse führt – welcher aber hinsichtlich flachgründiger Rutschungen wenig relevant ist – ebenfalls waldbaulich behandelt werden soll oder nicht. Wenn dies nicht der Fall ist, kann der angedachte Eingriff ggf. auch mit einer etwas geringeren Holzentnahme durchgeführt werden. Im oberen Bereich würden Stämme entweder gezielt liegen gelassen oder in Ausnahmefällen mit dem Helikopter entnommen werden. Von unten her ist es möglich, mit einem Schlepper den schmalen Waldweg entlang der Bahnlinie zu nutzen und durch Zuseilen die Bäume auf den unteren 30 bis 40 m zu entnehmen. Das Rücken bzw. Umladen für den Abtransport an der relativ schmalen Zubringerstrasse von der Kantonsstrasse her wäre im konkreten Fall abzuklären. Es ist in jedem Fall auf eine sorgfältige, bestandes- und bodenschonende Holzernte zu achten.

Zusätzlich zur regulären waldbaulichen Behandlung gemäss NaiS (welche bei einer Flächengrösse von 3.8 ha mit einem Turnus von 20 Jahren und geschätzten Pflegekosten von 12'000.-/ha zu jährlichen Unterhaltskosten von 2'280.- führt) müssen für die speziellen ingenieurbioologischen Massnahmen im obersten, westlichen Teil der offenen Rutschfläche weitere Investitionen getätigt werden. Diese sind für die Massnahmendefinition in EconoMe mit CHF 5000.- veranschlagt. Die Annahme beruht auf einer Kostenschätzung von CHF 10'000.-/ha; die entsprechende Fläche ist aber wesentlich kleiner (ca. 0.3 ha).

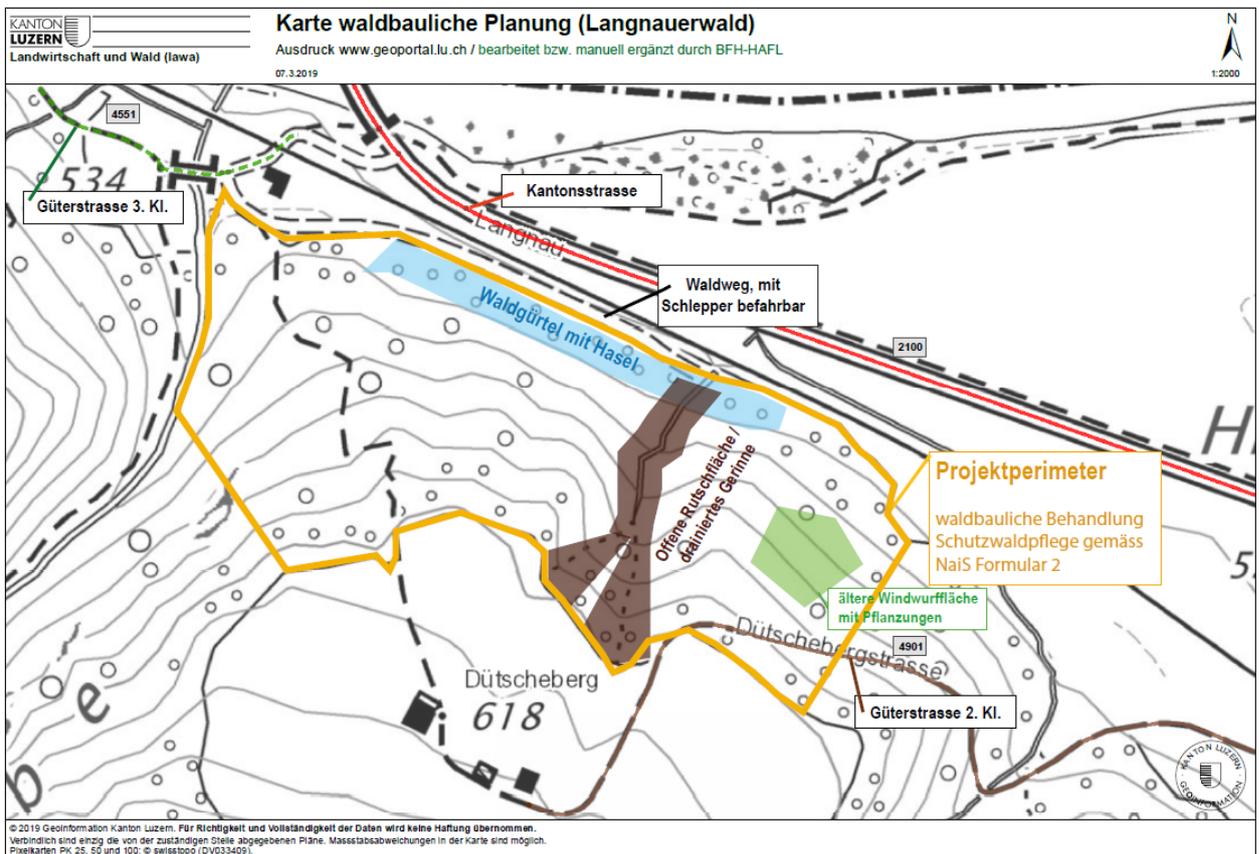


Abbildung 16: Übersicht und waldbauliche Planung Langnauerwald. Quelle: Kanton Luzern, bearbeitet bzw. manuell ergänzt durch BFH-HAFL.

### 4.3 Schächliwald (LU)

Das Fallstudiengebiet befindet sich zwischen den Ortschaften Entlebuch und Wolhusen westlich von Ebnet (Abbildung 17). Unterhalb des Schächliwaldes, dessen relevante Projektfläche rund 4.3 ha aufweist, verläuft die einspurige Bahnlinie, welche ausschliesslich für den Personenverkehr genutzt wird.

Geologisch befindet sich das rund 30°-35° geneigte Gebiet im Molassebecken, welches aus unterschiedlichen Konglomerat- und Sandsteinschichten besteht. Hänge und Mulden sind meist mit Ablagerungsmaterial bedeckt. Der Boden weist eine fortgeschrittene Entwicklung auf und ist als Braunerde klassifiziert.

Einige stumme Zeugen weisen auf ehemalige Ereignisse hin. Dokumentierte Ereignisse sind im Ereigniskataster nicht zu finden.

Der Waldbestand weist eine geschlossene Struktur auf mit Ausnahme von zwei kleineren, offenen Flächen kleiner Grösse, welche aufgrund ihrer Vernässung eine entsprechende Waldentwicklung verhindern.

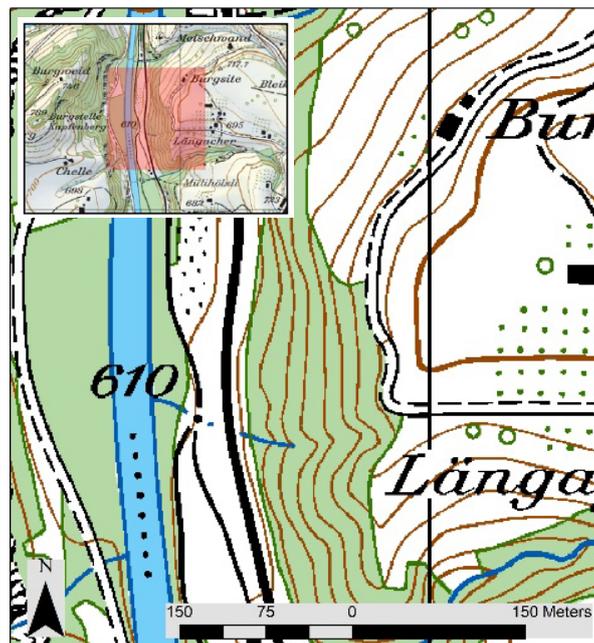


Abbildung 17: Lage des Fallstudiengebiets Schächliwald

#### 4.3.1 Schächliwald: Resultate der Grob- und Massnahmenbeurteilung Grobbeurteilung gemäss PROTECT Bio

Der beurteilte Schutzwaldperimeter des Schächliwaldes ist rund 4.3 ha gross. Es handelt sich dabei um einen geschlossenen Bestand mit einem Deckungsgrad von rund 80 %. Lücken grösser als 10 a sind kaum vorhanden – die wenigen, offenen Flächen machen kaum 10 % der Gesamtfläche aus. Damit kann die Relevanz des Schutzwaldes gegenüber flachgründigen Rutschungen als erfüllt betrachtet werden.

#### Massnahmenbeurteilung gemäss PROTECT Bio

Wie die Beurteilung der Schutzwirksamkeit des Waldes gemäss Formular 2 nach NaIS ergibt, befindet sich der aktuelle Zustand des Schächliwaldes zwischen dem Minimal- und Idealprofil. Die Kriterien „Tragsicherheit“ und Gebrauchstauglichkeit sind somit erfüllt. Auch hinsichtlich der Dauerhaftigkeit ergibt sich eine positive Beurteilung: Einzig beim Gefüge vertikal zeigt die Entwicklungstendenz in den kommenden 50 Jahren an, dass sich die Struktur vermutlich unterhalb des Minimalprofils befinden wird. Mit einem regulären Eingriff sollte diese Tendenz aber korrigiert werden können.

Wie auch im Langnauerwald kommen als relevante Gefährdungsbilder nebst Sturmschäden auch Trockenheit sowie biotische Störfaktoren in Frage. Aufgrund der Baumartenmischung sowie des heute relativ guten Gefüges und aufkommender Verjüngung kann aber davon ausgegangen werden, dass eine genügend hohe Störungsresistenz vorhanden ist, so dass keine flächigen Zusammenbrüche zu erwarten sind. Ebenso sind Nassschnees Schäden wohl nur in den lokal begrenzten, jüngeren und tendenziell homogeneren Beständen problematisch, nicht aber über die ganze Fläche.

Auch im Schächliwald wird deshalb die Zuverlässigkeit des Schutzwaldes als gegeben betrachtet.

#### 4.3.2 Schächliwald: Wirkungsbeurteilung (Überblick Szenarien und Intensitätskarten)

Auch im Schächliwald wurden insgesamt acht Szenarien simuliert. Es zeigte sich, dass zwischen dem 10- und dem 30-jährlichen Ereignis für die Variante „mit Wald“ keine Unterschiede in der betroffenen Streckenlänge bestehen (Tabelle 14 und 15). Wie die Modellierungen zeigen, kann auch in diesem Fallstudiengebiet der Wald in seinem aktuellen Zustand die von Rutschungen betroffenen Streckenlängen sowie die auftretende Intensität erheblich reduzieren (69 % weniger Streckenlänge betroffen, Reduktion der Intensitäten im 10- und 30-jährlichen Szenario).

Tabelle 14: Übersicht der modellierten Szenarien (Anzahl Spalten und Zeilen) für den Schächliwald

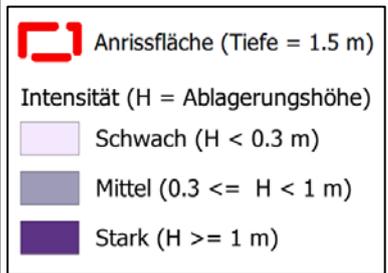
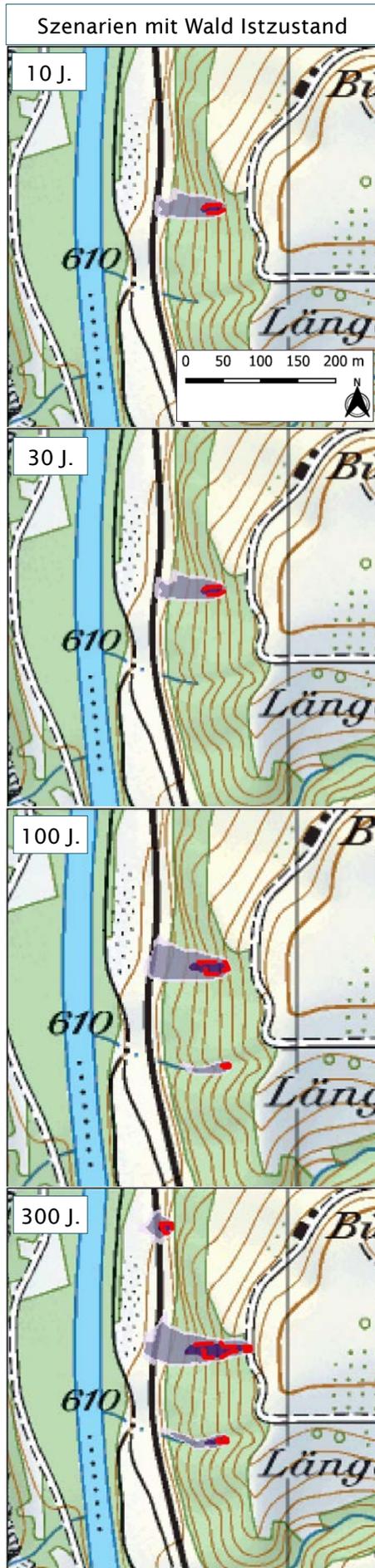
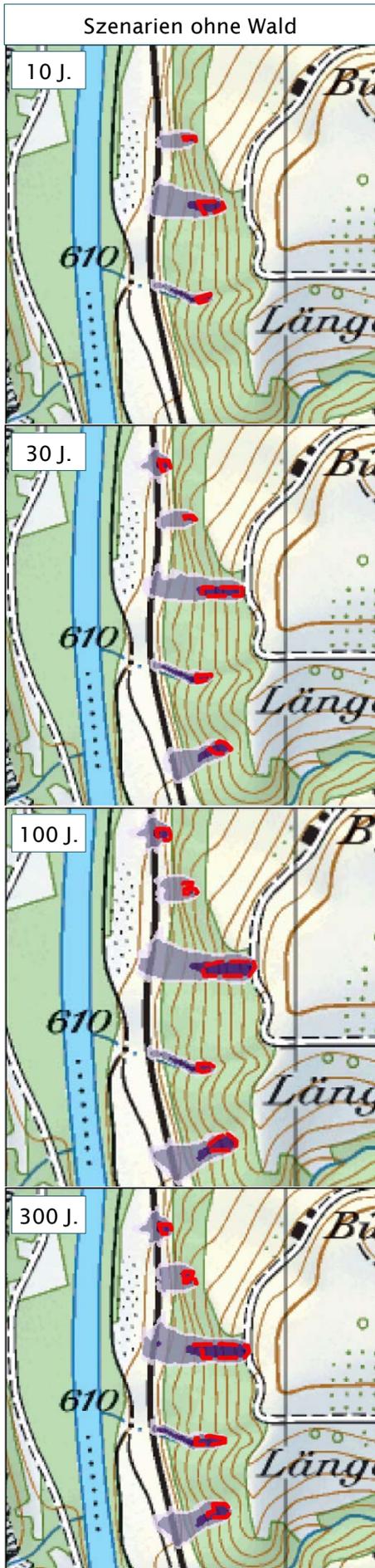
	10 J.	30 J.	100 J.	300 J.
<b>Ohne Wald</b>	10 J. ohne Wald	30 J. ohne Wald	100 J. ohne Wald	300 J. ohne Wald
<b>Wald Istzustand</b>	10 J. Wald IST	10/30 J. Wald IST	100 J. Wald IST	300 J. Wald IST

Tabelle 15: Betroffene Streckenlängen im Schächliwald in Abhängigkeit der Intensität und Wiederkehrperiode. Die Intensitätsklassen sind folgendermassen abgekürzt: int1 = schwache Intensität, int2 = mittlere Intensität, int3 = starke Intensität.

Schächliwald	SZ 1: 10 J.			SZ 2: 30 J.			SZ 3: 100 J.			SZ 4: 300 J.		
Szenario	int1	int2	int3	int1	int2	int3	int1	int2	int3	int1	int2	int3
<b>Ohne Wald</b>	41	54	0	82	105	11	104	110	13	79	148	15
<b>Wald Istzustand</b>	27	0	0	27	0	0	16	35	0	29	69	11

#### Intensitätskarten Schächliwald und betroffene Streckenlängen

Die Intensitätskarten für die Szenarien „ohne Wald“ sowie „Wald Istzustand“ für den Schächliwald sind auf der nachfolgenden Seite dargestellt.



### 4.3.3 Schächliwald: Risikoanalyse und Kostenwirksamkeit

Das Schadenpotenzial im Schächliwald beläuft sich insgesamt auf 228'374'600.-. Aus dem Schaden ausmass (siehe Konsequenzenanalyse in Anhang D) lässt sich damit ein jährliches Risiko von CHF 76'115.- ohne Wald bzw. CHF 19'935.- mit dem heutigen Waldzustand errechnen. Die Risikoreduktion im Schächliwald beträgt damit dank des Schutzwaldes 56'180.- jährlich. Demgegenüber stehen jährliche Massnahmenkosten (Schutzwaldpflege) von 2580.-/Jahr, was einem Nutzen-Kosten-Verhältnis von 21.8 entspricht (Tabelle 16 und Abbildung 18).

Alle Ergebnisse der Risikoanalyse in EconoMe sind in Anhang D ersichtlich.

Tabelle 16: Übersicht Resultate der Risikoanalyse für den Schächliwald

Langnauerwald	Vor Massnahme	Nach Massnahme
	ohne Wald	Wald Istzustand
<b>Individuelles Todesfallrisiko</b>	$1.76 \cdot 10^{-4}$	$6.08 \cdot 10^{-5}$
<b>Risiko Personen</b>	22'741 CHF/a	6'928 CHF/a
<b>Risiko Sachwerte</b>	53'373 CHF/a	13'007 CHF/a
<b>Kollektives Risiko</b>	76'115 CHF/a	19'935 CHF/a
<b>Risikoreduktion</b>	-	56'180.- CHF/a
<b>Nutzen-Kosten-Verhältnis</b> (Massnahmenkosten: 2580.-/a)	-	21.8

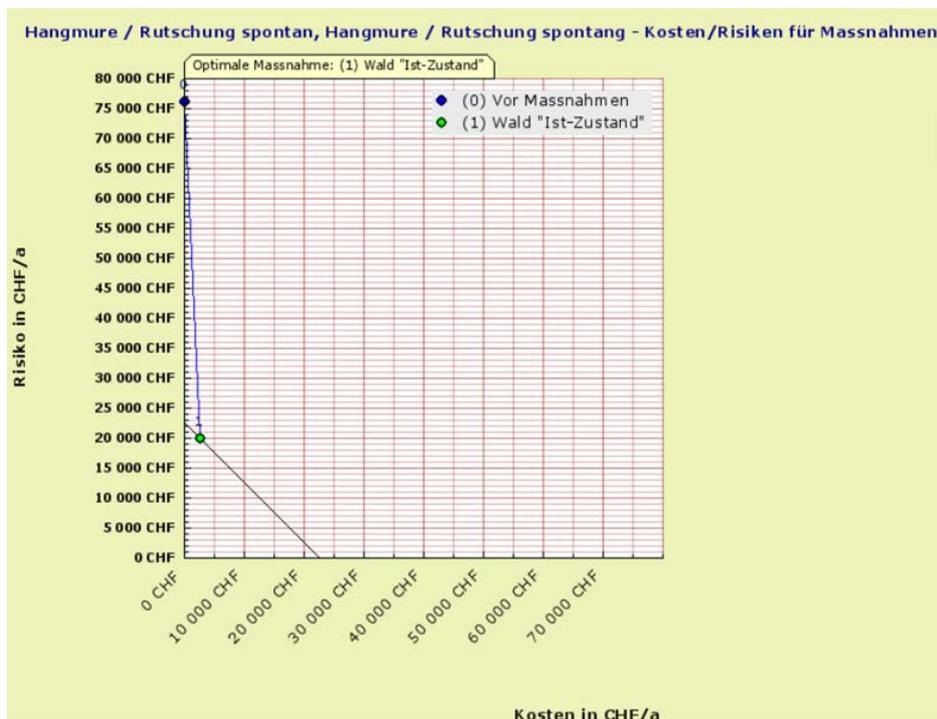


Abbildung 18: Kosten/Risiken für Szenarien ohne Wald ("vor Massnahme") bzw. den Wald mit heutigem Zustand («nach Massnahme») im Schächliwald

### Ausgangslage

Der Schächliwald befindet sich auf einer Höhe von rund 650 m ü.M. in der submontanen Höhenstufe. Vorwiegend ist er geprägt von Waldmeister-Buchenwäldern, teilweise in feuchterer Ausprägung (7aS) oder im Übergang zu 9a und 10w. In vernässten Mulden finden sich auch Ahorn-Eschenwälder (26f/29e). Damit handelt es sich gemäss den im Kanton Luzern ausgeschiedenen Zieltypen um „Rutsch/Murgang in sauren bis basenreichen Buchenwäldern“. Der Bestand kann grob in drei Gebiete unterteilt werden: Der grösste Bereich besteht aus schwachem bis mittlerem Baumholz, daneben finden sich aber auch Flächen, welche von Jungwuchs/Dickung sowie Stangenholz geprägt sind. Jene finden sich vorwiegend im mittleren und südlichen Teil, oftmals entlang von Gräben. Im mittleren Bereich der Fläche befindet sich ein Graben mit vernässten Partien, welcher das Aufkommen eines geschlossenen Waldbestandes verhindert. Beim Schächliwald handelt es sich um einen gemischten Laubholzbestand mit rund 25 % Nadelholzanteil. Von oben her ist der Bestand durch eine Güterstrasse 2. Klasse erschlossen.



Abbildung 19: Typisches Bestandesbild im Schächliwald (oben) und Blick auf die stellenweise stark vernässte Mulde im mittleren Bereich der Fläche (unten)

In Anhang C befindet sich eine zusätzliche Fotodokumentation, die waldbauliche Beurteilung nach NaiS (Formular 2) sowie alle verwendeten Grundlagenkarten (z.B. Bestandeskarte, Waldsoziologie, Erschliessungssituation, Grundbuchplan, Karte waldbauliche Planung).

### Waldbauliche Beurteilung und Massnahmenvorschlag

Im Schächliwald herrscht eine gute Ausgangslage mit einem relativ grossen Handlungsspielraum und meist guter Verjüngungsgunst vor. Die waldbauliche Beurteilung und Herleitung des Handlungsbedarfs nach NaiS (vgl. Anhang C) zeigt, dass sich der aktuelle Waldzustand zwischen Minimal- und Idealprofil befindet. Einige wenige negative Entwicklungstendenzen lassen in den nächsten 50 Jahren eine Abnahme der nachhaltigen Schutzwirkung erwarten. Mit einer gezielten waldbaulichen Behandlung soll die Stufigkeit bewahrt bzw. gefördert werden. Als waldbauliche Massnahmen werden vorgeschlagen:

- Förderung der Stufigkeit unter Wahrung der kollektiven Stabilität (gruppenweise Entnahme)
- Gleichzeitige Förderung bzw. Einleitung der standortgerechten Verjüngung in den neu entstehenden Öffnungen
- Förderung verschiedener Laubholzarten
- Förderung der Tanne: positive Bodenstabilisierungseigenschaften sowie erzieherischer Effekt (Stabilität Buchen), auch wenn gemäss Anforderungsprofil NaiS nicht gefordert

Den jüngeren Beständen entlang der Gräben ist besonderes Augenmerk zu schenken: Wenn die natürliche Ausdifferenzierung entgegen der Erwartung zu instabilen, homogenen Teilbeständen führen würde, müssten diese mittels pflegerischer Massnahmen strukturiert werden.

Beim, heute teilweise offenen und vernässten Graben im mittleren Bereich des Schächliwaldes (vgl. Abbildung 20) ist darauf zu achten, dass dieser Bereich bei einem Eingriff nicht weiter geöffnet wird. Stabile Einzelbäume und aufkommende Verjüngung im Randbereich können gezielt gefördert und von Konkurrenzvegetation freigestellt werden. Eine speziell intensive Massnahme wie etwa der ingenieurbioökologische Verbau oder eine Pflanzung mit Ahorn oder Erle wird nicht als zielführend erachtet: Einerseits ist in diesem Bereich keine erhöhte aktivierte Wurzelverstärkung zu erwarten, andererseits beschränkt sich die Ausdehnung der offenen Fläche auf einen relativ kleinen Bereich.

## Holzernte und Kosten

Mit den oben genannten Massnahmen zur waldbaulichen Behandlung des Schächliwaldes dürften rund 25 % des bestehenden Vorrates entnommen werden. Aufgrund der relativ guten Erschliessungslage ist davon auszugehen, dass bei einem entsprechenden Eingriff mit Kosten von maximal rund 12'000.-/ha zu rechnen ist. Die Holzernte kann von der Strasse her mit einem Yarder oder Mobilseilkran mit sternförmigen Seillinien erschlossen werden. Gegebenenfalls wäre es auch möglich, gewisse Teile im südlichen Bereich per Bodenzug zu bewirtschaften. Der nördliche Teil (Nähe Burgsiten) ist nicht direkt erschlossen. Dort sollte das Holz wo möglich gezielt liegen gelassen oder in Ausnahmefällen mit dem Helikopter entnommen werden.

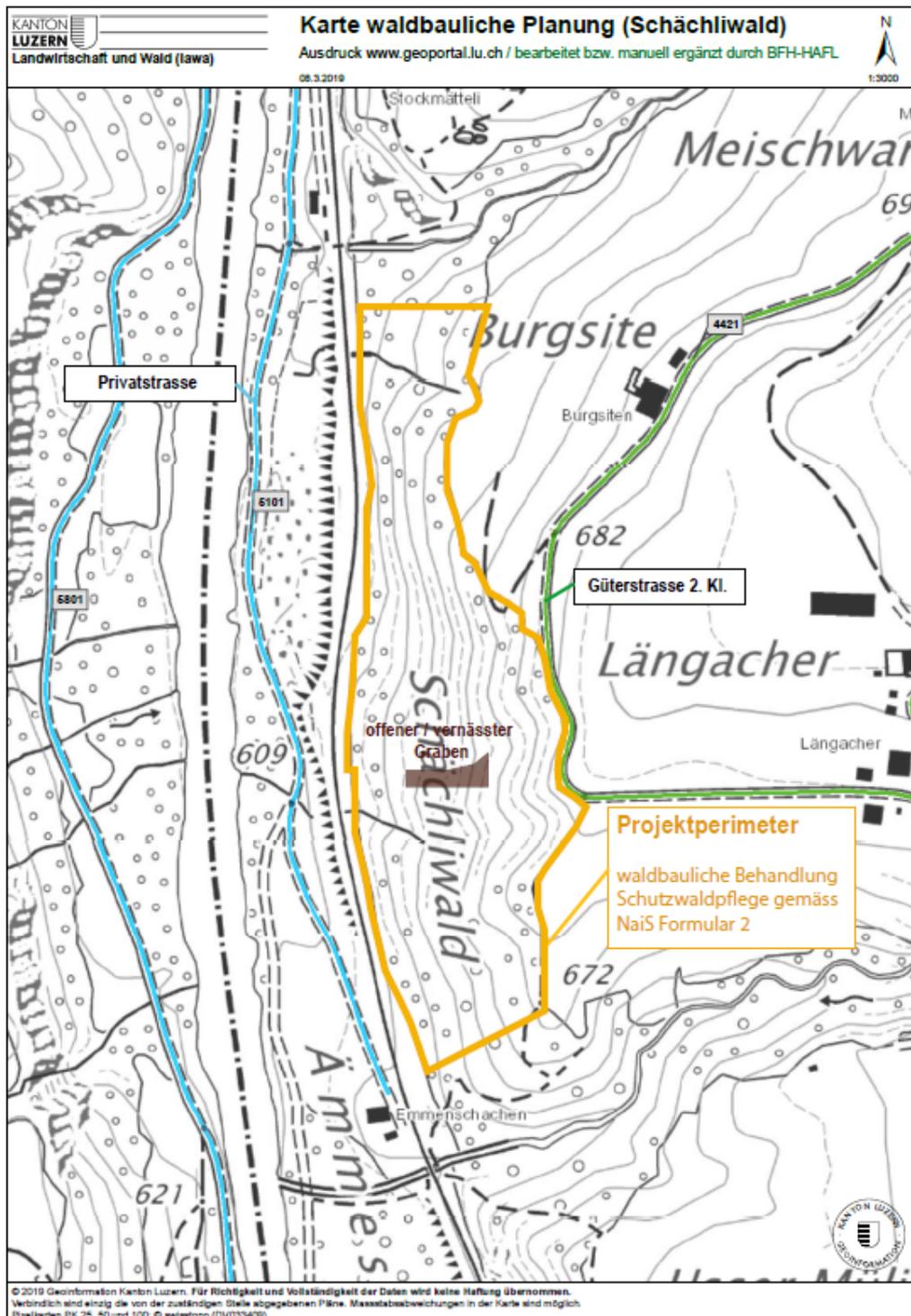


Abbildung 20: Übersicht und waldbauliche Planung Schächliwald. (Quelle: Kanton Luzern, bearbeitet bzw. manuell ergänzt durch BFH-HAFL)

## 5 Diskussion der Resultate

### 5.1 Allgemeines Vorgehen

Dieses Projekt hatte zum Ziel, die Wirkung des Schutzwaldes zu quantifizieren. Dazu sollte das Konzept PROTECT Bio anhand von drei Fallbeispielen angewendet werden.

Für flachgründige Rutschungen wurden bislang keine Studien durchgeführt, welche diesen Ansatz von der Grobbeurteilung bis hin zur Risiko- und Kostenwirksamkeitsanalyse anwenden. Während sich beispielsweise Berwert et al. (2010) hauptsächlich mit der Anwendung der Grob- und insbesondere Massnahmenbeurteilung des Schutzwaldes gegen Rutschungen gemäss PROTECT Bio befassen, beschäftigen sich andere Studien mehrheitlich mit der Gefahrenbeurteilung und Risikoanalyse, ohne Massnahmen- und Wirkungsbeurteilung direkt mit PROTECT Bio in Verbindung zu bringen.

Bislang hat sich die Gefahrenanalyse („Wirkungsbeurteilung“) von flachgründigen Rutschungen darüber hinaus in der Praxis mehrheitlich auf gutachterliche Beurteilungen beschränkt. In diesem Pilotprojekt versuchen wir, das Potenzial der neuen Kenntnisse und Werkzeuge zu nutzen, um Eintretenswahrscheinlichkeiten mit und ohne Wald nachvollziehbar und objektiv zu rechnen. Ein zusätzlicher Vorteil ist die Reproduzierbarkeit des Vorgangs.

Die Quantifizierung der Schutzwirkung des Waldes gegenüber flachgründigen Rutschungen wurde bislang nicht explizit durchgeführt. Mit SOSlope wird es nun möglich, diese zu berechnen – unabhängig davon, ob die Prozesse real abgebildet werden, kann die Wirkung der Wurzeln (aktivierte Wurzelverstärkung) berechnet werden. Gegenüber bisherigen Methoden zur Beurteilung der Waldwirkung gegenüber flachgründigen Rutschungen ist die im vorliegenden Projekt angewendete Methodik mit einem höheren Aufwand für die Berechnungen verbunden. Dank dieser wird aber die Feldarbeit vereinfacht, da eine gezielte Beurteilung und Verifizierung möglich wird.

Das gemäss PROTECT Bio vorgeschlagene Vorgehen zur Beurteilung der Wirkung des Schutzwaldes als Grundlage für ihre Berücksichtigung bei Risikoanalysen diene uns als Grundlage. Weil bezüglich der Wirkung gegen flachgründige Rutschungen lange Zeit quantitative Modelle fehlten, beschränkt sich die Empfehlung auf einfache Kriterien und teilweise rein qualitative Beurteilungen. Mit den neuen Modellen wird es möglich, die Wirkung des Waldes quantitativ und nachvollziehbar zu berechnen und damit eine fundierte Wirkungsbeurteilung durchzuführen. Wie sich bei der Anwendung des bisher in PROTECT Bio vorgeschlagenen Vorgehens für die Schritte Grob- und Massnahmenbeurteilung gezeigt hat, scheint uns der gemäss Synthesebericht (Wasser und Perren 2014) gemachte Vorschlag zur Grob- und Massnahmenbeurteilung für die Wirkung gegen flachgründige Rutschungen wenig präzise, da sich dieser auf die gemäss NaiS (Frehner et al. 2005) geltenden Kriterien bezüglich Anforderungsprofilen abstützt. Der Deckungsgrad ist aber ein für die Wurzelverstärkung ungenaues Kriterium, weil es zu wenig über Anzahl Bäume, deren BHD und ihre Verteilung über die Fläche aussagt. Auf Basis unserer Erkenntnisse haben wir deshalb in einem separaten Anhang (Anhang E) einen Vorschlag erarbeitet, wie künftig die Methode PROTECT Bio für die Grob- und Massnahmenbeurteilung verbessert werden könnte.

### 5.2 Modelle: SOSlope und M-Flow

#### 5.2.1 Grundlagenbeschaffung und Aufbereitung der Daten (Szenarien ohne Wald)

Um die Modellierung mit SOSlope und M-Flow durchführen und daraus die Intensitätskarten ableiten zu können, werden verschiedene Grundlagen benötigt, welche als Eingangsdaten und zur Parametrisierung der Modelle verwendet werden. Qualitativ gute und möglichst genaue Grundlagenwerte sowie deren korrekte Interpretation sind deshalb wichtige Punkte in der Gefahrenanalyse und Wirkungsbeurteilung. Deren Verfügbarkeit, welche je nach Projektgebiet unterschiedlich sein kann, beeinflusst deshalb die Möglichkeit einer ganzheitlichen und möglichst breit abgestützten Analyse. Ein gut dokumentierter Ereigniskataster und das Ausmachen vergangener Ereignisse im Feld sind eine wichtige Basis für die Plausibilisierung und Verifizierung der modellierten Ereignisse und massgebenden Szenarien. Kritisch sind hier meistens seltene, grosse Ereignisse (z.B. 100- oder 300-jährliches Szenario), weil entsprechende Daten häufig fehlen. Dies gilt ebenfalls für verwendete Niederschlagszenarien, deren Werte aus HADES hergeleitet werden. Da entsprechende Zeitreihen rund 70 Jahre zurückreichen,

müssen die selteneren Ereignisse extrapoliert werden. Künftig prognostizierte Klimaänderungen könnten die gewählten Szenarien ebenfalls beeinflussen. Die verwendeten Werte sind deshalb mit gewissen Unsicherheiten behaftet.

Bezüglich Qualität der Daten hat sich gezeigt, dass insbesondere das verwendete digitale Geländemodell (DGM) einen grossen Einfluss auf die Resultate der Modelle SOSlope und M-Flow haben kann. Es wird deshalb empfohlen, mit einem Raster von 2m Auflösung zu arbeiten.

### 5.2.2 SOSlope

SOSlope ist das erste Modell weltweit, welches den Effekt der Wurzeln unter Scherspannung, Zug und Druck berücksichtigen kann. Dazu wurden im Laufe der Jahre Eignungsverfahren entwickelt, um die baumartenspezifischen Parameter für die Berechnung der verformungsabhängigen Wurzelverstärkung zu bestimmen (Schwarz et al. 2013). Wie bei allen deterministischen Modellen sind die Unsicherheiten der Resultate vor allem durch die Schwierigkeiten in der Bestimmung der Parameter und deren natürliche räumliche und zeitliche Heterogenität gegeben.

Im Vergleich zu den in der Praxis üblichen Ansätze berechnet SOSlope also verschiedene Mechanismen: Nebst der Scherfestigkeit des Bodens (mit Wurzeln) werden auch die lateralen Interaktionen (Zug und Druck) berücksichtigt.

Für die bodenmechanischen Parameter ist die Schätzung des Reibungswinkels weniger problematisch, weil bekannt ist, dass dieser einen beschränkten Einfluss auf den Sicherheitsfaktor hat und aufgrund der Bodenklassifikation gut geschätzt werden kann. Die gesättigte Kohäsion hingegen hat einen grossen Einfluss auf die Resultate und ist schwierig zu bestimmen. Die effizienteste Möglichkeit, um plausible Resultate für diesen Parameter zu generieren, ist die Verwendung dokumentierter Ereignisse. Bei der Kalibrierung sollte sichergestellt werden, dass jährliche Szenarien nicht zu grossen Ausbrüchen führen und weniger häufige, aber massgebende hydrologische Ereignisse, z.B. das 30- bzw. 100-jährliche, zu plausiblen Resultaten führen.

In Hangstabilitätsmodellen stellt die Berücksichtigung von hydrologischen Prozessen eine grosse Herausforderung dar. In SOSlope werden der präferenzielle Abfluss und die Bewegung des Wassers in kapillaren Poren modelliert, wobei ersteres die Schwankung des Porenwasserdrucks bestimmt, während letzteres die Änderung der scheinbaren Kohäsion beeinflusst. Diese beiden Mechanismen können im Zusammenspiel oder unabhängig voneinander zur Auslösung einer Rutschung führen. Auf Basis des berechneten Porenwasserdrucks und Wassergehalts in SOSlope sollten die Fachleute beurteilen, welche Zusammensetzung dieser Parameter die Realität am besten abbilden kann. Oftmals entstehen flachgründige Rutschungen bei hoher Vorfeuchte des Bodens und kurzen, intensiven Niederschlägen. Dies ist auch bei den im Rahmen des Projekts bearbeiteten Untersuchungsgebieten der Fall. Der Einfluss von hydrogeologischen Prozessen (z.B. Quellaustritte) wird in SOSlope nicht explizit berechnet und sollte deshalb im Feld von Fachspezialisten beurteilt werden. Im Modell können solche Fälle mit der Option der definierten Wassersättigung des Bodenprofils „fixed saturation [m]“ simuliert werden.

Die Wurzelverstärkung wird in SOSlope für jede Rasterzelle auf Grund der Position der Bäume, deren Dimensionen und der Baumart berechnet. Damit wird in der Modellierung eine sehr detaillierte Charakterisierung dieses Faktors abgebildet. Die damit behafteten Unsicherheiten bestehen vor allem in den verwendeten Daten des Waldbestandes (FINT oder als uniforme Struktur) und in der Variabilität der Wurzelverstärkungsparameter je nach Standort. Obwohl eine genauere Untersuchung der Variabilität der Wurzelverstärkung nicht im Rahmen dieses Projekt vorgesehen war, zeigen die Resultate von anderen Studien (z.B. Dazio et al. 2018), dass die Varianz bei +/- 20 % liegt. Dies erlaubt es, signifikante Unterschiede zwischen Baumarten und Waldstrukturen zu berechnen.

Es sei darauf hingewiesen, dass relativ abrupte Änderungen in der Wurzelverstärkung auftreten können. Dies hat mit der Tatsache zu tun, dass sich die Wurzelverstärkung in Abhängigkeit des Abstands zwischen Bäumen nicht-linear verhält. Ist ein bestimmter Grenzwert im Baumabstand, abhängig von verschiedenen Faktoren wie Bodentyp oder hydrologischen Bedingungen, erreicht, besteht zwischen Wurzeln verschiedener Bäume nur noch eine geringe Verbindung oder sogar keine mehr. Dies führt zu einer „Verinselung“ der darunterliegenden Bodenpakete und damit ändert die laterale Wurzelverstärkung über die ganze Fläche abrupt (siehe Cohen und Schwarz 2017).

SOSlope ist ständig in Weiterentwicklung; bereits während der Durchführung dieses Projektes wurden die Daten der Wurzelverstärkung weiterer Baumarten sowie neue Optionen für die Anpassung der geschätzten Bodenmächtigkeit, in einer neuen Version (V1.4) implementiert. Es ist vorgesehen, in kommenden Versionen einen effizienteren Berechnungsalgorithmus zu implementieren und das Modell mit weiteren Daten zur Wurzelverstärkung zu ergänzen. Sobald möglich, soll die Modellierung der Wurzelverstärkung auch für Mischwälder implementiert werden. Dies erfordert aber die automatisierte Erkennung der Baumarten mittels Fernerkundung.

### 5.2.3 M-Flow

Modelle für die Berechnung des Auslaufs von flachgründigen Rutschungen gibt es in der Schweiz seit dem Jahr 2000. Viele bestehende Modelle können Auslaufgebiete von flachgründigen Rutschungen zwar simulieren, der hohe Aufwand zur Kalibrierung der Parameter erlaubt aber keine praxistaugliche Anwendung für die Berechnung der vorherrschenden Drücke und Fließhöhen.

M-Flow ist ein numerisches Modell, welches an der HAFL auf Basis des Konzepts von Flow-R (Horton et al. 2013) seit zwei Jahren entwickelt wird. Es positioniert sich in der Schnittstelle zwischen komplexen deterministischen und probabilistischen Modellen, welche auf grossen Raumskalen angewendet werden. Vergleichsstudien zwischen M-Flow Simulationen einerseits und realen Ablagerungen von flachgründigen Rutschungen sowie rekonstruierten Drücken auf Basis von realen Schäden andererseits sind vielversprechend. In einem BAFU-Forschungsprojekt (SlideForce) untersuchen wir derzeit, welche M-Flow Parametersets die gängigsten Kombinationen von Wassergehalt und Kohäsion reproduzieren können.

Im vorliegenden Projekt wurde M-Flow mit Parameterwerten angewendet, die einer durchschnittlich flüssigen flachgründigen Rutschung entsprechen. Simulationen von «trockeneren» flachgründigen Rutschungen zeigten, dass diese in der Regel vor dem Erreichen des Gleises abgelagert wurden; Simulationen mit «flüssigeren» Einstellungen liefen weiter über die Gleise hinaus, zeigten aber geringere Ablagerungshöhen.

Für alle drei Fallstudien wurden schlussendlich die gleichen Parameterwerte gewählt, weil uns zurzeit die Kenntnisse darüber fehlen, wie unterschiedliche Richtgrößen der Bodenkohäsion mithilfe von M-Flow Parametern reproduziert werden können. Mit diesen Fragen beschäftigt sich deshalb das Projekt SlideForce, für welches Ende 2019 Resultate vorliegen werden. Die Waldwirkung, d.h. die bremsende Wirkung von Einzelbäumen im Transit- und Auslaufgebiet von flachgründigen Rutschungen, kann heute mit M-Flow noch nicht berücksichtigt werden. Modellalgorithmen dazu müssen in weiteren Forschungsprojekte erst noch entwickelt und Validierungsdaten erhoben werden.

## 5.3 Szenarien

### 5.3.1 Definition Prozessszenarien

Die Prozessszenarien sind aufgrund von Niederschlagsszenarien definiert; d.h. es wird bestimmt, bei welchen Niederschlagsszenarien entsprechende Ereignisse auftreten können. Der Niederschlag wird also als einziger Auslösefaktor angenommen. Dies bedeutet, dass alle anderen Dispositionsfaktoren als konstant angenommen werden. Variable Faktoren wie etwa die Bodenmächtigkeit, Vegetation oder Landnutzung entsprechen dem aktuellen Zeitpunkt der Modellierung, können aber mit der Zeit variieren und damit die Abbildung der Szenarien beeinflussen.

In der bis heute gängigen Praxis wurde die Beurteilung der Szenarien oftmals lediglich auf Basis von bereits stattgefundenen Ereignissen gemacht. Die Wiederkehrperiode jener Szenarien kann aber durch die Änderung der variablen Dispositionsfaktoren beeinflusst werden, weshalb wir die Definition der Prozessszenarien aufgrund der Niederschlagsszenarien als vorteilhafte Methode erachten.

Die Verifizierung der berechneten Rutschszenarien im Feld hat gezeigt, dass die Modellberechnungen zu plausiblen Resultaten führen. Lediglich im Schächliwald scheinen sie eher optimistisch: Dort können die Abbruchstellen der steilen, alluvialen Terrassen im unteren Bereich des Perimeters mit SOSlope nur unzureichend abgebildet werden. Weil wir aufgrund unserer Beobachtungen im Feld aber davon ausgehen, dass flachgründige Rutschungen aus diesen Bereichen das Bahngleis nicht erreichen, erwarten wir keine höhere Eintretenswahrscheinlichkeit und damit auch kein höheres Risiko.

### 5.3.2 Waldszenarien

Mit dem Modell SOSlope kann die für den Schutz gegen flachgründige Rutschungen relevante Wirkung der Wurzeln quantifiziert werden. Baumart, BHD sowie Stammzahl der dominierenden Bäume oder deren effektive Positionen dienen dabei als Eingangsdaten.

Es ist also auch möglich, mit Hilfe von SOSlope andere, hypothetische Waldzustände festzulegen. So könnten Unterschiede verschiedener waldbaulicher Behandlungen (Beeinflussung von Baumartenzusammensetzung, Gefüge; Eingriffsstärke) simuliert und die Auswirkungen auf die Schutzwirksamkeit miteinander verglichen werden. Entsprechende Simulationen erfordern eine klare Vorstellung der zu definierenden Waldszenarien.

Für die vorliegende Studie wurde beispielsweise für den Langnauer- und Schächliwald jeweils auch ein hypothetischer Wald mit Fichtenreinbestand simuliert. Anzahl Bäume, BHD und Baumpositionen entsprachen dabei dem Szenario „Wald Istzustand“, die Wurzelverstärkung wurde aber für Fichte anstatt Buche simuliert. Die Resultate zeigten, dass ein solcher Wald das Risiko für flachgründige Rutschungen nicht reduzieren kann. Die Anrissgebiete entsprachen den jeweiligen Referenzszenarien ohne Wald. Das Modell zeigt also gut, dass die Fichte hinsichtlich Wurzelverstärkung unerwünscht ist und demnach in von Rutschungen betroffenen Gebieten wo möglich andere Baumarten gefördert werden sollten.

Analog können jegliche Waldzustände modelliert und miteinander verglichen werden, beispielsweise solche, welche das Anforderungsprofil gemäss NaiS ideal, minimal oder gar nicht erfüllen. Um die Wirkung verschiedener Waldzustände mit Hilfe der Modelle miteinander vergleichen zu können, könnten analog jegliche weitere Waldstrukturen modelliert werden, beispielsweise solche, welche das Anforderungsprofil gemäss NaiS ideal, minimal oder gar nicht erfüllen. Für die Anwendung in SOSlope wäre zu überlegen, ein Vorgehen zur Definition verschiedener Waldzustände festzulegen, damit realistische und plausible Abbildungen realer Waldzustände generiert werden. Das heute gemäss NaiS relevante Kriterium Deckungsgrad lässt aber nur ungenaue Rückschlüsse zur Anzahl Bäume, deren BHD sowie ihrer räumlichen Verteilung zu. Die Definition entsprechender Waldzustände ist deshalb schwierig, weil unterschiedlichste Waldstrukturen den gleichen Deckungsgrad ergeben können. Die entsprechende Wurzelverstärkung ist aber nicht identisch (vgl. Abbildung 21). Auf Basis von empirisch erhobenen Daten zur allometrischen Beziehung zwischen Kronenradius und BHD (Pretzsch et al. 2015) kann je nach Baumart relativ einfach die jeweilige Kronenprojektionsfläche ermittelt und damit der Deckungsgrad abgebildet werden. Weil aber in einem natürlichen Waldbestand Kronen mehrfach überschirmt werden, ist ein Korrekturfaktor notwendig, um eine realistische Anzahl Bäume pro ha zu ermitteln, welcher die realen Bedingungen widerspiegelt. Aufgrund dieser Schwierigkeit schlagen wir vor, eher Baumdistanzen in Kombination mit Baumart und BHD als Indikator für die Schutzwirkung des Waldes gegen flachgründige Rutschungen zu verwenden als den Deckungsgrad.

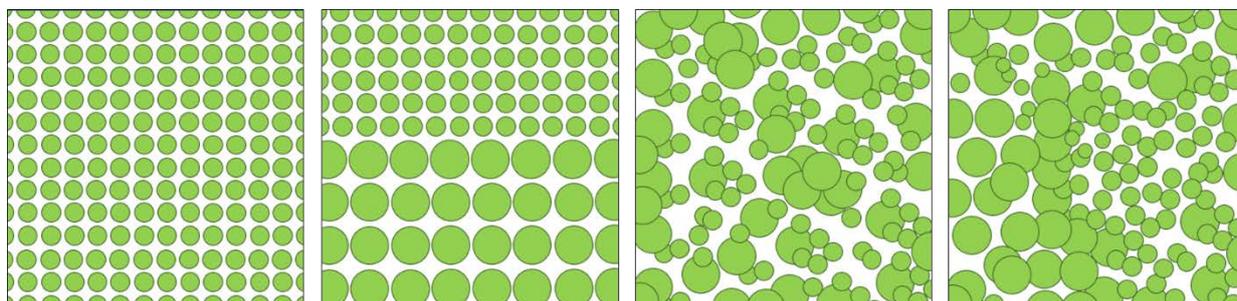


Abbildung 21: Schematische Darstellung verschiedener hypothetischer Waldzustände, welche alle einen Deckungsgrad von 60 % aufweisen.

### 5.3.3 Intensitätskarten

Der erste Schritt bei der Erstellung der Intensitätskarten ist die Interpretation und Plausibilisierung der Simulationsergebnisse. Zunächst werden die Informationen zur Ablagerungsprobabilität und -höhe verschnitten, um daraus durch manuelles Digitalisieren sinnvoll arrondierte Einheiten in Form von Polygonen zu bilden.

Bei der Plausibilisierung spielt der Vergleich mit historischen Ereignissen eine grosse Rolle. Leider liegen aufgrund dokumentierter Ereignisse keine Informationen zu den Umhüllenden vor. Das heisst, dass wir

lediglich Kenntnis darüber haben, ob und wie oft der Gleisabschnitt betroffen war. Basierend auf diesem Vergleich in Gambarogno schätzen wir die Intensitätskarten als plausibel ein. Der Vergleich zwischen unseren Intensitätskarten und jenen, welche von Stucky et al. (2017) für Gambarogno erarbeitet wurden, zeigt eine gute Übereinstimmung betreffend Eintretenswahrscheinlichkeit (keine Rutschungen auf dem Gleis für das 10- und 30-jährliche Ereignis). Bezüglich 100- und 300-jährlichem Ereignis besteht eine teilweise Übereinstimmung bezüglich Intensität und Lokalität. Die von uns modellierten Resultate weisen aber wesentlich mehr Anrissgebiete und eine differenziertere Umhüllende der Auslaufgebiete auf.

Wie die Resultate des Beispiels in Gambarogno zeigen (vgl. Kapitel 4.1.2 und 4.1.3), ist es möglich, dass die Berechnungen der Modelle für eine Situation mit Wald trotz der Wurzelverstärkung zu mehr betroffenem Schadenpotenzial führt als ein entsprechendes Szenario ohne Wald. Dies kann einerseits mit der Zufälligkeit der durch probabilistische Modelle generierten Resultate zusammenhängen, welche zu kleinen Abweichungen in Grösse und Intensität der modellierten Auslaufgebiete führen kann. Andererseits ist es möglich, dass der Effekt der lateralen Wurzelverstärkung zu solchen Situationen führt: In gewissen Fällen kann es sein, dass mit Vegetation grössere Rutschmassen mobilisiert werden als ohne Wald, weil durch den Effekt der lateralen Wurzeln grössere Bodenpakete zusammenhängen und damit abbrechen können. Im Fall des 100-jährlichen Ereignisses in Gambarogno wurde beispielsweise für das Szenario mit Wald ein minimal längeres Anrissgebiet ausgeschieden, was zu einer grösseren Fläche mit mittlerer Intensität geführt hat.

## 5.4 Risikoanalyse

### 5.4.1 Synthese der Risikoanalyse

Für alle drei Fallstudiengebiete wurden insgesamt je acht Szenarien modelliert (10-, 30-, 100- und 300-jährliches Ereignis jeweils ohne Wald – die Referenzszenarien – sowie mit dem aktuellen Waldzustand) und die entsprechenden Risiken berechnet. Daraus wurde die Risikoreduktion ermittelt und die Schutzwirksamkeit des Waldes quantifiziert. Durch den Vergleich der Kosten für waldbauliche Massnahmen zur Risikoreduktion („Nutzen“) konnten zudem Aussagen zur Kostenwirksamkeit gemacht werden.

Die Resultate der Risikoanalysen zeigen, dass der Wald in allen drei Untersuchungsgebieten das Risiko massgeblich und kostenwirksam reduziert. Zwischen den Fallstudiengebieten bestehen aber grosse monetäre Unterschiede: So beträgt die jährliche Risikoreduktion in Gambarogno knapp 10'000.-/Jahr, während es im Langnauerwald über 100'000.-/ Jahr sind. Auch bezüglich Kostenwirksamkeit der Massnahme Schutzwald bestehen bedeutende Unterschiede (vgl. Tabelle 17).

Tabelle 17: Zusammenfassende Übersicht Risikoanalyse und Kostenwirksamkeit für die drei Fallstudiengebiete

		Jährliches Risiko	Risikoreduktion	Massnahmenkosten	Kostenwirksamkeit
Gambarogno	ohne Wald	12'746 CHF/a			
	mit Wald	3'438 CHF/a	9'308 CHF/a	7167.-/a	1.3
Langnauerwald	ohne Wald	207'561 CHF/a			
	mit Wald	96'886 CHF/a	110'675 CHF/a	2363.-/a	46.8
Schächliwald	ohne Wald	76'115 CHF/a			
	mit Wald	19'935 CHF/a	56'180.- CHF/a	2580.-/a	21.8

Die grossen Unterschiede lassen sich auf das jeweils relevante Schadenpotenzial sowie das betroffene Schadenausmass nach Szenarien zurückführen. Das relevante Schadenpotenzial im Langnauer- und Schächliwald beläuft sich auf über 360 Mio. CHF bzw. über 220 Mio. CHF, während es in Gambarogno unterhalb von 100 Mio. CHF liegt. Dies hat mit der hohen Frequenz des Personenverkehrs im Entlebuch zu tun, während in Gambarogno wesentlich weniger Durchfahrten pro Tag stattfinden. Der Gütertransport, welcher in Gambarogno sehr wichtig ist (26 Güterzüge täglich), wird in EconoMe bei der Berechnung nicht berücksichtigt.

Ein weiterer bestimmender Faktor für das Schadenausmass ist die Länge der betroffenen Strecke. Gerade im Langnauerwald ist beim 100- und 300-jährlichen Szenario ohne Wald ein beträchtlicher Anteil des gesamten Streckenabschnitts von Rutschungen betroffen, während in Gambarogno und im

Schächliwald im Verhältnis zur gesamten Strecke ein kleinerer Teil betroffen ist. Entsprechend ist das Schadenausmass im Langnauerwald auch deshalb am höchsten.

Zusammenfassend kann also gefolgert werden, dass der Schutzwald in allen Fallstudiengebieten massgeblich zur Reduktion des Risikos beiträgt. Im Hinblick auf die Tatsache, dass beispielsweise der Güterverkehr ebenso wie alle indirekten Kosten, welche durch Schadensereignisse entstehen würden, nicht in die Risikoberechnung miteinfließen, können die oben genannten Werte also als minimale Risikoreduktion interpretiert werden. Darüber hinaus ist anzumerken, dass die Berechnungen auf Basis des heutigen Waldzustandes durchgeführt wurden. Eine Verbesserung des Zustandes mit waldbaulichen Massnahmen könnte zu einer weiteren Reduktion des Risikos beitragen.

Wie aus den Resultaten hervorgeht, können die Schutzziele SBB vor Naturgefahren trotz deutlicher Risikoreduktion durch den Schutzwald nicht überall eingehalten werden. Bei der SBB sind diese wie folgt definiert: 1) Individuelles Todesfallrisiko kleiner als  $1 \times 10^{-5}$  Todesfälle pro Jahr (gemäss PLANAT-Vorgaben) und 2) keine Ablagerungsmächtigkeiten  $> 0.3\text{m}$  (kritischer Wert Zugentgleisung) für das 10-, 30- und 100-jährliche Ereignis. Das Schutzziel zum individuellen Todesfallrisiko kann nur in Gambarogno eingehalten werden (Tabelle 18). Darüber hinaus sind in allen drei Fallstudiengebieten trotz Schutzwald mehrere Streckenabschnitte beim 100-jährlichen Ereignis betroffen, welche zu Ablagerungsmächtigkeiten von über  $0.3\text{ m}$  führen und damit zu einer Entgleisung führen könnten.

Ob technische Massnahmen kostenwirksam zu einer weiteren Risikoreduktion beitragen, wäre zu prüfen. Die Wirkung des Schutzwaldes kann in gewissen Fällen dazu führen, dass allfällige technische Massnahmen weniger stark dimensioniert werden müssen und damit deren Kostenwirksamkeit verbessert wird.

Tabelle 18: Schutzziele SBB sowie errechnete Werte der Risikoanalyse für die drei Fallstudiengebiete. Fett markiert sind jene Werte, bei welchen trotz der Massnahme «Schutzwald» die Schutzziele nicht erreicht werden können.

		Betroffene Streckenabschnitte beim 100 J. Ereignis mit Ablagerungsmächtigkeit $> 0.3\text{m}$		Individuelles Todesfallrisiko
		Schutzziel SBB: keine Ablagerungen $> 0.3\text{ m}$		Schutzziel SBB: $1 \times 10^{-5}$
		Intensität mittel	Intensität stark	
Gambarogno	ohne Wald	33 m	-	$2.72 * 10^{-5}$
	mit Wald	<b>45 m</b>	-	$6.49 * 10^{-6}$
Langnauerwald	ohne Wald	137 m	8 m	$4.8 * 10^{-4}$
	mit Wald	<b>14 m</b>	-	<b><math>1.40 * 10^{-4}</math></b>
Schächliwald	ohne Wald	110 m	13 m	$1.76 * 10^{-4}$
	mit Wald	<b>16 m</b>	<b>35 m</b>	<b><math>6.08 * 10^{-5}</math></b>

#### 5.4.2 Einbezug des Schutzwaldes als Massnahme in EconoMe

Gemäss dem Konzept PROTECT Bio wird der Schutzwald als Massnahme angesehen, die reguläre Schutzwaldbewirtschaftung ist als Unterhalt zu verstehen.

In diesem Sinne wurde die Massnahmendefinition in EconoMe so vorgenommen, dass die jährlichen Kosten der Massnahme Schutzwald als Unterhaltskosten (=Kosten der regulären Schutzwaldpflege) berücksichtigt werden. Investitionen fallen in diesem Fall keine an.

Allfällige über die gängige Schutzwaldbewirtschaftung hinausgehende Spezialmassnahmen wurden hingegen als Investition definiert. Als solche wurden etwa ingenieurbiologischer Verbau, Pflanzungen oder Schutzzäune ausgewiesen. Wo die entsprechenden Investitionskosten definiert sind, ist zur Berechnung der jährlichen Gesamtkosten auch die Lebensdauer, der Zinssatz sowie der Restwert der Massnahme anzugeben. Für die Lebensdauer von ingenieurbiologischen Massnahmen haben wir einen Wert von 150 Jahren festgelegt, weil wir davon ausgehen, dass diese zu einer dauerhaften Vegetationswirkung führen und damit einen langfristigen Nutzen bringen. Für eine genauere Berechnung der jährlichen Kosten wäre es auch möglich gewesen, mittels Wahl einer „Massnahmenkombination“ in EconoMe Lebensdauer, Zinssatz und Restwert der einzelnen Spezialmassnahmen separat auszuweisen, indem zwischen Wildschadenverhütungsmassnahmen,

ingenieurbiologischem Verbau und Pflanzungen unterschieden wird. Da sich eine Änderung der entsprechenden Werte aber für die Fallstudiengebiete nur marginal auf die schlussendlich berechneten Kosten auswirkt, wurde darauf verzichtet.

Verallgemeinert lässt sich also sagen, dass die Massnahme Schutzwald in EconoMe definiert und damit eine Kostenwirksamkeitsanalyse durchgeführt werden kann. Die Eingabefelder für die Massnahmendefinition sind aber auf technische Massnahmen ausgelegt. Im vorliegenden Projekt wurden deshalb die Werte für Betriebskosten, Lebensdauer, Zinssatz und Restwert mit relativ einfachen Annahmen definiert. Aufgrund ihres relativ geringen Einflusses auf die gesamten jährlichen Kosten sind sie hier auch wenig relevant. Für künftige Projekte wäre allenfalls zu prüfen, ob mit einer einheitlichen Empfehlung zum Einbezug des Schutzwaldes und allfälligen Spezialmassnahmen (wie Aufforstungen usw.) in EconoMe oder einer Anpassung des Eingabeformulars bei der Massnahmendefinition für Wald Klarheit darüber geschaffen werden könnte, welche Werte für den Schutzwald relevant bzw. sensitiv sind und ob bzw. wie diese definiert werden sollen. Einige in der Schweiz dazu erarbeiteten Studien können diesbezüglich Hinweise liefern (z.B. Brang und Hallenbarter 2007; Gasser et al. 2011, Gasser 2009). Relevant wären entsprechende Überlegungen aber vermutlich insbesondere beim Vergleich verschiedener Schutzwaldmassnahmen.

## 5.5 Waldbauliche Massnahmenplanung

Die in den Resultaten ausgeführten Vorschläge zur waldbaulichen Behandlung der Schutzwälder in den drei Fallstudiengebieten wurden auf Ebene einer Grobplanung mit einer einfachen Kostenabschätzung durchgeführt. Die Bestände wurden im Feld beurteilt und die vorgeschlagenen Massnahmen mit den zuständigen lokalen Waldfachpersonen diskutiert. Eine Detailplanung war nicht Gegenstand des vorliegenden Projekts. Erst mit einer solchen könnten die effektiv anfallenden Kosten besser abgeschätzt werden (Vorkalkulation). Weil die Kostenschätzung mit den lokalen Experten diskutiert wurde und auf ihren Erfahrungswerten beruht, darf dennoch von realistischen Annahmen ausgegangen werden. Änderungen der jährlich definierten Kosten von bis zu 30 % würden aber in allen drei Fallstudiengebieten noch immer ein Kosten-Nutzen-Verhältnis  $> 1$  ergeben. Die effektiven Kosten, die im Voraus sehr schwierig zu bestimmen sind, hängen stark von der Baumartenzusammensetzung, dem angezeichneten Volumen, dem Anteil minderwertiger Holzsortimente, der aktuellen Holzmarktsituation sowie dem gewählten Holzernteverfahren ab. Gerade bei zu erwartenden defizitären Holzschlägen sollte man sich bei jedem Schutzwaldeingriff deshalb gut überlegen, was effektiv zum Erhalt bzw. zur Förderung der Schutzwirkung gemacht werden soll und muss. Wenn Bäume gefällt werden müssen, sollte immer auch überlegt werden, ob Ringeln oder Liegen Lassen von Holz eine Option ist, sofern dadurch keine nachteiligen Auswirkungen auf Waldbestand und Schutzwirkung zu erwarten sind.

Ziel muss immer ein kontinuierlich gepflegter Schutzwald sein, welcher seine Wirkung dauernd und nachhaltig erfüllen kann. Die waldbauliche Behandlung ist dabei nach den Grundsätzen von NaIS vorzunehmen. Diesbezüglich ist anzumerken, dass die Anforderungen für Rutschungen angepasst werden sollten: Wie bereits aufgezeigt, ist der Deckungsgrad ein wenig präzises Kriterium für Aussagen zur Wirkung der Wurzeln. Zudem sollte darauf hingewiesen werden, dass „schwere“ Bäume nicht grundsätzlich problematisch sind. Für die Wurzelverstärkung sind Bäume mit grossem Durchmesser sogar vorteilhaft, sofern diese stabil und vital sind. An Stellen, wo Bäume beispielsweise wegen Windwurf potentiell eine Gefährdung darstellen können, muss situativ entschieden werden, ob diese zu entfernen sind. Entlang von Gerinnen können Bäume auf instabilen Hängen und Ufern potentielle Quellen für Schwemmholz darstellen. Im Projekt „WoodFlow“ wurde quantitativ aufgezeigt, in welchen Situationen der Wald eine positive und wo er eine negative Wirkung aufweist. Dort wo eine deutlich negative Wirkung zu erwarten ist, wird empfohlen, grössere Bäume zu entfernen (Gasser et al. 2019).

Die mit SOSlope generierten Karten der aktivierten Wurzelverstärkung bieten eine Hilfe bei der Detailplanung von waldbaulichen Massnahmen in Schutzwäldern gegen flachgründige Rutschungen (vgl. Abbildung 22). Diese zeigen Kernbereiche im Schutzwaldkomplex auf, wo eine optimale Waldstruktur am wichtigsten wäre. Wo eine flächige Schutzwaldpflege nicht finanzierbar ist, können somit die Pflegemassnahmen gezielt umgesetzt werden.

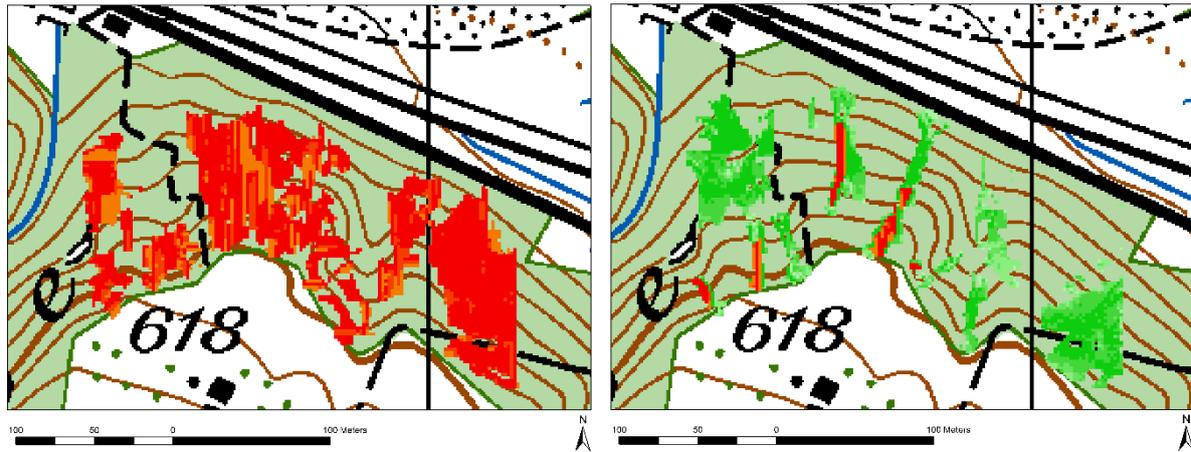


Abbildung 22: Beispiel Langnauerwald für das 100-jährliche Szenario. Links: Karte der modellierten Disposition mit SOSlope. Rechts: Karte der aktivierten Wurzelverstärkung in N/m.

## 6 Synthese und Ausblick

Im Rahmen des Projekts konnte aufgezeigt werden, dass der Schutzwald in allen drei Fallstudiengebieten eine deutliche Reduktion des Risikos erbringt. Es handelt sich dabei um die erste Studie mit einer Risikoanalyse für flachgründige Rutschungen auf Gleisinfrastruktur, bei welcher die Beurteilung der Anriss- und Auslaufszszenarien komplett modellgestützt durchgeführt wurde unter expliziter Berücksichtigung der Vegetationswirkung und Niederschlagsszenarien. Die angewandten Modellierungswerkzeuge sowie die ihnen zugrundeliegenden Kenntnisse bieten eine gute Basis für die künftig standardisierte und objektivere Beurteilung von Rutschgefahren mit und ohne Berücksichtigung des Waldes. Das gilt auch für die Beurteilung von ingenieurb biologischen Massnahmen (Schwarz et al. 2017a).

In dieser Studie wurde lediglich der heutige Waldzustand quantitativ berücksichtigt und Auswirkungen anderer Waldstrukturen auf die Risikoreduktion nur qualitativ diskutiert. Die verwendeten Methoden erlauben es aber, entsprechende Analysen auch für andere Waldzustände durchzuführen und damit verschiedene waldbauliche Situationen modellbasiert miteinander zu vergleichen. Dazu ist es aber notwendig, diese explizit und klar zu definieren, damit sie plausibel abgebildet werden können. Die Anforderungsprofile Rutschung gemäss NaiS sind diesbezüglich wenig klar, da mit dem Deckungsgrad als relevantes Kriterium zu wenig genaue Aussagen zu Anzahl und Verteilung der Bäume innerhalb der Fläche möglich sind. Diese Parameter sind aber für die explizite Berücksichtigung der Wurzelverstärkung wichtig. Eine entsprechende Überarbeitung des Anforderungsprofils wäre deshalb zu überprüfen.

Aktuelle offene Forschungsfragen im Bereich der Quantifizierung der Waldwirkung bei flachgründigen Rutschungen sind insbesondere:

- Wie die Genauigkeit der Bestimmung der Waldstruktur auf Basis von hoch aufgelösten VHM (aus Laserscanning-Daten) optimiert werden kann.
- Wie sich die Wurzelverstärkung von weiteren Baumarten (z.B. Tanne, Eiche, Robinie, Götterbaum) im Vergleich zu den jetzt bekannten Arten (Buche Fichte, Kastanie) verhält.
- Wie wir die Erkenntnisse aus den neuen Daten und Werkzeuge in praxistaugliche Richtwerte zur Bestimmung der optimale Schutzwirkung und Planung der zukünftigen Massnahmen zur Schutzwaldpflege implementieren können.
- Wie bei der Massnahmendefinition in EconoMe über die normale Schutzwaldpflege hinausgehende Investitionen berücksichtigt werden können.
- Wie sich die Eintretenswahrscheinlichkeit von 10-, 30-, 100- und 300- jährlichen Ereignissen über längere Zeitspannen entwickelt bzw. ändert, nachdem Ereignisse tatsächlich aufgetreten sind. Dabei spielt der Effekt der lokalen Verwitterung – sprich das Bereitstellen von neuem Rutschmaterial – sowie die Menge des abgerutschten Materials eine Rolle.

## 7 Literaturverzeichnis

**BAFU (Hrsg.), 2016:** Schutz vor Massenbewegungsgefahren. Vollzugshilfe für das Gefahrenmanagement von Rutschungen, Steinschlag und Hangmuren. Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Vollzug Nr. 1608: 98 S.

**Berwert, J., Ettl, B. und Stettler, M., 2010:** PROTECT Bio II. Beurteilung der Zuverlässigkeit des Schutzwaldes am Beispiel Sachseln (Massnahmenbeurteilung). Projektbericht im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt BAFU. Belop GmbH, Sarnen. 73 S.

**Brang, P., Hallenbarter, D., 2007:** Bewertung von Handlungsstrategien in Schutzwäldern: ein integraler Modellansatz. Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen 158(6): 176-193.

**Cohen, D. and Schwarz, M., 2017:** Tree-root control of shallow landslides, Earth Surf. Dynam., 5, 451-477, <https://doi.org/10.5194/esurf-5-451-2017>

**Dazio, E., Conedera, M., and Schwarz, M., 2018:** Impact of different chestnut coppice managements on root reinforcement and shallow landslide susceptibility. Forest Ecology and management 417, 63-76.

**Dazio, E., Schwarz, M., Conedera, M. and Moretti, G., 2018:** Impatto della gestione del ceduo castanile sul rinforzo radicale. Foglio per la pratica 3, Novembre 2018.

**Gasser, N., Frehner, M., Zinggeler, J., und Olschewski, R., 2011:** Ökonomische Konsequenzen der Verbissprobleme an der Rigi-Nordlehne. Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen 162 (10): 364-371.

**Gasser, N., 2009:** Ökonomische Bewertung von Schutzwaldpflege und technischen Schutzmassnahmen am Beispiel der Rigi-Nordlehne. Masterarbeit. Zürich: ETH Zürich, Waldökologie, 204 S.

**Gasser, E., Schwarz, M., Simon, A., Perona, P., Phillips, C., Hübl, J., Dorren, L., 2019:** A review of modeling the effects of vegetation on large wood recruitment processes in mountain catchments. Earth-Science Reviews 194 (2019): 350-373

**Horton, P., Jaboyedoff, M., Rudaz, B., and Zimmermann, M., 2013:** Flow-R, a model for susceptibility mapping of debris flows and other gravitational hazards at a regional scale, Natural Hazards and Earth System Sciences, 13(4), 869-885, <https://doi.org/10.5194/nhess-13-869-2013>.

**Lu, N., Godt, J. W., and Wu, D. T., 2010:** A closed-form equation for effective stress in unsaturated soil, Water Resour. Res., 46, W05115, <https://doi.org/10.1029/2009WR008646>, 2010.

**Menk, J., Dorren, L., Heinzl, J., Marty, M., Huber, M., 2017:** Evaluation automatischer Einzelbaumerkennung aus luftgestützten Laserscanning-Daten. Schweiz. Z. Forstwes. 168(3): 151-159.

**Pretzsch H., Biber P., Uhl E., Dahlhausen J., Rötzer T., Caldentey J., Koike T., van Con T., Chavanne A., Seifert T. et al., 2015:** Crown size and growing space requirement of common tree species in urban centres, parks, and forests. Urban For. Urban Green. 2015, 14, 466-479.

**Rickli, C. (Red.), 2001:** Vegetationswirkungen und Rutschungen - Untersuchung zum Einfluss der Vegetation auf oberflächennahe Rutschprozesse anhand der Unwetterereignisse in Sachseln OW am 15. August 1997. Birmensdorf, Bern; Eidg. Forschungsanstalt WSL, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft. 97 S.

**Schweizerische Bundesbahnen SBB, 2013:** Strategie Anlagenart Schutzwald, 11.2.2013, SBB Infrastruktur, Natur und Naturrisiken.

**Schwarz, M., Giadrossich, F., Cohen, D., 2013:** Modeling root reinforcement using a root-failure Weibull survival function. Hydrol. Earth Syst. Sci. 17: 4367-4377.

**Schwarz, M., Cohen, D., Louis, K., 2017a:** Beurteilung der Wirkung biologischer Objektschutz-Massnahmen: Anwendungsbeispiel des Modells SOSlope. Agenda FAN 2/2017: 9-12.

**Schwarz, M., Gasser, E., Moos, C., Dorren, L., 2017b:** Schutzwald und Rutschungen. Zeitschrift für Wildbach-, Lawinen-, Erosions- und Steinschlagschutz 180: 80-89.

**Schwarz, M., Hilfiker, K., Dazio, E. und Soldati, M., 2018:** Was bringen Entlastungsschläge in rutschgefährdeten Hängen? Wald und Holz 2/2018: 16-19.

**Stucky, A., Oggier, N., Burkard, A. und Burchard, U., 2017:** Integrale Gefahren- und Risikoanalyse Naturgefahren. Gambarogno. SBB-Linie 631, Quartino – Dirnella. Km 164.150 bis km 175.870.

**Vogt, J., Fonti, P., Conedera, M., Schröder, B., 2006:** Temporal and spatial dynamic of stool uprooting in abandoned chestnut coppice forests. Forest Ecology and Management, 235 (1): 88-95. doi.org/10.1016/j.foreco.2006.08.008.

**Wasser B, Perren B., 2014: PROTECT Bio:** Methodik zur Beurteilung der Wirkung biologischer Schutzmassnahmen gegen Naturgefahren als Grundlage für ihre Berücksichtigung bei Risikoanalysen. UVEK/BAFU, Bern.

## 8 Anhang

Anhang A: Grundlagen SOSlope Modellierung

Anhang B: Grundlagen M-Flow Modellierung

Anhang C: Grundlagen Waldbau

Anhang D: Resultate EconoMe

Anhang E: PROTECT Bio Vorschlag

## Anhang A

# Grundlagen SOSlope-Modellierung

Nachfolgend sind die Grundlagen je Fallstudiengebiet zusammengestellt, welche als Basis für die Modellierung des Ausbruchs mit SOSlope verwendet werden.

### Inhalt je Fallstudiengebiet:

- Vergangene Ereignisse
  - o Dokumentierte Ereignisse (Ereigniskataster)
  - o Stumme Zeugen
- Hangneigung
- Geologie, Hydrogeologie und Bodeneigenschaften
- Bodenmächtigkeit
- Bodenphysikalische Eigenschaften
- Hydrologie: Niederschlag und Vorfeuchte
- Berechnung Ausbruch- und Auslaufsznarien



# 1. Gambarogno

## Vergangene Ereignisse

### Dokumentierte Ereignisse (Ereigniskataster)

Im Untersuchungsgebiet sind einige Ereignisse dokumentiert, welche bei Hangneigungen zwischen 30° und 34° stattgefunden haben (vgl. Abb. 1 und 2):

- September 1976: Erste dokumentierte Hangmure in „Mottascia“
- August 1977: 1000 m<sup>3</sup> Ereignis beim Bahnhof „Ranzo“, Gleise sind auf einer Länge von 30 m betroffen
- August 1988: 12 m<sup>3</sup>, bei „Mottascia“, betroffen sind die Strasse und Gebäude
- August 2014: Ereignis bei „Mottascia“, wiederum Sperrung der Strasse

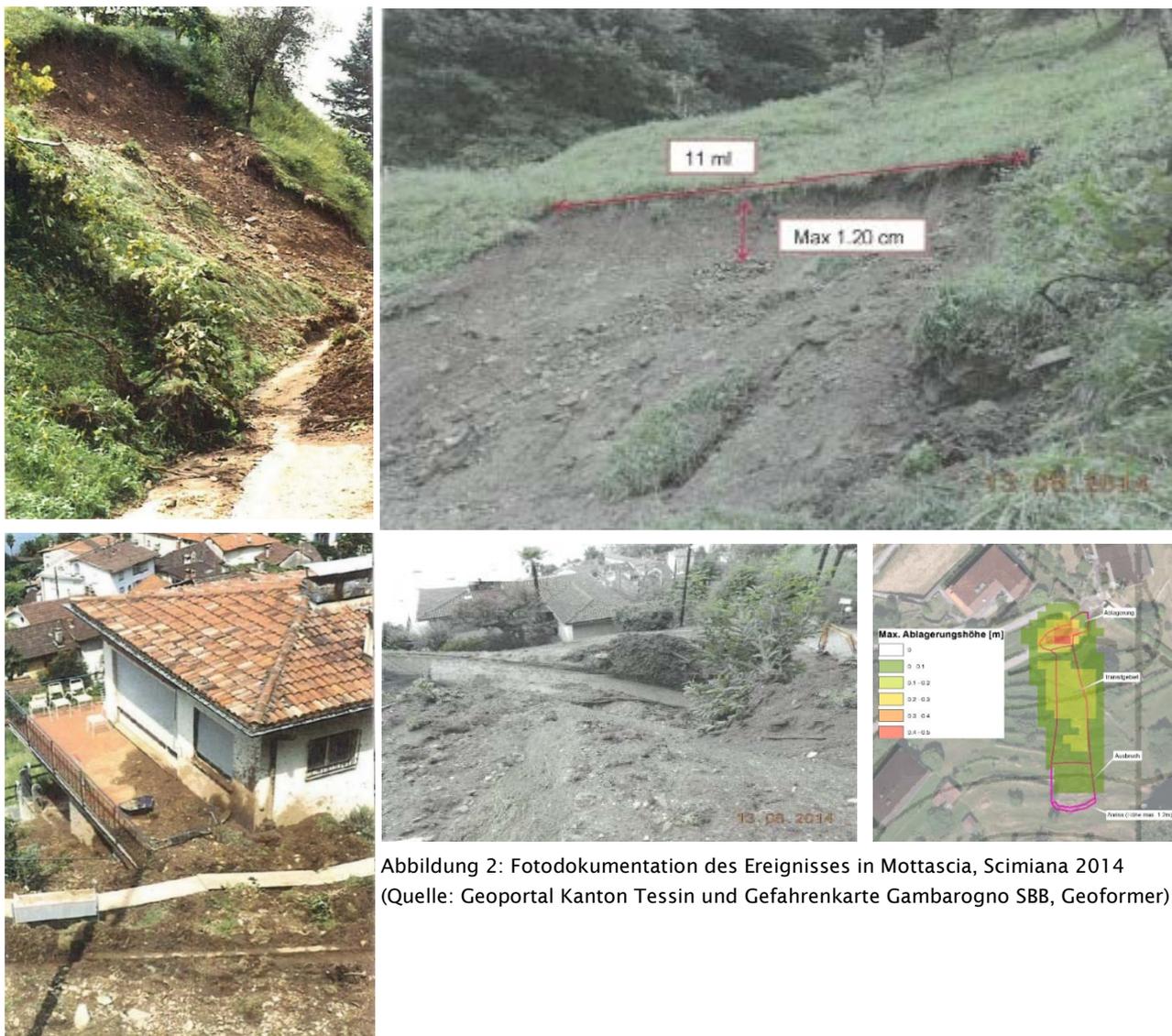


Abbildung 2: Fotodokumentation des Ereignisses in Mottascia, Scimiana 2014 (Quelle: Geoportal Kanton Tessin und Gefahrenkarte Gambarogno SBB, Geoformer)

Abbildung 1: Fotodokumentation Ereignis in Mottascia, Scimiana 1988 (Quelle: Geoportal Kanton Tessin)

### Stumme Zeugen

An den Moräneneinhängen in der näheren und weiteren Umgebung des Untersuchungsgebiets gibt es einige stumme Zeugen von ehemaligen Hangmureneignissen. Einige undeutlich ausgeprägte muldenartige Geländeformen können als ehemalige Ausbruchstellen einer Hangmure interpretiert werden (Abb. 3 links), vor allem in Gerinneabhängen. Im Gebiet gibt es stellenweise untiefe

Abschürfungen und Erosionsangriffspunkte, welche ebenfalls als alte Ausbruchstellen gedeutet werden können. Ablagerungen von kürzlichen Ereignissen sind hinter beschädigten Baumstämmen erkennbar (Abb. 3 rechts).



Abbildung 3: Links: Altes Anrissgebiet. Rechts: Abgelagertes Bodenmaterial hinter einem Baumstamm.

### Hangneigung

Um die Hangneigung zu berechnen, wurde ein DHM aus dem Jahr 2012 mit einer Auflösung von 5 m benutzt. Gemäss der Vollzugshilfe des Bundes für das Gefahrenmanagement von Hangmuren (BAFU, 2016) wären damit im gesamten Perimeter „Hänge mit Moränenbedeckung“ pauschal als potenzielle Gefahrenquelle für Hangmuren auszuscheiden. Denn eine Prozessauslösung von Hangmuren ist dabei generell ab einem kritischen Hangneigungswinkel von ca. 20° möglich; eine erhöhte Disposition für die Prozessauslösung besteht bei Hangneigungen von 33° bis 38° (vgl. Abb. 4).

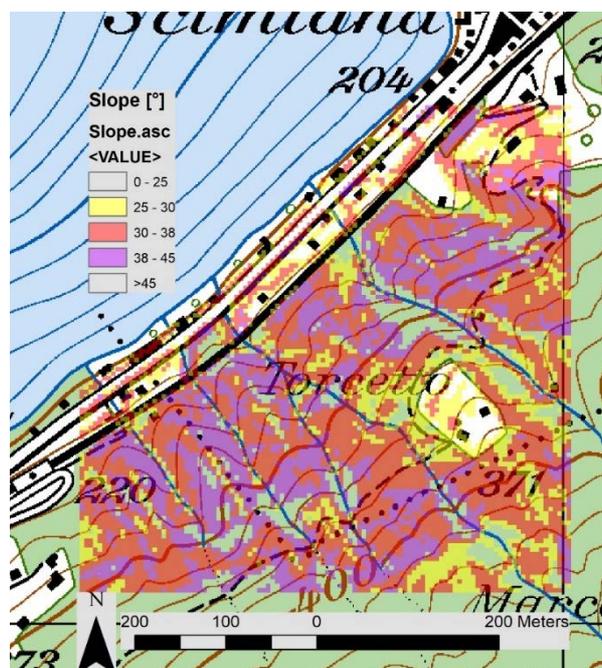


Abbildung 4: Hangneigung in Gambarogno

## Geologie, Hydrogeologie und Bodeneigenschaften

Der Untersuchungsperimeter in Gambarogno befindet sich in der kristallinen Formation mit einem Orthogneis als Gestein. In vielen steilen Gerinneabhängungen und auf Kuppen ist der Fels sichtbar. Hänge und Mulden sind grösstenteils mit Ablagerungen bedeckt.

Der Boden weist eine mittlere Entwicklung mit Merkmalen von schwacher chemischer Verwitterung im Unterboden (Bv Horizont) und Anreicherung organischer Substanzen im Oberboden (Ah Horizont) auf. Die sauren Bedingungen (pH ~ 4), gegeben durch Gestein und Qualität des Streumaterials, bedingen eine reduzierte biologische Aktivität und damit eine schwache Strukturierung des Oberbodens. Zum Teil sind die Oberbodenhorizonte schwach ausgewaschen. Der Unterboden ist skelettreich (> 40%). Bis in eine Tiefe von ca. 1 m sind keine Vernässungsmerkmale und keine Tonverlagerung vorhanden. Die Böden sind als Braunerde oder Kryptopodsol klassifiziert, je nach Auswaschungs- oder Verbraunungsmerkmalen.

Aus Sicht der Gefahrenbeurteilung ist somit eine gute Durchlässigkeit des gesamten Profils und ein erhöhter Reibungswinkel des Materials im Unterboden (B-C Horizonte) zu erwarten.

Das geologische Substrat hat viele Risse, welche eine gute Durchlässigkeit erlauben. Damit ist die Bildung von Porenwasserdruck auf potentiellen Gleitflächen durch drei Hauptmechanismen zu erwarten:

- Präferenzialer lateraler Abfluss im Bereich des C Horizont, wo die biologische Aktivität (Wurzeln, Bakterien, etc.) stark reduziert ist und die Dichte des Bodens Werte von 1.5-1.6 g/cm<sup>3</sup> erreicht.
- Konzentrierter Abfluss an der Oberfläche zwischen Boden und Festgestein.
- Exfiltration von Wasser aus Kluftsystemen des Substrats.

## Bodenmächtigkeit

Der Boden ist im Gebiet relativ flachgründig, wobei in flachen Hängen und Mulden eine Mächtigkeit der Moränenablagerung höher als 2 m zu erwarten ist. Gemäß Modellierung sind potentielle Scherflächen von Hangmuren bis 1.6 m Tiefe zu erwarten, abnehmend mit zunehmender Hangneigung. Ab ca. 45° Hangneigung ist die Bodenmächtigkeit < 0.5 m und damit sind kaum Hangmuren zu erwarten.

## Bodenphysikalische Eigenschaften

Eine Probe Bodenmaterial aus dem C Horizont (potentielle Rutschfläche) wurde im Labor analysiert, um die Textur zu definieren. Das Bodenmaterial wurde als „Schluff mit feinem Sand“ mit geringer Plastizität klassifiziert. Abbildung 5 zeigt die Resultate der Korngrössenanalyse. Diese weist keine Tonfraktion auf, womit keine Bodenkohäsion ( $c' = 0$ ) zu erwarten ist. Die Präsenz einer großen Fraktion von Sand-Kies-Steinen weist auf einen hohen Reibungswinkel hin (geschätztes  $\Phi' = 34^\circ$ ).

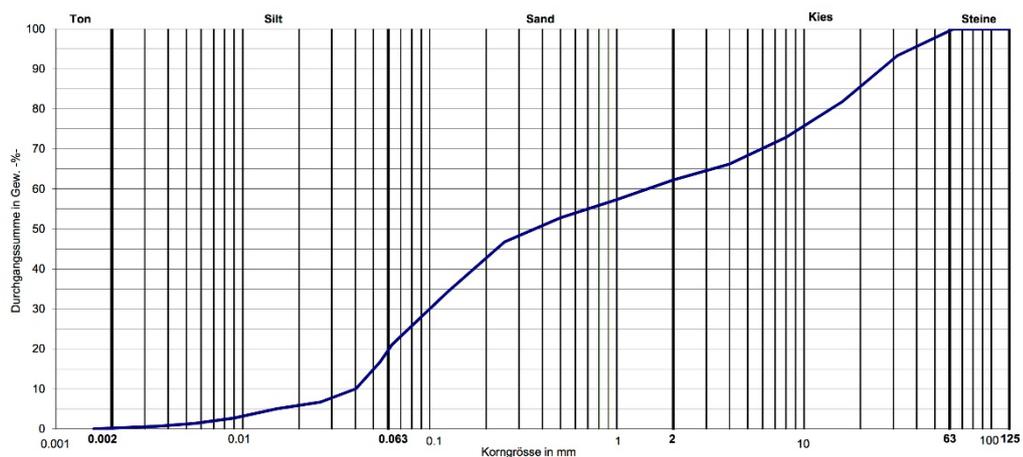


Abbildung 5: Korngrössenverteilung einer Bodenprobe aus dem B-C Horizont in Gambarogno.

Die Fließgrenze von 35.2% zeigt, dass dieser Boden bei diesem Wassergehalt die scheinbare Kohäsion ( $c_u$ ) verliert. Dieser Wert entspricht der Feldkapazität des Bodens (ab diesem Wassergehalt wird das Wasser in wenigen Stunden vertikal oder lateral drainiert). Die Plastizitätszahl von 6 ist so zu interpretieren, dass sich der Boden unter dem Einfluss des Wassers in einem relativ kleinen Bereich des Wassergehalts (zwischen 29.1% und 35.2%) plastisch verhält. Wenn der Wassergehalt unter die

Ausrollgrenze (29.1%) fällt, gibt es auch keine scheinbare Kohäsion. Abbildung 6 zeigt die Klassifikation des Bodenmaterials aufgrund des Wassergehalts und der Plastizitätszahl (roter Punkt).

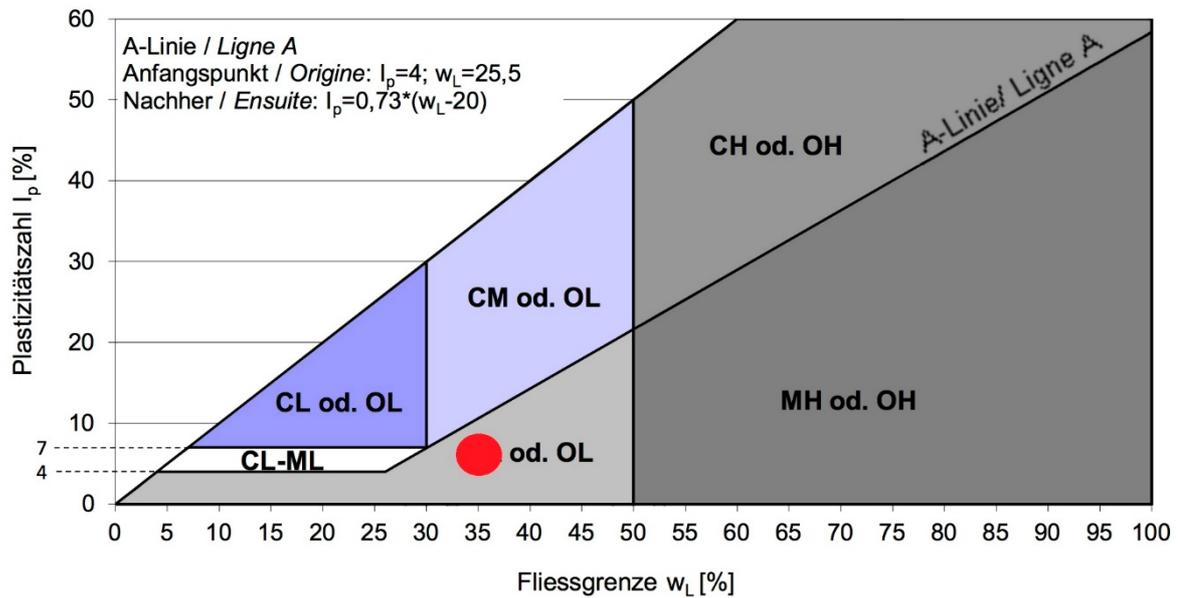


Abbildung 6: Diagramm der Plastizitätszahl

Die scheinbare Kohäsion des Bodens ist in SOSlope als Funktion des Wassergehalts nach dem Ansatz von Lu et al. (2010)<sup>1</sup> berechnet. Die Parameter für die Anwendung dieses Ansatzes sind aus der Bodenklassifikation zu eruiieren. Abbildung 7 zeigt, welche Werte gemäss der Klassifikation verwendet werden.

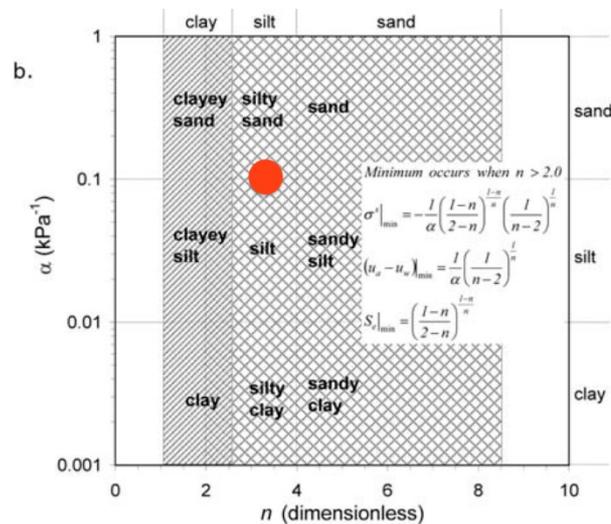


Abbildung 7: Schätzung der Parameter (Alpha und n) für die Modellierung der Saugspannung nach Lu et al. (2010). Der rote Punkt zeigt die Klassifikation des Bodens in Gambarogno.

<sup>1</sup> Lu, N., Godt, J. W., and Wu, D. T., 2010: A closed-form equation for effective stress in unsaturated soil, Water Resour. Res., 46, W05515, <https://doi.org/10.1029/2009WR008646>, 2010.

### Hydrologie: Niederschlag und Vorfeuchte

Für jede Wiederkehrdauer wurden aus der Kombination von zwei Niederschlagsdauer-Intensitäten (1 und 24 Stunden) und zwei Vorfeuchten des Bodens (15% und 35% Wassergehalt) vier hydrologische Szenarien mit SOSlope simuliert.

Die Niederschlagsintensität für das eine Stunde dauernde und 100-jährliche Ereignis in Gambarogno beträgt 80 mm/h (gemäss HADES) und entspricht dem Szenario eines Gewitters in den Sommermonaten, wo die Vorfeuchte durchschnittlich niedrig ist. Die Wahrscheinlichkeit, dass die gleiche Intensität während Perioden mit langandauerndem Regen stattfindet, ist als klein einzuschätzen. Dieses Niederschlagszenario verursacht einen raschen Anstieg des Porenwasserdrucks in den Makroporen im Boden, ist aber zu kurz, um die scheinbare Kohäsion in bindigen Böden zu reduzieren.

Die Niederschlagsintensität für ein 24 h andauerndes, 100-jährliches Ereignis in Gambarogno beträgt 12.5 mm/h (HADES). Dieses Niederschlagszenario ist kritisch für Böden, wo die Abnahme der scheinbaren Kohäsion in Kombination mit einem Anstieg des Porenwasserdruckes eine wichtige Rolle spielt.

Auf Grund der Vorfeuchte und der Niederschlagsintensität wurden in SOSlope die räumliche Verteilung des maximalen Porenwasserdrucks und niedrigster Saugspannung (analog zu Kapillarkräften) an der Rutschfläche berechnet. Die Saugspannung wird im Modell benutzt, um die scheinbare Kohäsion des Bodens zu berechnen. Abbildung 8 zeigt die Verteilung des Porenwasserdrucks bei einem pessimistischen Szenario (Vorfeuchte = 35%, Wassergehalt und Niederschlagsintensität = 80 mm/h).

Die Niederschlagszenarien für die 10J. und die 30J. Wiederkehrdauer wurden in Relation zum 100J. Ereignis geschätzt (siehe Resultate in Abb.8).

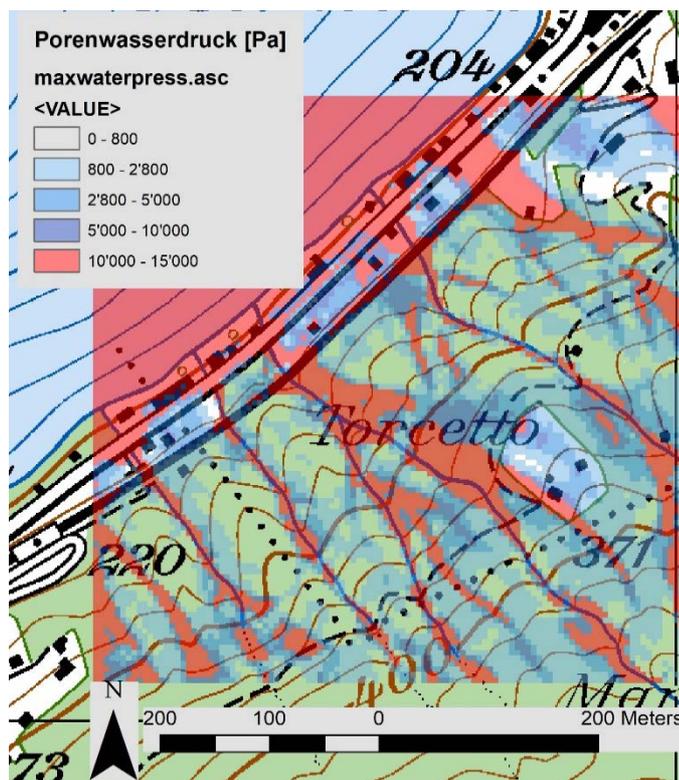


Abbildung 8: Beispiel des berechneten Porenwasserdrucks mit SOSlope für ein 100J. Niederschlagsereignis (1 h, 80 mm/h).

### Berechnung Ausbruch- und Auslaufszzenarien

Aus der manuellen Auswertung der Resultate von SOSlope wurden die Ausbruchflächen der flachgründigen Rutschungen definiert. Diejenigen Flächen, welche deutlich im Gerinne liegen und damit von fluviatilen Prozessen beeinflusst sind, wurden ausgeschlossen.

Die nachfolgende Tabelle gibt eine Übersicht über die für die Modellierung mit SOSlope verwendeten Eingangsparameter:

Tabelle 1: Parameter / Eingangsdaten Modellierung SOSlope für Gambarogno

	<i>Gambarogno (TI)</i>
<i>Reibungswinkel des Bodens (Phi')</i>	34°
<i>Effektive Kohäsion (c')</i>	0.5 [kPa]
<i>Van Genuchten Parameter Alpha</i>	0.1
<i>Van Genuchten Parameter n</i>	3
<i>Bodendichte</i>	1.57 [t/m <sup>3</sup> ]
<i>Porosität des Bodens</i>	0.45

Zehn potentielle Ausbruchstellen sind identifiziert worden, welche sich oft in Gerinneabhängen befinden. Der Auslauf findet oft in relativ engen Gerinnen statt.

Der Einfluss von Förderfaktoren (Oberflächenwasserzufluss; Durchlässigkeitskontraste; Geländeform, Geländebeschaffenheit/Landnutzung; hydrologisch-hydrogeologisches Einzugsgebiet; anthropogene Einflüsse wie z.B. Strassenwasser, Drainagen, etc.) wurden im Feld diskutiert.

## 2. Langnauerwald

### Vergangene Ereignisse

#### Dokumentierte Ereignisse (Ereigniskataster)

Im Untersuchungsgebiet wurden bisher keine Rutschungen im Ereigniskataster (StorMe Kanton Luzern) dokumentiert. Spuren von kürzlichen Ereignissen (vermutlich von 2005 oder jünger) sind aber im Feld zu erkennen. Abbildung 9 zeigt die Drainiermassnahmen, welche für die Stabilisierung einer Rutschfläche an der Kante der Schotter-Terrasse vorgenommen wurden.



Abbildung 9: Stabilisierte Rutschfläche nach einem Ereignis im Langnauerwald.

#### Stumme Zeugen

An den Schotterhängen in der näheren und weiteren Umgebung des Untersuchungsgebiets gibt es einige Zeugen von ehemaligen Hangmurenereignissen. Einige deutliche Ausbruchstellen und Ablagerungen sind erkennbar. Weitere ausgeprägte muldenartige Geländeformen können als ehemalige Ausbruchstellen von Hangmuren interpretiert werden (Abb. 10).



Abbildung 10: Alte Ausbruchstelle (links) und abgelagertes Bodenmaterial hinter einem Baumstamm (rechts).

### Hangneigung

Ein DHM von 2012 mit einer Auflösung von 2 m wurde benutzt, um die Hangneigung zu berechnen. Gemäss der Vollzugshilfe des Bundes für das Gefahrenmanagement von Hangmuren (BAFU, 2016) wären im gesamten Perimeter die „Hänge der Schotterterrassen“ pauschal als potentielle Gefahrenquellen für Hangmuren auszuscheiden. In dieser Gefahrenquelle ist eine Prozessauslösung von Hangmuren generell ab einem kritischen Hangneigungswinkel von ca. 20° möglich; eine erhöhte Disposition für Prozessauslösungen besteht bei Hangneigungen von 30-38° (vgl. Abb.11).

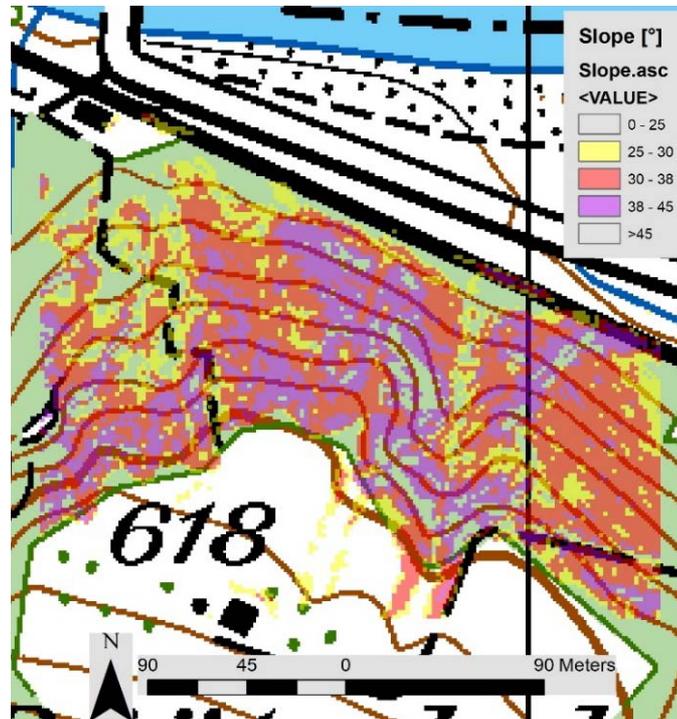


Abbildung 11: Hangneigung im Langnauerwald

### Geologie, Hydrogeologie und Bodeneigenschaften

Der Untersuchungsperimeter im Langnauerwald befindet sich im Molassebecken auf einer Schotterterrasse. Hänge und Mulden sind hauptsächlich mit Ablagerungen von Lockermaterial bedeckt. Der Boden zeigt eine fortgeschrittene Entwicklung mit Merkmalen von chemischer Verwitterung im Unterboden (Bv Horizont) und von Anreicherung organischer Substanz im Oberboden (Ah Horizont).



Abbildung 12: Mulde mit Vernässungsmerkmalen und schrägen Bäumen.

Das Ausgangsgestein und die Vegetation begünstigen die biologische Aktivität in leicht sauren Bedingungen (pH ~ 5-6). Der Oberboden zeigt sich deswegen gut strukturiert, ausser in vernässten Stellen, wo reduzierte Bedingungen herrschen. Der Unterboden ist grösstenteils skelettarm (< 10%), wobei einige Ablagerungsschichten einen hohen Anteil an Kies und Steinen aufweisen. In Mulden ist eine Anreicherung von Tonmineralien zu erwarten (vgl. Abb.12). Die Böden sind als Braunerde, Pseudogley oder Gley klassifiziert, je nach Morphologie des Geländes.

Aus Sicht der Gefahrenbeurteilung ist eine gute Durchlässigkeit des gesamten Profils auf Kuppen und Hängen zu erwarten, während in Mulden mit einer reduzierten Durchlässigkeit zu rechnen ist. Der grosse Fraktionsanteil aus Schluff lässt vermuten, dass der Reibungswinkel des Bodens relativ tief ist und eine geringe effektive Kohäsion vorhanden ist.

Das geologische Substrat war in diesem Gebiet schwierig zu beurteilen. Aufgrund der wahrscheinlich mächtigen Abdeckung der Schotterterrasse ist zu erwarten, dass der Hauptprozess, welcher zu erhöhtem Porenwasserdruck führen kann, der präferentielle Abfluss im Bereich des C Horizonts ist.

### Bodenmächtigkeit

Der Boden ist im Gebiet relativ tiefgründig. Gemäß Modellierung sind potentielle Scherflächen von Hangmuren bis 1.6 m Tiefe zu erwarten, abnehmend mit zunehmender Hangneigung. Ab ca. 45° Hangneigung sind kaum Hangmuren zu erwarten. Hierbei ist zu beachten, dass an den Kanten der Schotterterrassen immer wieder verwittertes Material abrutschen/fallen kann.

### Bodenphysikalische Eigenschaften

Eine Probe Bodenmaterial aus dem C Horizont (potentielle Rutschfläche) wurde im Labor analysiert, um die Textur zu definieren. Das Bodenmaterial wurde als „Schluff mit Ton“ mit geringer Plastizität klassifiziert. Abbildung 13 zeigt die Resultate der Korngrössenanalyse, welche eine kleine Tonfraktion aufweist und damit eine Bodenkohäsion,  $c' > 0$  kPa, zu erwarten ist. Die Präsenz von einer kleinen Fraktion von Sand-Kies-Steinen weist auf einen tiefen Reibungswinkel hin (geschätztes  $\Phi' = 23^\circ$ ).

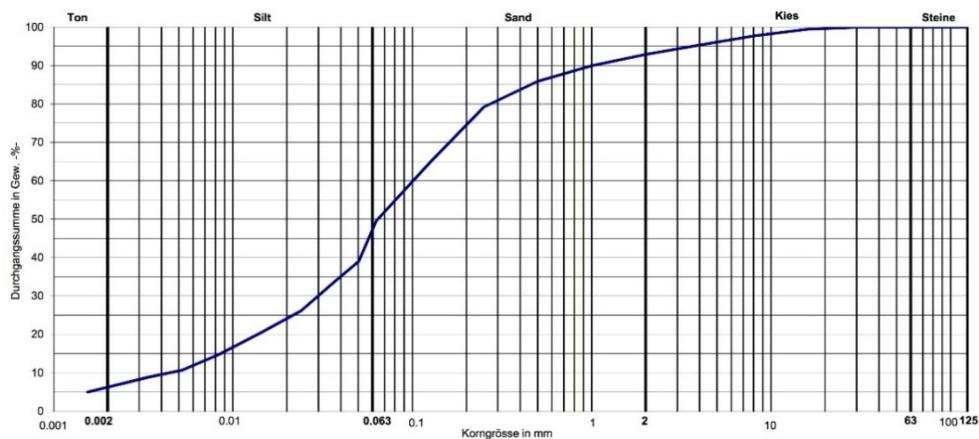


Abbildung 13: Korngrössenverteilung einer Bodenprobe aus dem C Horizont im Langnauerwald.

Die Fließgrenze von 16.5% zeigt, dass dieser Boden bei diesem Wassergehalt die scheinbare Kohäsion ( $c_u$ ) verliert. Dieser Wert entspricht der Feldkapazität des Bodens (ab diesem Wassergehalt wird das Wasser langsam vertikal oder lateral drainieren). Die Plastizitätszahl von 4 ist so zu interpretieren, dass sich der Boden plastisch unter dem Einfluss des Wassers in einem relativ kleinen Bereich des Wassergehalts (zwischen 12.2% und 16.5%) verhält. Wenn der Wassergehalt unter die Ausrollgrenze (12.2%) fällt, gibt es auch keine scheinbare Kohäsion. Abbildung 14 zeigt die Klassifikation des Bodenmaterials aufgrund des Wassergehalts und der Plastizitätszahl.

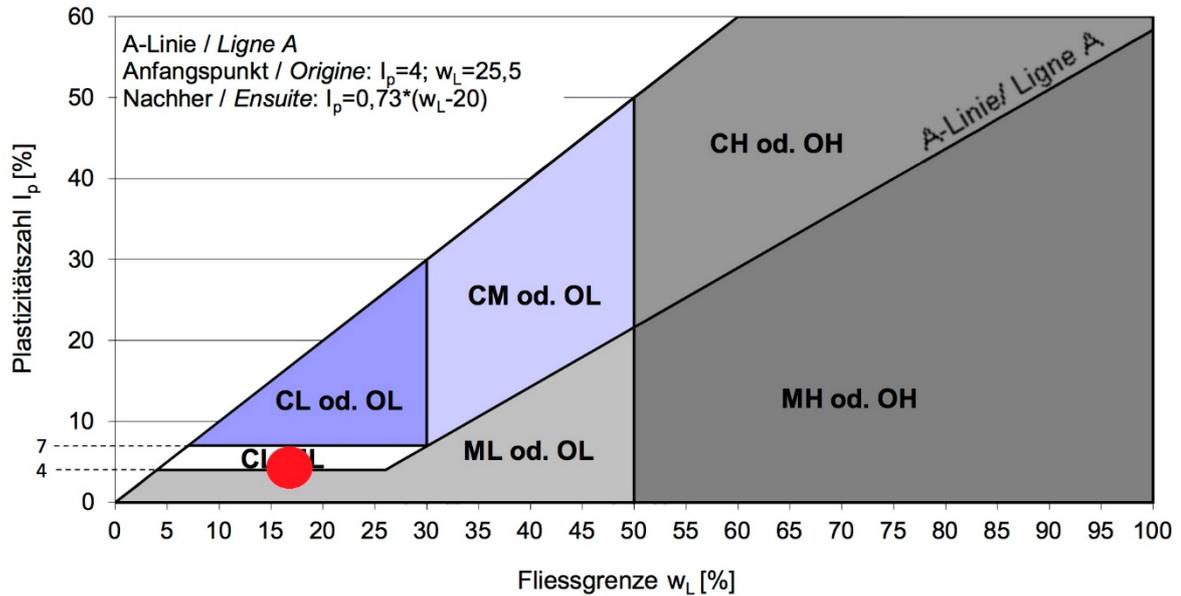


Abbildung 14: Diagramm der Plastizitätszahl

Die scheinbare Kohäsion des Bodens ist in SOSlope als Funktion des Wassergehalts nach dem Ansatz von Lu et al. (2010) berechnet. Die Parameter für die Anwendung dieses Ansatzes sind aus der Bodenklassifikation zu eruiieren. Abbildung 15 zeigt gemäß der Klassifikation, welche Werte verwendet werden.

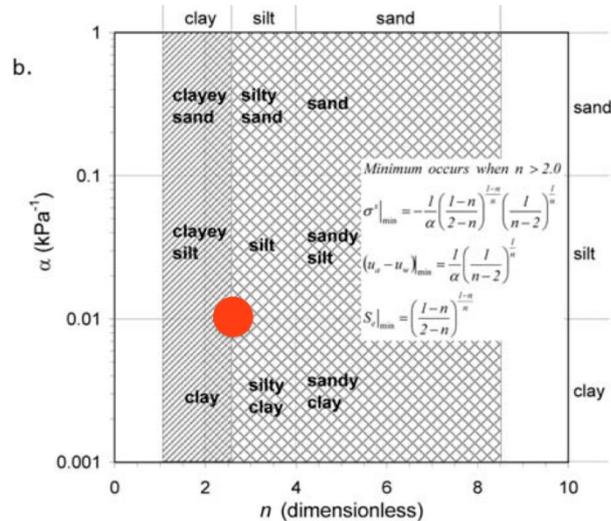


Abbildung 15: Schätzung der Parameter (Alpha und n) für die Modellierung der Saugspannung nach Lu et al. (2010). Der rote Punkt zeigt die Klassifikation des Bodens im Langnauerwald.

### Hydrologie: Niederschlag und Vorfeuchte

Für jede Wiederkehrdauer wurden aus der Kombination von zwei Niederschlagsdauer-Intensitäten (1 und 24 Stunden) und zwei Vorfeuchten des Bodens (15% und 35% Wassergehalt) vier hydrologische Szenarien mit SOSlope simuliert.

Die Niederschlagsintensität für 1 Stunde Dauer und eine Wiederkehrdauer von 100 Jahren im Langnauerwald beträgt 55 mm/h (HADES) und entspricht dem Szenario eines Gewitters in den Sommermonaten, bei welcher die Vorfeuchte durchschnittlich niedrig ist. Die Wahrscheinlichkeit, dass die gleiche Intensität während Perioden mit langandauerndem Regen stattfindet, ist als klein einzuschätzen. Dieses Niederschlagszenario verursacht einen raschen Anstieg des Porenwasserdrucks in den Makroporen im Boden, ist aber zu kurz, um die scheinbare Kohäsion in bindigen Böden zu reduzieren.

Die Niederschlagsintensität für ein 24 Stunden dauerndes und 100-jährliches Ereignis im Langnauerwald beträgt 5 mm/h (HADES). Dieses Niederschlagszenario ist kritisch für Böden, bei welchen die Abnahme der scheinbaren Kohäsion in Kombination mit einem Anstieg des Porenwasserdruckes eine wichtige Rolle spielt.

Auf Grund der Vorfeuchte und der Niederschlagsintensität wurde in SOSlope die räumliche Verteilung des maximalen Porenwasserdruckes und niedrigster Saugspannung (analog zu Kapillarkräften) an der Rutschfläche berechnet. Die Saugspannung wird im Modell benutzt, um die scheinbare Kohäsion des Bodens zu berechnen. Abbildung 16 zeigt die Verteilung des Porenwasserdrucks bei einem pessimistischen Szenario (Vorfeuchte = 35%, Wassergehalt und Niederschlagsintensität = 55 mm/h).

Die Niederschlagszenarien für die 10- und 30-jährliche Wiederkehrdauer wurden in Relation zum 100-jährlichen Ereignis geschätzt.

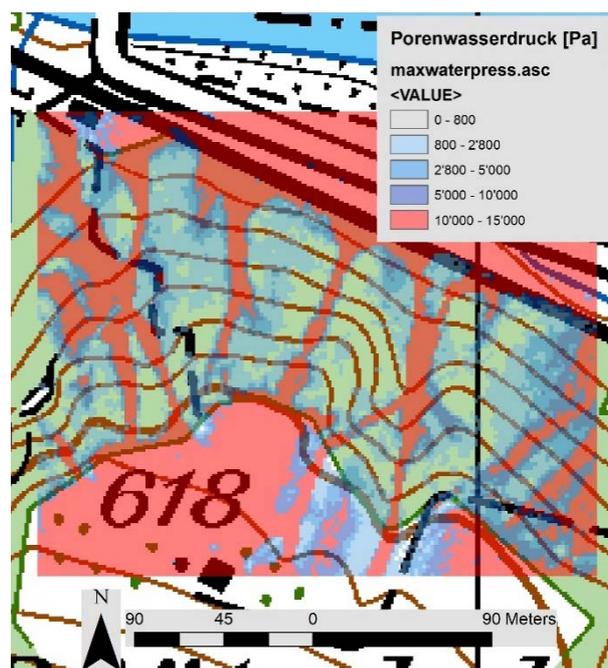


Abbildung 16: Beispiel des berechneten Porenwasserdrucks mit SOSlope für ein 100-jährliches Niederschlagsereignis (1h, 80mm/h)

### Berechnung Ausbruch- und Auslaufszenerien

Aus der manuellen Auswertung der Resultate von SOSlope wurden die Ausbruchflächen der flachgründigen Rutschungen definiert.

Die nachfolgende Tabelle gibt eine Übersicht über die für die Modellierung mit SOSlope verwendeten Eingangsparameter:

Tabelle 2: Parameter / Eingangsdaten Modellierung SOSlope für den Langnauerwald

	<i>Langnauerwald (LU)</i>
<i>Reibungswinkel des Bodens (Phi')</i>	23°
<i>Effektive Kohäsion (c')</i>	5.5 [kPa]
<i>Van Genuchten Parameter Alpha</i>	0.01
<i>Van Genuchten Parameter n</i>	2.5
<i>Bodendichte</i>	1.57 [t/m <sup>3</sup> ]
<i>Porosität des Bodens</i>	0.45

Acht potentielle Ausbruchstellen sind identifiziert worden, welche sich oft in leichten Mulden befinden. Der Auslauf findet oft in relativ offenen Mulden statt.

## 3. Schächliwald

### Vergangene Ereignisse

#### Dokumentierte Ereignisse (Ereigniskataster)

Im Gebiet Schächliwald liegen bislang keine im kantonalen Ereigniskataster dokumentierten Ereignisse vor.

#### Stumme Zeugen

An den Schotterhängen in der näheren und weiteren Umgebung des Untersuchungsgebiets gibt es insgesamt einige stumme Zeugen von ehemaligen Hangmurenereignissen. Einige undeutlich ausgeprägte muldenartige Geländeformen können als ehemalige Ausbruchstellen von Hangmuren interpretiert werden (Abb. 17).



Abbildung 17: Altes Ausbruchgebiet an der Kante der Schotterterrasse.

#### Hangneigung

Ein DHM von 2012 wurde benutzt, um die Hangneigung zu berechnen. Gemäß der Vollzugshilfe des Bundes für das Gefahrenmanagement von Hangmuren (BAFU, 2016) wären im gesamten Perimeter „Hänge der Schotterterrassen“ pauschal als potentielle Gefahrenquellen für Hangmuren auszuscheiden. In dieser Gefahrenquelle ist eine Prozessauslösung von Hangmuren generell ab einem kritischen Hangneigungswinkel von ca. 30° möglich; eine erhöhte Disposition für Prozessauslösungen besteht bei Hangneigungen von 31-38° (vgl. Abb. 18).

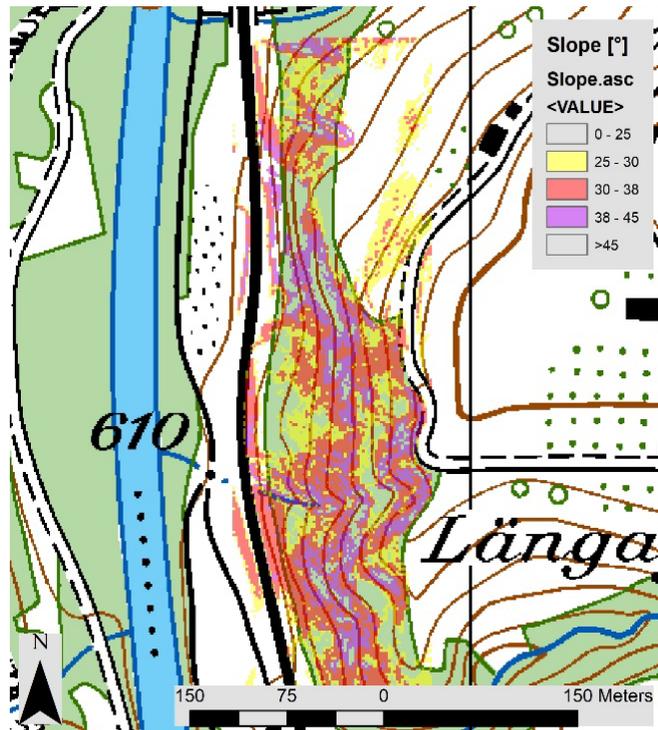


Abbildung 18: Hangneigung Schächliwald

### Geologie, Hydrogeologie und Bodeneigenschaften

Der Untersuchungsperimeter im Schächliwald befindet sich im Molassebecken mit unterschiedlichen Schichten aus Konglomerat und Sandstein. In steilen Hängen ist zum Teil das Konglomerat sichtbar (Abb. 19). Hänge und Mulden sind hauptsächlich mit Ablagerungen bedeckt.



Abbildung 19: Sichtbares Konglomerat an steiler Hangstelle.

Der Boden weist eine fortgeschrittene Entwicklung mit Merkmalen von chemischer Verwitterung im Unterboden (Bv Horizont) und Anreicherung organischer Substanzen im Oberboden (Ah Horizont) auf. Das Ausgangsgestein und die Vegetation begünstigen die biologische Aktivität in leicht sauren

Bedingungen (pH ~ 5-6). Der Oberboden ist deswegen gut strukturiert. Der Unterboden ist größtenteils skelettreich (> 60%). Bis in eine Tiefe von ca. 1 m sind keine Vernässungsmerkmale und keine Tonverlagerung vorhanden. Die Böden sind als Braunerde klassifiziert.

Aus Sicht der Gefahrenbeurteilung ist eine gute Durchlässigkeit des gesamten Profils zu sowie ein erhöhter Reibungswinkel des Material im Unterboden (B-C Horizonte) zu erwarten.

Auf Grund des wechselhaften geologischen Untergrunds und den Eigenschaften der Schichten ist zu erwarten, dass die Bildung von Porenwasserdruck auf potentiellen Gleitflächen durch drei Hauptmechanismen entsteht:

- Präferenzialer lateraler Abfluss im Bereich des C Horizonts, wo die biologische Aktivität (Wurzeln, Bakterien, etc.) stark reduziert ist und die Dichte des Boden Werte von 1.5-1.6 g/cm<sup>3</sup> erreicht.
- Konzentrierter Abfluss an der Oberfläche zwischen Boden und Festgestein (vor allem in Konglomeratschichten)
- Exfiltration von Wasser aus Kluftsystemen des Substrats.

### Bodenmächtigkeit

Der Boden ist im Gebiet relativ tiefgründig. Gemäß Modellierung sind potentielle Scherflächen von Hangmuren bis 1.6 m Tiefe zu erwarten, abnehmend mit zunehmender Hangneigung. Ab ca. 45° Hangneigung ist die Bodenmächtigkeit < 0.5 m, und damit sind keine Hangmuren zu erwarten. Wobei zu beachten ist, dass an Kanten der Schotterterrassen immer wieder verwittertes Material abrutschen kann.

### Bodenphysikalische Eigenschaften

Eine Probe Bodenmaterial aus dem C Horizont (potentielle Rutschfläche) wurde im Labor analysiert, um die Textur zu definieren. Das Bodenmaterial wurde als „schlecht abgestufter Kies mit Schluff“ mit geringer Plastizität klassifiziert. Abbildung 20 zeigt die Resultate der Korngrößenanalyse, welche eine Tonfraktion <5 % aufweist, womit wenig Bodenkohäsion ( $c' < 5$  kPa) zu erwarten ist. Die Präsenz einer großen Fraktion von Sand-Kies-Steinen weist auf einen hohen Reibungswinkel hin (geschätzte  $\Phi' = 27^\circ$ ).

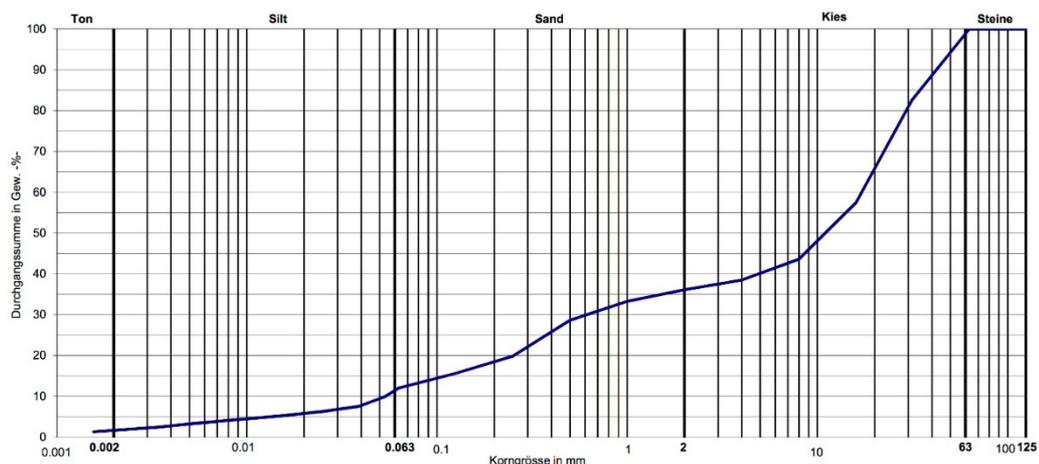


Abbildung 20: Korngrößenverteilung einer Bodenprobe aus dem C-Horizont im Schächliwald.

Die Fließgrenze von 27.8 % zeigt, dass dieser Boden bei diesem Wassergehalt die scheinbare Kohäsion ( $c_u$ ) verliert. Dieser Wert entspricht der Feldkapazität des Bodens (ab diesem Wassergehalt wird das Wasser in wenigen Stunden vertikal oder lateral drainiert). Die Plastizitätszahl von 4 ist so zu interpretieren, dass sich der Boden plastisch unter dem Einfluss des Wassers in einem relativ kleinen Bereich des Wassergehalts (zwischen 22.1% und 27.8%) verhält. Wenn der Wassergehalt unter die Ausrollgrenze (22.1%) fällt, gibt es auch wenige scheinbare Kohäsion. Abbildung 21 zeigt die Klassifikation des Bodenmaterials aufgrund des Wassergehalts und der Plastizitätszahl.

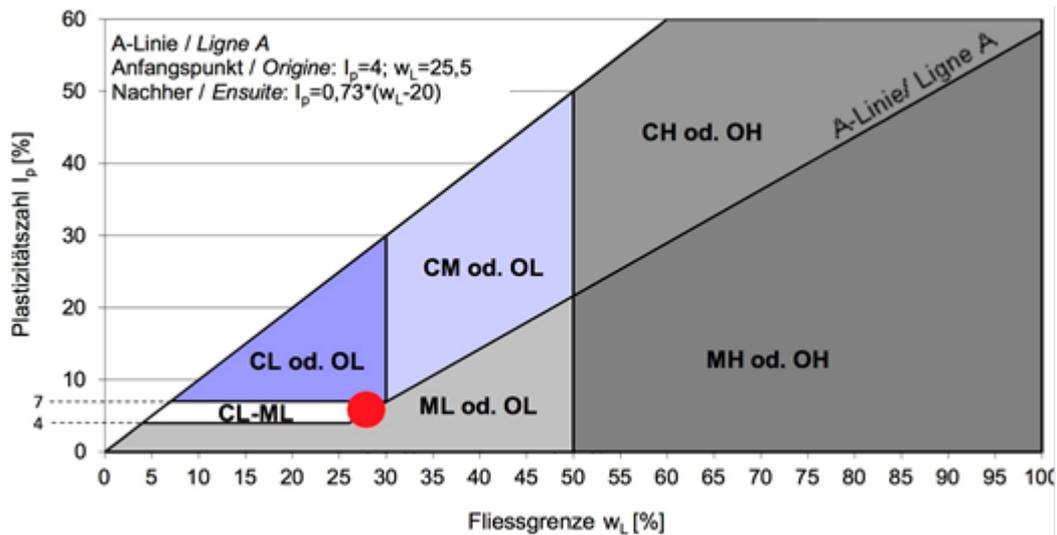


Abbildung 21: Diagramm der Plastizitätszahl

Die scheinbare Kohäsion des Bodens ist in SOSlope als Funktion des Wassergehalts nach dem Ansatz von Lu et al. (2010) berechnet. Die Parameter für die Anwendung dieses Ansatzes sind aus der Bodenklassifikation zu eruiieren. Abbildung 22 zeigt gemäß Klassifikation, welche Werte verwendet werden.

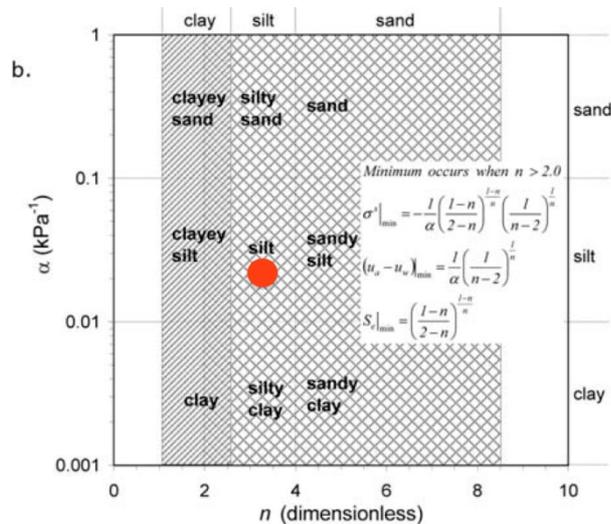


Abbildung 22: Schätzung der Parameter (Alpha und n) für die Modellierung der Saugspannung nach Lu et al. (2010). Der rote Punkt zeigt die Klassifikation des Bodens im Schächliwald.

### Hydrologie: Niederschlag und Vorfeuchte

Für jede Wiederkehrdauer wurden aus der Kombination von zwei Niederschlagsdauer-Intensitäten (1 und 24 Stunden) und zwei Vorfeuchten des Bodens (15% und 35% Wassergehalt) vier hydrologische Szenarien mit SOSlope simuliert.

Die Niederschlagsintensität für 1 Stunde Dauer und die 100-jährliche Wiederkehrdauer im Schächliwald beträgt 50 mm/h (HADES) und entspricht dem Szenario eines Gewitters in den Sommermonaten, wo die Vorfeuchte durchschnittlich niedrig ist. Die Wahrscheinlichkeit, dass die gleiche Intensität während Perioden mit langandauerndem Regen stattfindet, ist als klein einzuschätzen. Dieses Niederschlagsszenario verursacht einen raschen Anstieg des Porenwasserdrucks in den Makroporen im Boden, aber es ist zu kurz, um die scheinbare Kohäsion in bindigen Böden zu reduzieren.

Die Niederschlagsintensität für ein 24 Stunden andauerndes, 100-jährliches Ereignis beträgt 5 mm/h (HADES). Dieses Niederschlagsszenario ist kritisch für Böden, wo die Abnahme der scheinbaren Kohäsion in Kombination mit einem Anstieg des Porenwasserdruckes eine wichtige Rolle spielt.

Auf Grund der Vorfeuchte und der Niederschlagsintensität wurden in SOSlope die räumliche Verteilung des maximalen Porenwasserdruckes und niedrigster Saugspannung (analog zu Kapillarkräften) an der Rutschfläche berechnet. Die Saugspannung wird im Modell benutzt, um die scheinbare Kohäsion des Bodens zu berechnen. Abbildung 23 zeigt die Verteilung des Porenwasserdruckes bei einem pessimistischen Szenario (Vorfeuchte = 35%, Wassergehalt und Niederschlagsintensität = 50 mm/h).

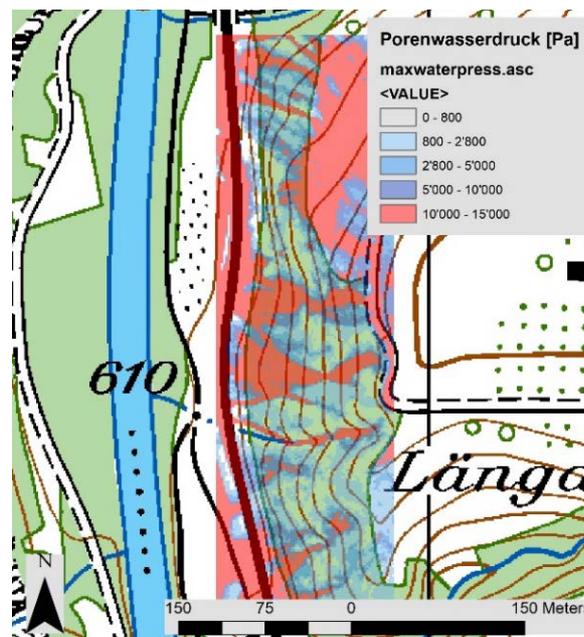


Abbildung 23: Beispiel des berechneten Porenwasserdrucks mit SOSlope für ein 100J. Niederschlagsereignis (1h, 50mm/h).

Die Niederschlagsszenarien für die 10- und 30-jährliche Wiederkehrdauer wurden in Relation zum 100-jährlichen Ereignis geschätzt.

### Berechnung Ausbruch- und Auslaufsznarien

Aus der manuellen Auswertung der Resultate von SOSlope wurden die Ausbruchflächen der flachgründigen Rutschungen definiert. Die nachfolgende Tabelle gibt eine Übersicht über die für die Modellierung mit SOSlope verwendeten Eingangsparameter:

Tabelle 3: Parameter / Eingangsdaten Modellierung SOSlope für den Schächliwald

<i>Schächliwald (LU)</i>	
<i>Reibungswinkel des Bodens (Phi')</i>	27°
<i>Effektive Kohäsion (c')</i>	4.5 [kPa]
<i>Van Genuchten Parameter Alpha</i>	0.02
<i>Van Genuchten Parameter n</i>	3
<i>Bodendichte</i>	1.57 [t/m <sup>3</sup> ]
<i>Porosität des Bodens</i>	0.45

Fünf potentielle Ausbruchstellen konnten identifiziert werden.

## Anhang B

### Grundlagen M-Flow

Für alle simulierten Rutschungen/Hangmuren wurde eine Anrissstiefe von 1.5 m gewählt (Ergebnis aus SOSlope). Es wurden 100 Simulationen pro Anrissfläche gerechnet. Das heisst zum Beispiel, dass im 300-jährlichen Szenario ohne Wald in Gambarogno (mit 11 Anrissflächen) insgesamt 1100 Auslauf-Simulationen gerechnet wurden. Die min. Fliesshöhe, d.h. die Fliesshöhe, bei welcher eine Masse in einer Zelle nicht weitersimuliert wird (gilt also als Abbruchkriterium), wurde auf 0.1 m festgelegt. Dieser Wert hat einen grossen Einfluss auf den modellierten Auslauf. Die Kalibrierung dieses Wertes erfolgte iterativ und in Abgleich mit den vorgefundenen Auslaufgebieten historischer Ereignisse.

Die Massenverteilung in M-Flow basiert auf einem sogenannten «Multiple-Flow Direction» Algorithmus. Diese wird auf Basis der Gradienten zwischen einer Zelle und all ihren benachbarten tiefer gelegenen Zellen im digitalen Geländemodell (DGM) berechnet. Für alle drei Studiengebiete wurde ein digitales Geländemodell mit einer Auflösung von 2 m x 2 m verwendet.

In M-Flow wird der Druck P der Hangmure gemäss Scheidegger<sup>1</sup> (1975) wie folgt berechnet:

$$P = \rho * g * (h + V^2/(2*g)) \text{ [in Pa]}$$

wobei:

$$\begin{aligned} \rho &= 2000 \text{ kg.m}^{-3} \\ g &= \text{Gravitationsfeldstärke [9.81 N.kg}^{-2}] \\ h &= \text{Fließhöhe (m)} \\ V &= \text{Fließgeschwindigkeit } (A * MD\_ratio * (1 - e^B) + (V_{\text{ein}}^2 * e^B)^{0.5}) \text{ [in m.s}^{-1}] \end{aligned}$$

wobei:

$$\begin{aligned} A &= g * (\sin(\beta) - \mu * \cos(\beta)) \\ \beta &= \text{Hanggradient [in } ^\circ \text{; wird aus dem DGM berechnet]} \\ \mu &= 0.2 \text{ (Reibungsparameter)} \\ MD\_ratio &= 40 \text{ ("mass-to-drag ratio")} \\ B &= -2 * L / MD\_ratio \\ L &= \text{Segmentlänge [in m; wird aus dem DGM berechnet]} \\ V_{\text{ein}} &= \text{Geschwindigkeit am Anfang vom Hangsegment [in m.s}^{-1}] \end{aligned}$$

Die benötigten Eingangsdaten sind das DGM sowie ein Raster mit den Anrissgebieten. Daneben müssen die Anrissstiefe, die min. Fliesshöhe, die Dichte des Rutschmaterials, der Reibungsparameter und das Mass-to-drag ratio definiert werden.

Die Ausgangsdaten beinhalten die folgenden vier Raster: 1) max. Ablagerungshöhe pro Zelle; 2) Erreichwahrscheinlichkeit pro Zelle; 3) max. simulierter Druck pro Zelle und 4) max. simulierte Fließgeschwindigkeit pro Zelle.

---

<sup>1</sup> Scheidegger, A.E. (1975). Physical aspects of natural catastrophes. Elsevier Publishing Company.

## Anhang C

# Grundlagen für die Planung waldbaulicher Massnahmen

Kartengrundlagen und Fotodokumentation für die drei Fallstudiengebiete:

- Gambarogno
- Langnauerwald
- Schächliwald

## Anhang C

# Grundlagen für die Planung waldbaulicher Massnahmen: Gambarogno

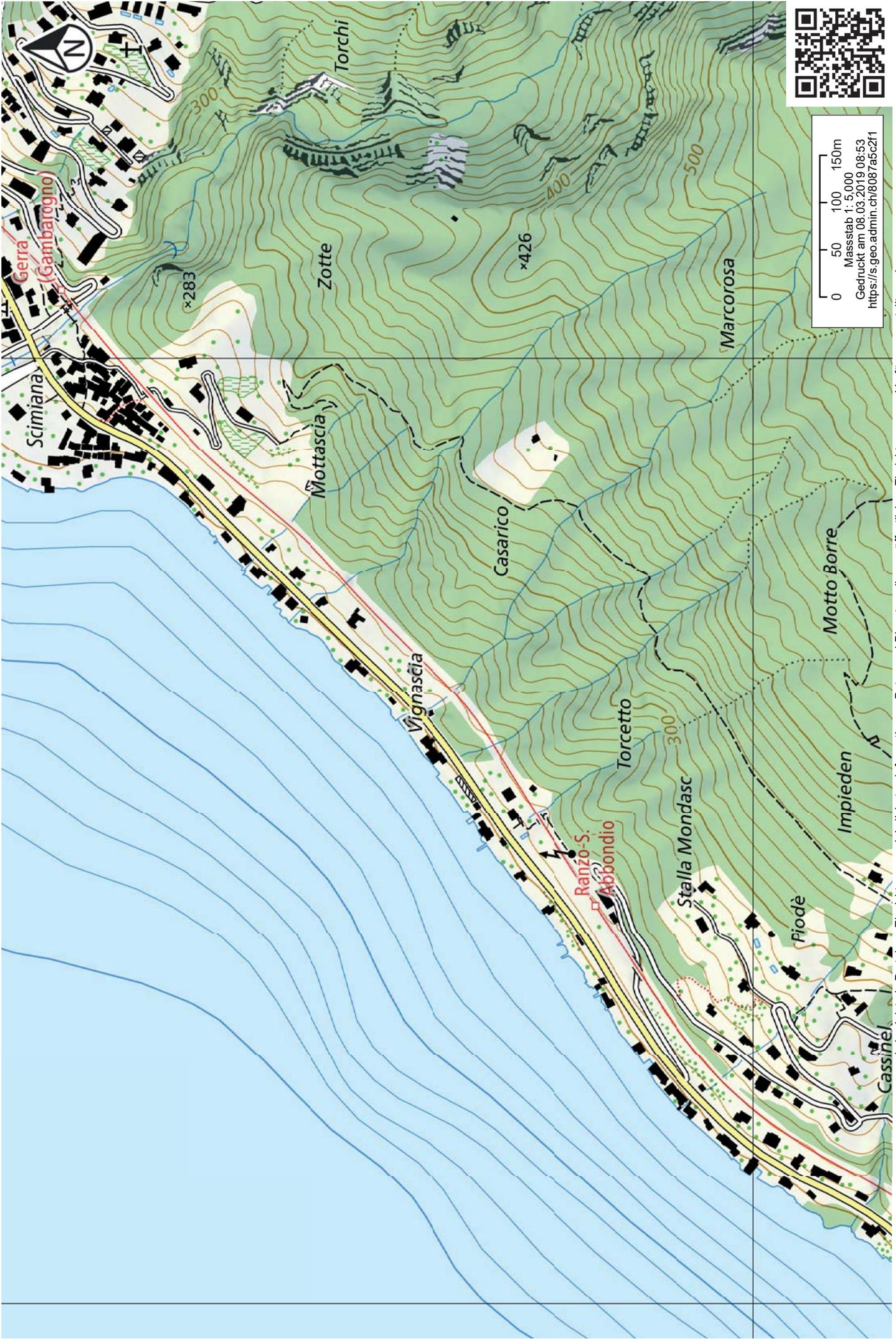
- Fotodokumentation
- Übersichtskarte
- Übersichtskarte mit Flächenperimeter
- Luftbild mit Flächenperimeter
- Karte Reliefschattierung

# Fotodokumentation: Gambarogno

## Bestandesbilder Gambarogno







www.geo.admin.ch ist ein Portal zur Einsicht von geolokalisierten Informationen, Daten und Diensten, die von öffentlichen Einrichtungen zur Verfügung gestellt werden

Haftung: Obwohl die Bundesbehörden mit aller Sorgfalt auf die Richtigkeit der veröffentlichten Informationen achten, kann hinsichtlich der inhaltlichen Richtigkeit, Genauigkeit, Aktualität, Zuverlässigkeit und

Vollständigkeit dieser Informationen keine Gewährleistung übernommen werden. Copyright, Bundesbehörden der Schweizerischen Eidgenossenschaft. <http://www.disclaimer.admin.ch>

© swisstopo, public.geo.admin.ch

Schweizerische Eidgenossenschaft

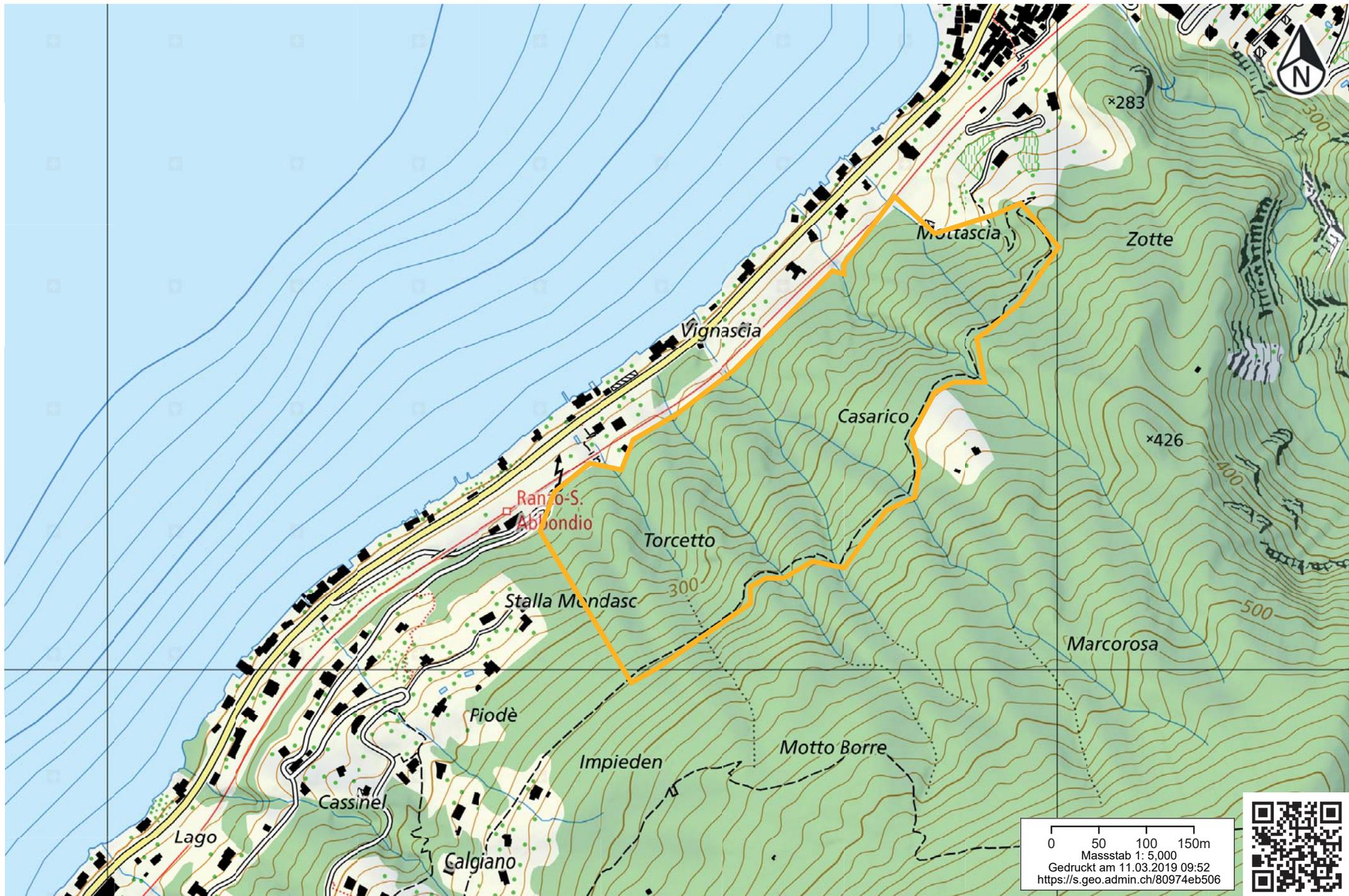
Confédération suisse

Confederazione Svizzera

Confederaziun svizra

In collaboration with the cantons









0 50 100 150m  
Massstab 1: 5,000  
Gedruckt am 14.03.2019 07:51  
<https://s.geo.admin.ch/80a6538ed5>

## Anhang C

# Grundlagen für die Planung waldbaulicher Massnahmen: Langnauerwald

- Karte waldbauliche Planung
- NaiS Formular 2
- Fotodokumentation
- Karte Waldsoziologie
- Karte Waldbestand
- Karte Güter- und Waldstrassen
- Karte Grundbuchplan
- Karte Höhenmodell
- Karte Luftbild

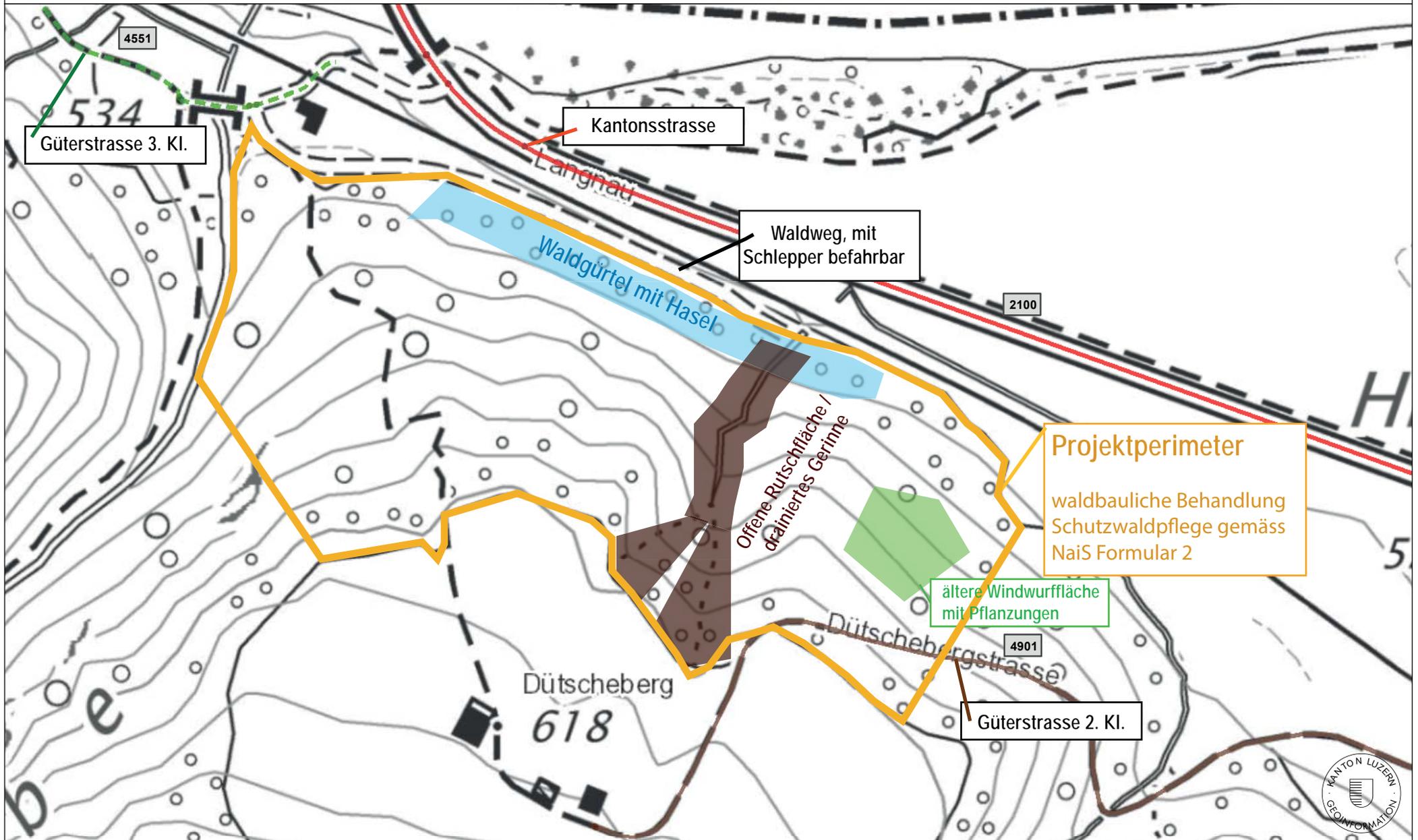
# Karte waldbauliche Planung (Langnauerwald)

Ausdruck [www.geoportal.lu.ch](http://www.geoportal.lu.ch) / bearbeitet bzw. manuell ergänzt durch BFH-HAFL

07.3.2019



1:2000



**Projektperimeter**  
waldbauliche Behandlung  
Schutzwaldpflege gemäss  
NaiS Formular 2

ältere Windwurffläche  
mit Pflanzungen

Offene Rutschfläche /  
drainiertes Gerinne

Kantonsstrasse

Waldweg, mit  
Schlepper befahrbar

Güterstrasse 3. Kl.

Güterstrasse 2. Kl.



# NaiS - Formular 2

# Herleitung Handlungsbedarf

Ort: Langnauerwald

Datum: Oktober 2018

Bearbeiter/-in: BFH-HAFL

1. Standortstyp(en) 8a Typischer Waldhirschen-Buchenwald, selten feuchtere Standorte wie 8S (tlw. ergänzt mit Empfehlungen Kt. LU)

2. Naturgefahr Rutschungen, Erosion, Murgänge; Entstehungsgebiet: flachgründig

Wirksamkeit gross

### 3. Zustand, Entwicklungstendenz und Massnahmen

Bestandes- und Einzelbaum-merkmale	Minimalprofil: Standortstyp <i>Naturgefahr</i>	Idealprofil: Standortstyp <i>Naturgefahr</i>	Zustand heute	Entwicklung ohne Massn.			wirksame Massnahmen	verhältnis- mässig	6. Etappenziel mit Kontrollwerten:  Wird in .... Jahren überprüft
				in 50 Jahren	in 10 Jahren	heute			
<b>Mischung</b> - Art und Grad	Lbb 60 - 100 % Bu 50 - 100 % Ta Samenb. - 40 % Fi 0 - 30 % gem. LU Empfehlungen: 80-100% Lbb Bu 40-100%, Bah, Es: -60% Ta - 20%, Fi - 20%	Lbb 80 - 90 % Bu 60 - 80 % Ta 10 - 20 % gem. LU Empfehlungen: 90-100% Lbb Bu 50-80%, Bah, Es 20-50% Ta - 10%	Lbb 70% Bu 50% übriges Lbb 20% (Ah, Ul, Hasel) NdH: 30% (Ta, Fi)				Hasel unerwünscht; bei Eingriff wegpflegen	<input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein	
<b>Gefüge, vertikal</b> - BHD Streuung	Genügend entwicklungsfähige Bäume in mind. 2 verschiedenen Ø-Klassen pro ha	Genügend entwicklungsfähige Bäume in mind. 3 verschiedenen Ø-Klassen pro ha	genügend entwicklungsfähige Bäume in 2 Durchmesserklassen				Verjüngung / Struktur und Stufigkeit fördern	<input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein	
<b>Gefüge, horizontal</b> - Deckungsgrad - Stammzahl - Lückenbreite	<i>Lü-Grösse max. 6a bei gesicherter Verj. max. 12a / DG dauernd ≥ 40 % / Bei Übergängen im Standortstyp ist die BA-Zusammensetzung des feuchteren Typs anzustreben</i>	<i>Lü-Grösse max. 4a, bei gesicherter Verj. max. 8a / DG dauernd ≥ 60 % / Bei Übergängen im Standortstyp ist die BA-Zusammensetzung des feuchteren Typs anzustreben</i>	Schlussgrad normal DG über gesamte Fläche > 60%, meist >80% grosse Runse / Lücke (verbautes Gerinne); dort Lückengrösse zu gross und Verjüngung nicht gesichert				Über ganze Fläche gesehen in Ordnung, nur grosse Runse/Mulde nicht - vgl. Bericht	<input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein	
<b>Stabilitäts-träger</b> - Kronenentw. - Schlankheitsg. - Ziel-Ø	Mind. ½ der Kronen gleichmässig geformt Lotrechte Stämme mit guter Verankerung, nur vereinzelt starke Hänger	Höchstens wenige Kronen stark einseitig; lotrechte Stämme mit guter Verankerung, keine starken Hänger  <i>Keine schweren und wurfgefährdeten Bäume</i>	Ca die Hälfte der Kronen gleichmässig geformt und meist lotrecht, sehr wenige starke Hänger Verjüngungsfeindliche Zonen mit instabilem Aufwuchs				Im dichten Bestand: Erhalt/Förderung stabiler Strukturen, ggf. gruppenweise Entnahme In Offenflächen / instabilem Aufwuchs: Pflege und Förderung stabiler Einzelbäume	<input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein	
<b>Verjüngung - Keimbett</b>	Fläche mit starker Vegetationskonkurrenz < 1/3	Fläche mit starker Vegetationskonkurrenz < 1/10	im geschlossenen Bestand Vegetationskonkurrenz < ca. 1/5 offene Flächen: Starke Konkurrenzvegetation, erschwerte Verjüngungsgunst				Über ganze Fläche gesehen in Ordnung, aber: grosse Runse/Mulde mit starker Konkurrenz --> Verjüngungsgunst ggf. mit intensiven Spezialmassnahmen, vgl. Bericht	<input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein	
<b>Verjüngung - Anwuchs</b> (10 bis 40 cm Höhe)	Bei Deckungsgrad < 0,7 mind. 10 Bu pro a (im Ø alle 3 m) vorhanden	Bei Deckungsgrad < 0,7 mind. 50 Bu pro a (im Ø alle 1,5 m) vorhanden <i>auf feuchteren Standorten (8S); in Lücken Bah, Es vorhanden</i>	in lichterem Teilen des Bestands: Ca. 10-20 Bu/a vorhanden				Verjüngung einleiten (kleinflächig)	<input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein	
<b>Verjüngung - Aufwuchs</b> (bis und mit Dichtung, 40 cm Höhe bis 12 cm BHD)	Pro ha mind. 1 Trupp (2 - 5 a, im Ø alle 100 m) oder Deckungsgrad mind. 3 % Mischung zielgerecht	Pro ha mind. 2 Trupps (2 - 5 a, im Ø alle 75 m) oder Deckungsgrad mind. 7 %; Mischung zielgerecht	Ca. 2 Trupps pro ha vorhanden; v.a. Buchen, tlw. NdH Haselgürtel (unten) und Offenflächen: wenig gut.				vorhandene Verjüngung fördern / freistellen (v.a. Bu, LbH, Ta) - ggf. Hasel wegpflegen	<input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein	

B'Arten gem. NaiS zu viel NdH; aber gewünscht, v.a. Ta (Erziehung, Stabilität)

B'Arten gem. NaiS zu viel NdH; aber gewünscht, v.a. Ta (Erziehung, Stabilität)

sehr schlecht    minimal    ideal

4. Handlungsbedarf  ja  nein

5. Dringlichkeit  klein  mittel  gross

Nächster Eingriff: 5 Jahre

# Fotodokumentation: Langnauerwald

Bestandesbilder allgemein (Grossteil Fläche; waldbauliche Behandlung gemäss NaiS Formular 2)



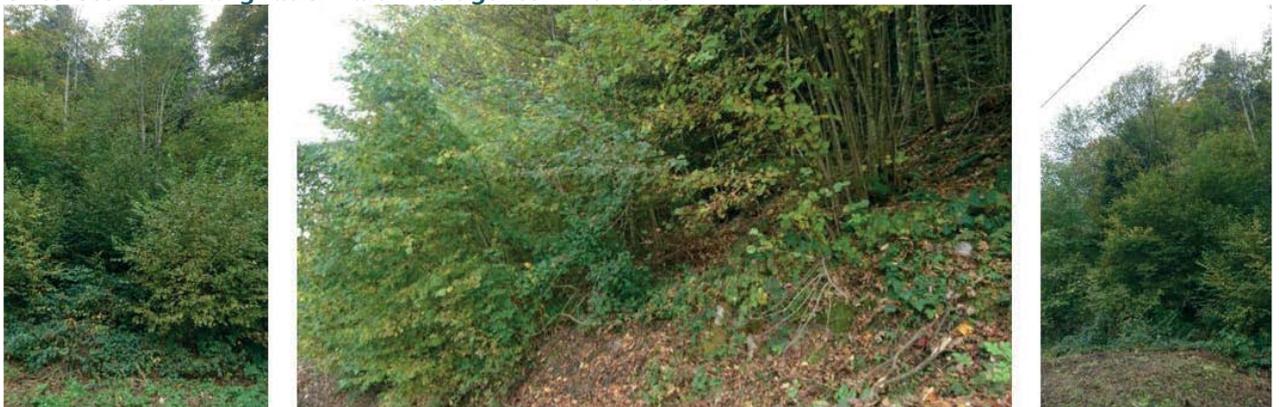
Offene Rutschungsfläche / Mulde



An Offenfläche angrenzende Kuppen mit Vegetationskonkurrenz / Hasel



Unterer Teil Langnauerwald: Waldgürtel mit Hasel



### Waldsoziologie

#### Simsen-Buchenwälder

- 1 Hainsimsen-Buchenwald
- 2 Hainsimsen-Buchenwald mit Weissmoos

#### Anspruchsvolle Buchenwälder

- 6 Waldmeister-Buchenwald mit Heimsimse
- 7 Waldmeister-Buchenwald
- 8 Waldhirschen-Buchenwald
- 9 Lungenkraut-Buchenwald
- 10 Lungenkraut-Buchenwald mit Immenblatt
- 11 Aronstab-Buchenwald
- 12 Zahnwurz-Buchenwald
- 13 Linden-Zahnwurz-Buchenw.

#### Orchideen-Buchenwälder

- 14 Weissseggen-Buchenwald
- 15 Berseggen-Buchenwald
- 16 Blaugras-Buchenwald
- 17 Eiben-Steilhang-Buchenwald

#### Tannen-Buchenwälder

- 18 Tannen-Buchenwald
- 19 Tannen-Buchenw. m. Hainsimse
- 20 Farnreicher Tannen-Buchenwald
- 21 Subalp. Ahorn-Buchenwald

#### Linden-Bergahornwälder

- 22 Hirschzungen-Ahornwald
- 23 Mehlsbeeren-Ahornwald
- 24\* Ulmen-Ahornwald
- 25 Turinermeister-Lindenwald

#### Erlen- und Eschenwälder

- 26 Ahorn-Eschenwald
- 27 Bach-Eschenwald
- 28 Ulmen-Eschen-Auenwald
- 29 Zweiblatt-Eschenmischwald
- 29L Zweiblatt-Eschenmischwald, Ausbildung auf Lehm Böden
- 30 Traubenkirschen-Eschenwald
- 32 Grauerlen-Auenwald

#### Erlen- und Birkenbruchwälder

- 44 Seggen-Schwarzerlen-Bruchwald
- 45 Föhren-Birken-Bruchwald

#### Fichten-Tannenwälder

- 46 Heidelbeer-Fichten-Tannenwald
- 48 Farn-Tannenmischwald
- 49 Schachtelhalm-Tannenmischwald
- 50 Alpendost-Fichten-Tannenwald

#### Fichtenwälder

- 53 Zwergbuchs-Fichtenwald
- 56 Typischer Torfmoos-Fichtenwald, Ausbildung mit Tanne
- 57 Subalpiner Fichtenwald
- 60 Alpendostflut mit Fichte
- 60\* Reitgras-Fichtenwald

#### Föhrenwälder

- 61 Pfeifengras-Waldföhrenwald
- 62 Orchideen-Waldföhrenwald
- 65 Schneeheide-Waldföhrenwald
- 67 Schneeheide-Bergföhrenwald
- 69 Steinrosen-Bergföhrenwald
- 70 Bergföhrenwald mit Rostroter Alpenrose

#### Moorwälder

- 71 Torfmoos-Bergföhrenwald

#### Grünerlenbestände

- AE Alpenerlengebüsch

Gesellschaften und Nummern nach Ellenberg / Klötzli 1972, vereinfacht.

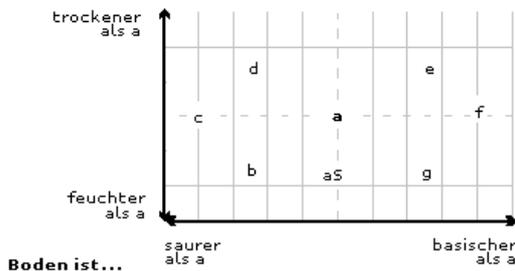
### Verdichtungsrisiko

- geringes Verdichtungsrisiko
- mittleres Verdichtungsrisiko
- hohes Verdichtungsrisiko
- sehr hohes Verdichtungsrisiko
- nicht befahrbar
- keine Angabe

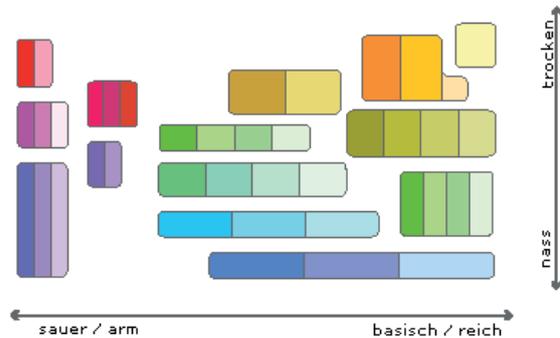
### Vereinfachte Legende zur Karte der natürlichen Waldgesellschaften (Seite 2)

#### Hinweise

- 8a Gesellschaftsnummer
- 8a/26f Mosaik von 2 oder mehr Gesellschaften
- 8a(26f) Übergangsgesellschaft 8a mit Tendenz zu 26f
- f Index zeigt Abweichung vom Typus der Gesellschaft ("Zentrum" der Gesellschaft.) Untereinheiten werden mit Buchstaben bezeichnet, die hinter der Zahl stehen. Sie geben den ökologischen Unterschied zur typischen Untereinheit a gemäss Schema an:



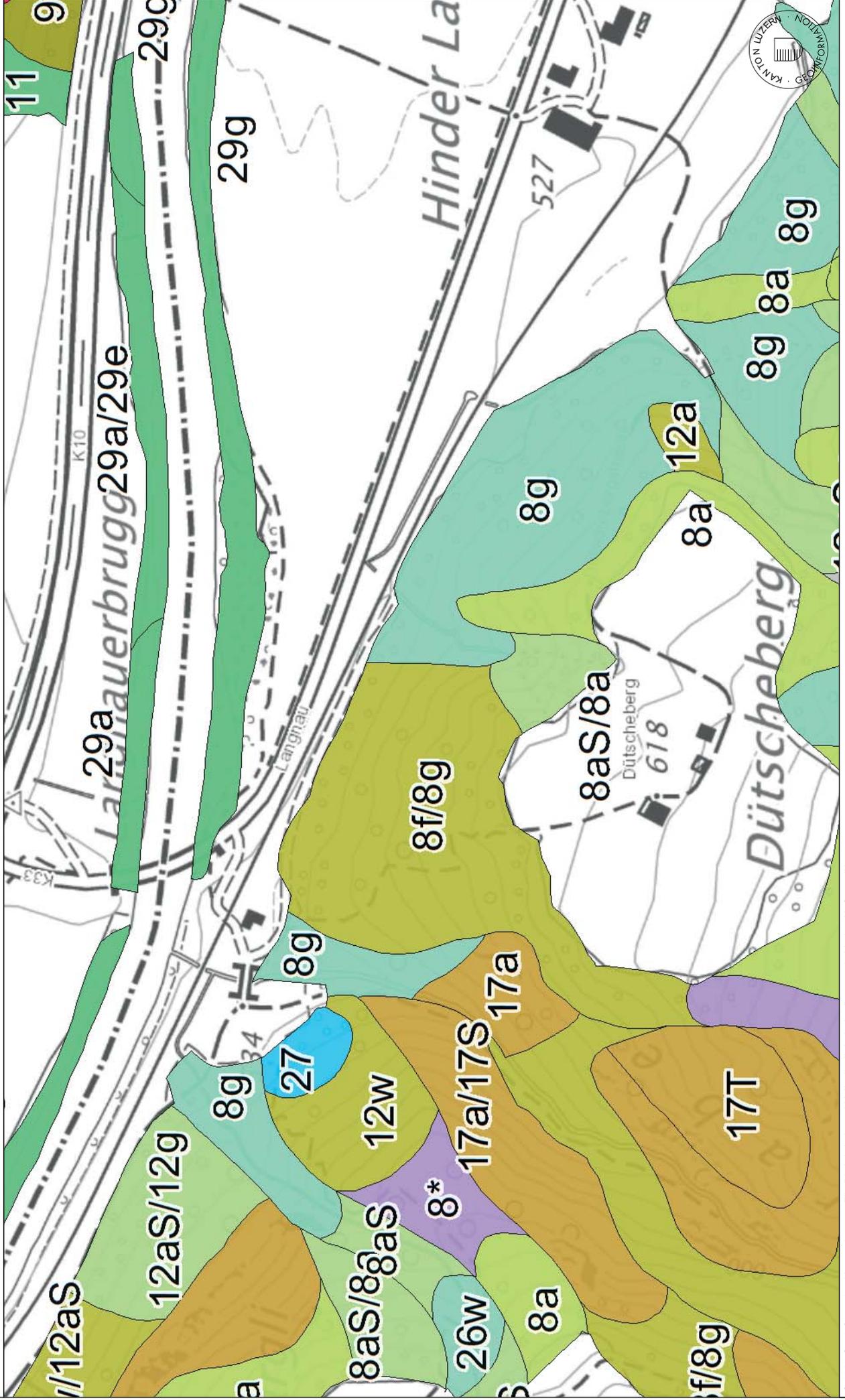
#### Zusammenhang Farben - Ökogramm



Das Ökogramm zeigt das "ökologische Zentrum" jeder Gesellschaft, nicht aber die "ökologische Spannweite".

#### Höhenstufen:

- Farbe intensiv - Hügelstufe (kollin)
- Farbe mittel - Untere Bergstufe (untermontan)
- Farbe schwach - Obere Bergstufe (obermontan)
- Farbe bleich - Untere / Mittlere Gebirgsstufe (subalpin)



## Bestandescodierung

### Entwicklungsstand

0,9		nicht interpretierbar, k.A.	z.B. Schatten, Kleinstflächen
1		Jungwuchs / Dichtung	ddom < 12cm
2		Stangenholz	ddom = 12 - 30cm
3		schwach. - mittleres Baumholz	ddom = 31 - 50cm
4		starkes Baumholz bis Altholz	ddom ≥ 50cm
5		gemischt struk. / Plenterwald	min. 3 Entwicklungsstufen
B		Blössen	
E		Einwuchsfläche	
M		Moorwald	
N		Nichtwald	
K		Kampfböschungswald	
W		Weidwald	
U		unproduktiv	

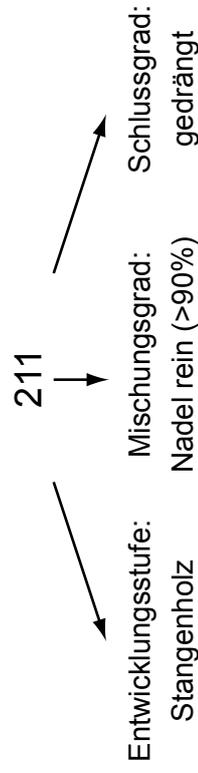
### Mischungsgrad

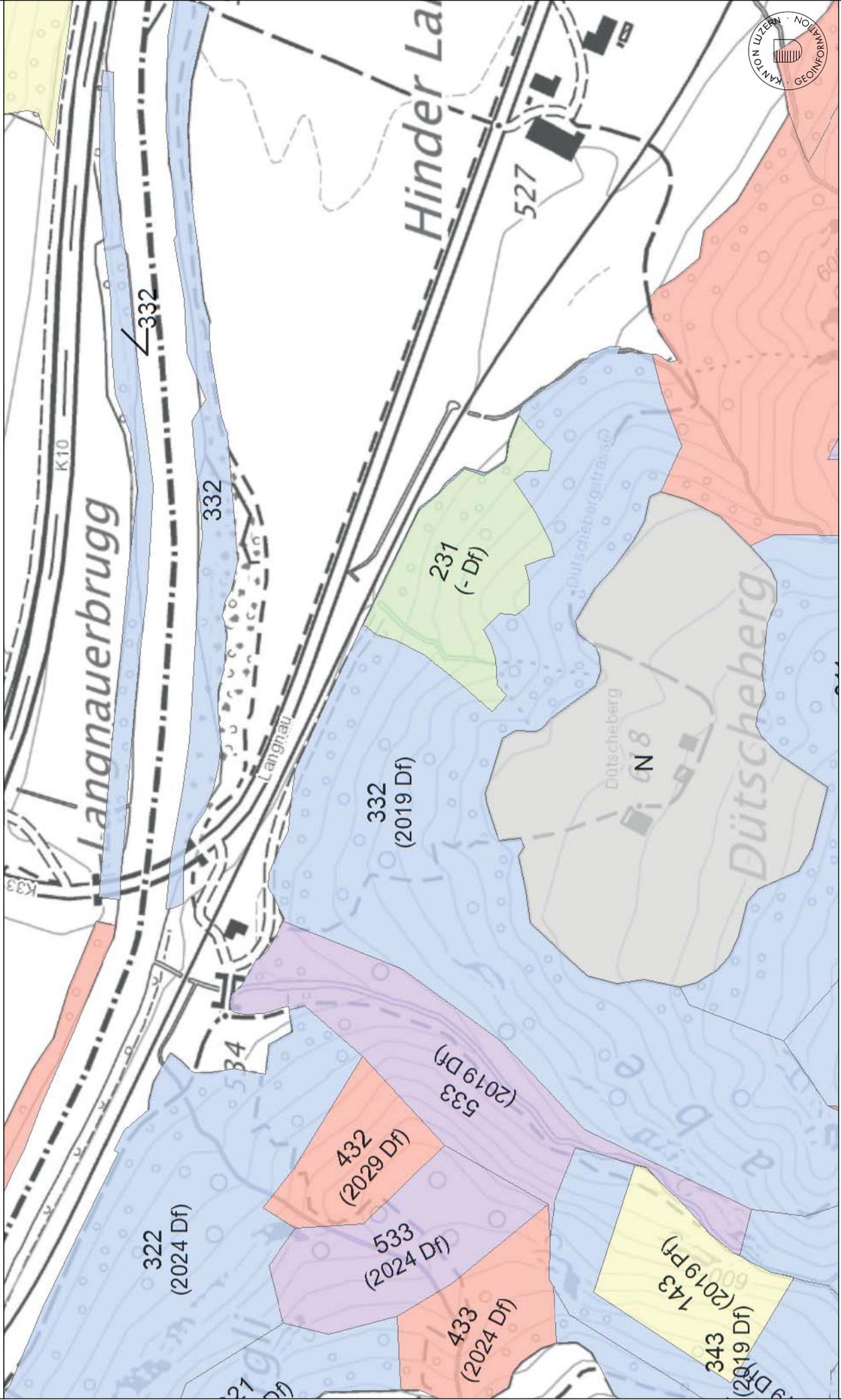
0	keine Angabe	
1	Nadel rein	>90% Nadelbäume
2	Nadel gemischt	51 - 90% Nadelbäume
3	Laub gemischt	51 - 90% Laubbäume
4	Laub rein	>90% Laubbäume
9	nicht interpretierbar	

### Schlussgrad

0	keine Angabe
1	gedrängt
2	normal bis locker
3	räumig bis aufgelöst
4	Stufenschluss
9	nicht interpretierbar

### Beispiel Bestandescodierung





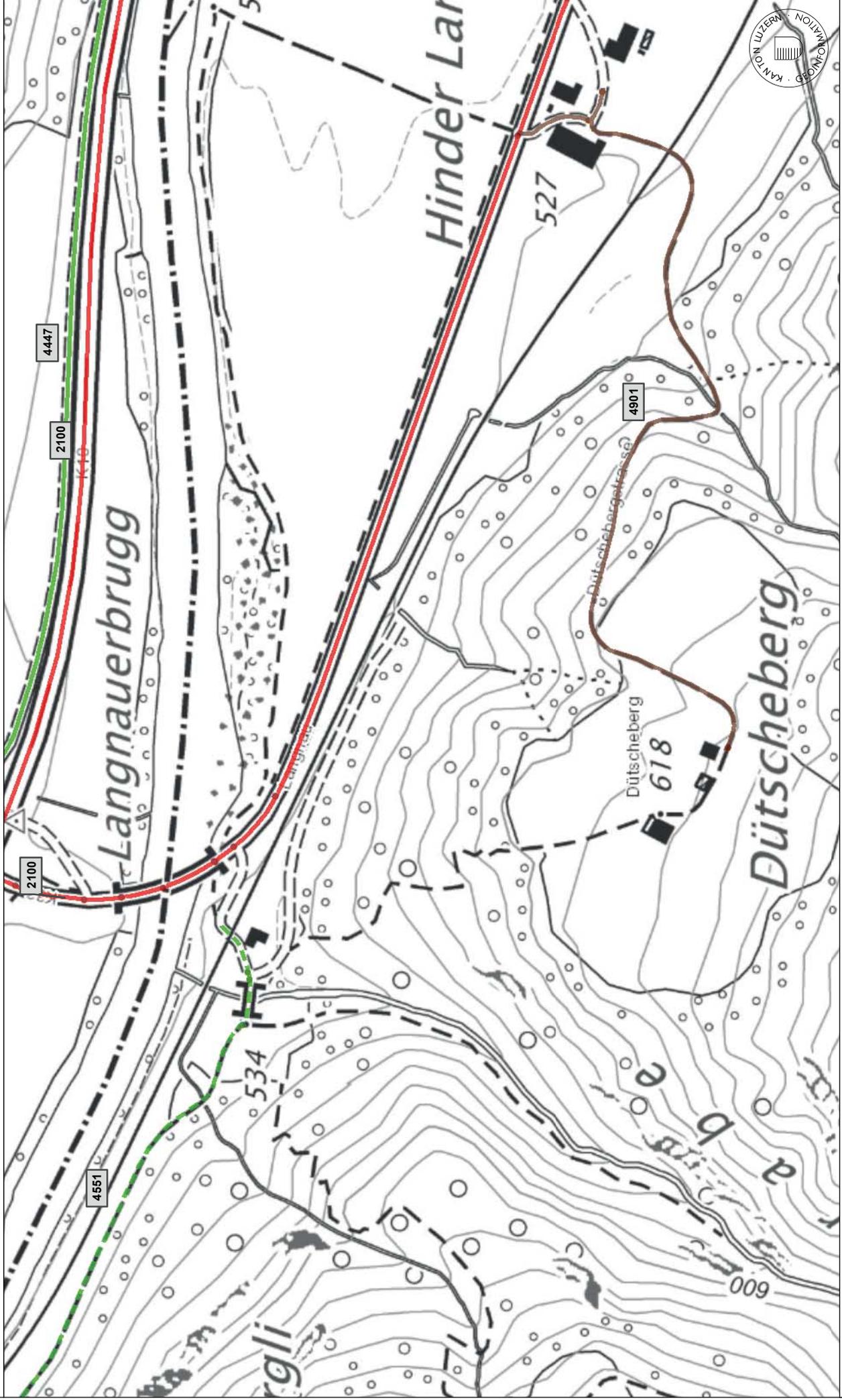
### Güterstrassen

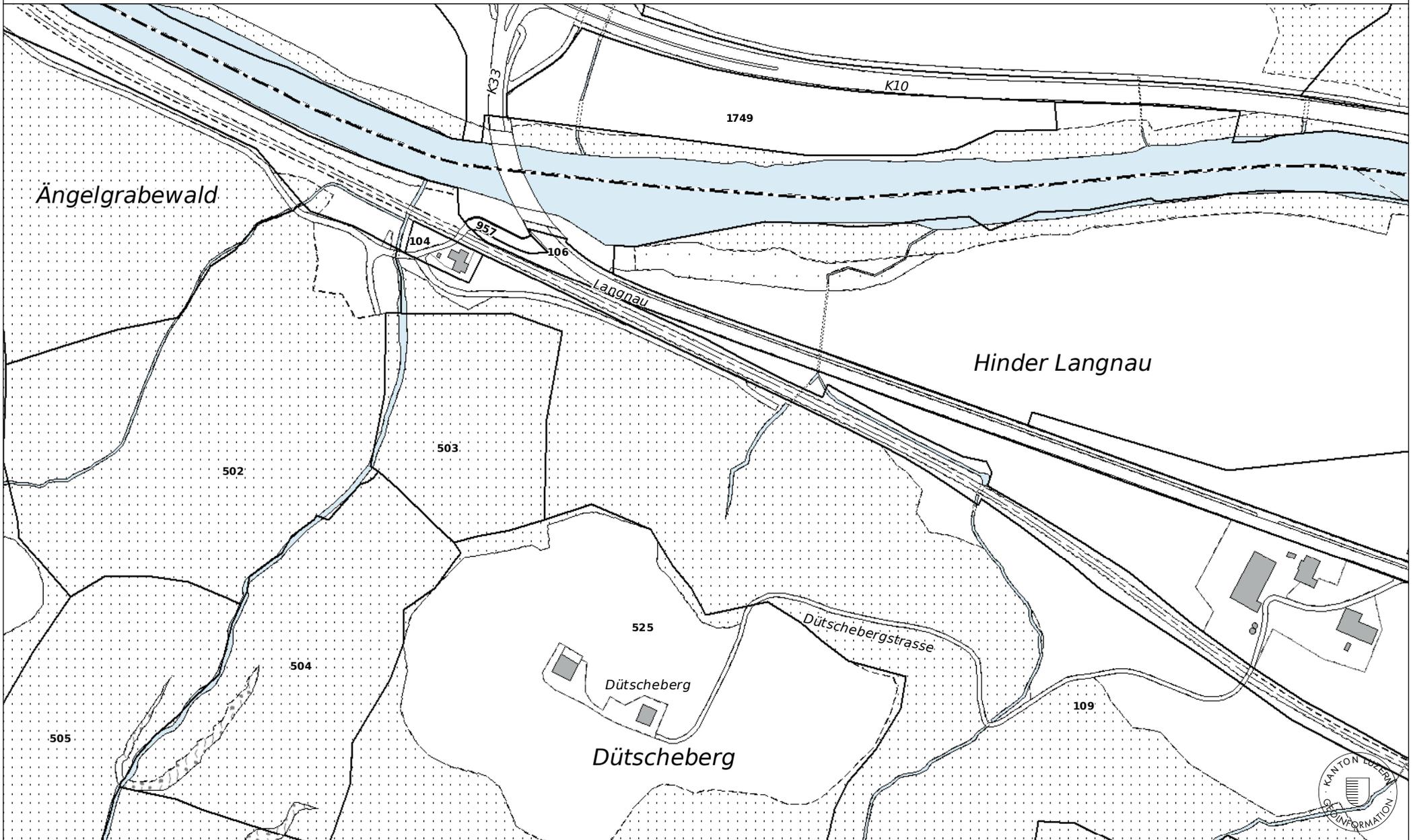
- Gemeindestrasse 1. Kl.
- Gemeindestrasse 2. Kl.
- Gemeindestrasse 3. Kl.
- Güterstrasse 1. Kl.
- Güterstrasse 2. Kl.
- Güterstrasse 3. Kl.
- Güterstrasse im Wald 1. Kl.
- Güterstrasse im Wald 2. Kl.
- Güterstrasse im Wald 3. Kl.
- Kantonsstrasse
- Privatstrasse

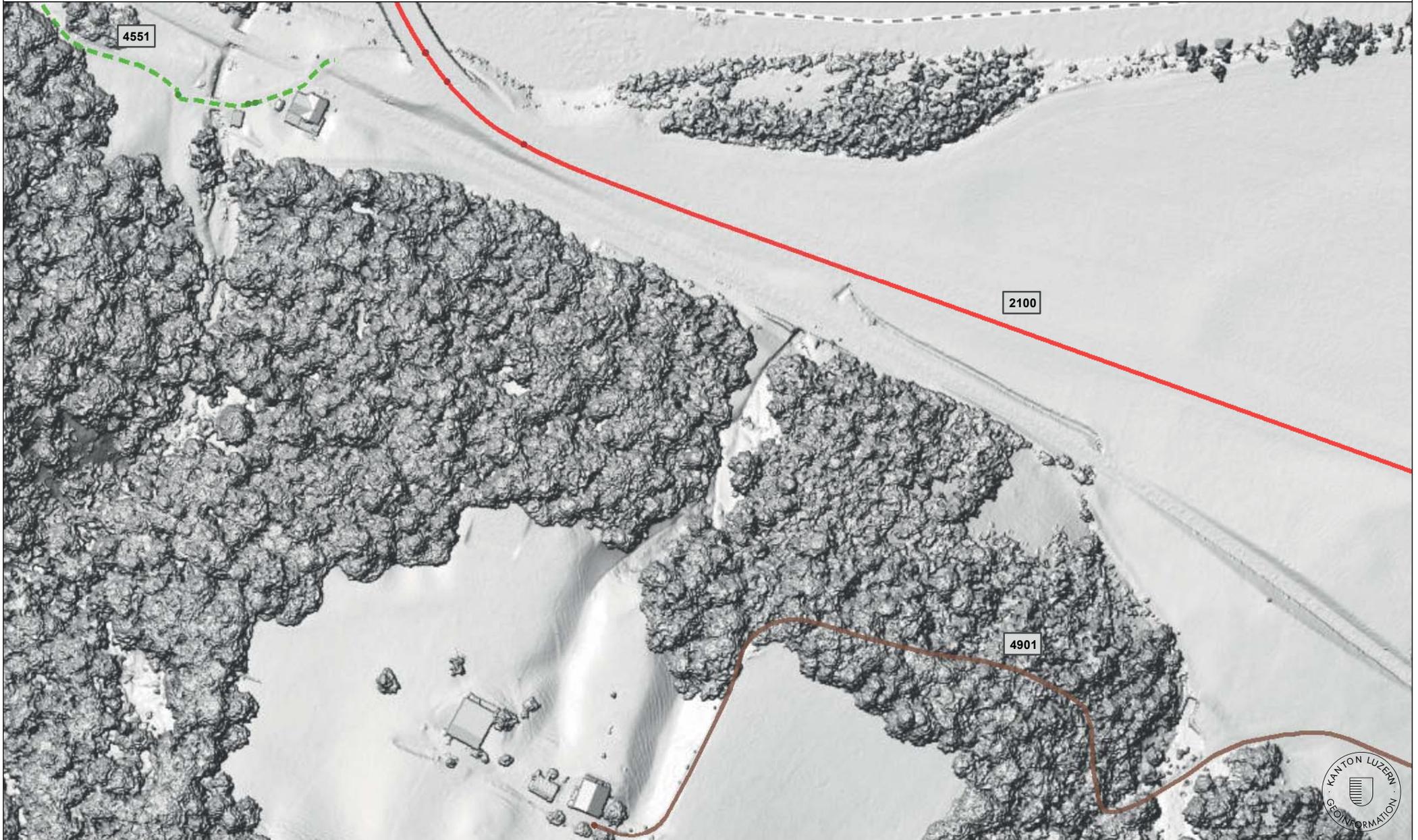
### Bearbeitungsstand

- Güterstrassenverzeichnis
- Strassennetz vorhanden
- Strassennetz und Verzeichnis in Arbeit
- Verzeichnis durch Regierungsrat genehmigt
- Siedlungsgebiet (qualitativ)
- Waldvorkommen (qualitativ)

*Strassen im Siedlungsgebiet  
haben nur orientierenden  
Charakter.*









## Anhang C

# Grundlagen für die Planung waldbaulicher Massnahmen: Schächliwald

- Karte waldbauliche Planung
- NaiS Formular 2
- Fotodokumentation
- Karte Waldsoziologie
- Karte Waldbestand
- Karte Güter- und Waldstrassen
- Karte Grundbuchplan
- Karte Höhenmodell
- Karte Luftbild

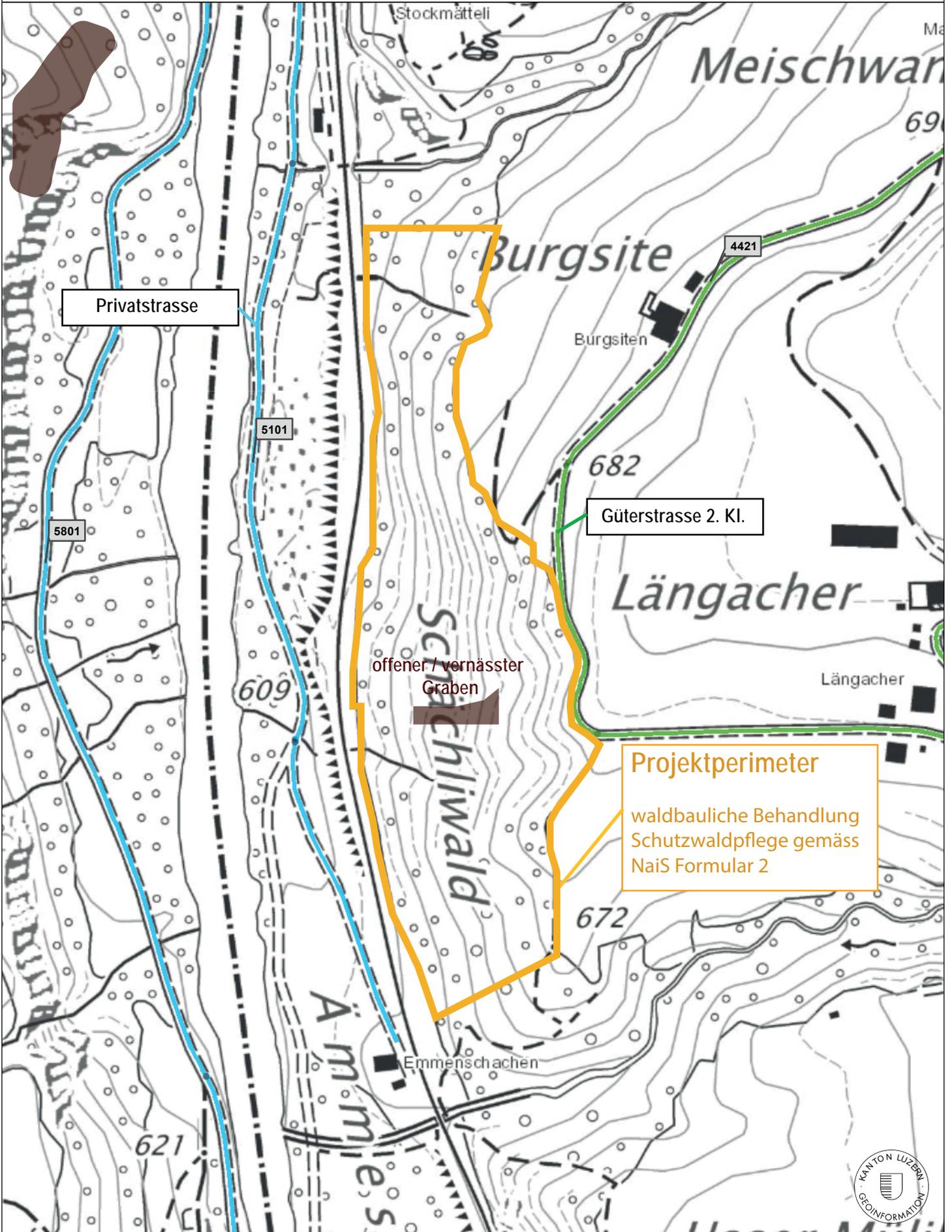
# Karte waldbauliche Planung (Schächliwald)

Ausdruck [www.geoportal.lu.ch](http://www.geoportal.lu.ch) / bearbeitet bzw. manuell ergänzt durch BFH-HAFL

08.3.2019



1:3000



**Projektperimeter**  
waldbauliche Behandlung  
Schutzwaldpflege gemäss  
NaiS Formular 2



# NaiS - Formular 2

# Herleitung Handlungsbedarf

Ort: Schächliwald

Datum: Oktober 2018

Bearbeiter/-in: BFH-HAFL

1. Standorttyp(en) 7a Typischer Waldmeister-Buchenwald (tlw. ergänzt mit feuchteren Standorten)

2. Naturgefahr Rutschungen, Erosion, Murgänge: Entstehungsgebiet: flachgründig

Wirksamkeit gross

### 3. Zustand, Entwicklungstendenz und Massnahmen

Bestandes- und Einzelbaum-merkmale	Minimalprofil: Standortstyp <i>Naturgefahr</i>	Idealprofil: Standortstyp <i>Naturgefahr</i>	Zustand heute	Entwicklung ohne Massn.			wirksame Massnahmen	verhältnis- mässig	6. Etappenziel mit Kontrollwerten:  Wird in .... Jahren überprüft
				in 50 Jahren	in 10 Jahren	heute			
<b>Mischung</b> - Art und Grad	Lbb 70 - 100 % Bu 30 - 100 % Fi 0 - 10 % 7S/10w: Bah Samenbäume + Fi/Ta 0-10% 26: Es, Ah, Sei, Bul, Ki 90-100%	Lbb 100 % Bu 50 - 90 % 9w: BAh 10 - 20% 7S/10w: Bah, Es 20-50% 26: Es, Ah, Sei, Bul, Ki 100%	Lbb: ca. 75% Bu: ca. 70% 5% übriges LbH (z.B. Bah) 25% NdH (Ta, Fi)					<input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein	
<b>Gefüge, vertikal</b> - BHD Streuung	Genügend entwicklungsfähige Bäume in mind. 2 verschiedenen Ø-Klassen pro ha <i>(10w: mind. 3 Klassen)</i>	Genügend entwicklungsfähige Bäume in mind. 3 verschiedenen Ø-Klassen pro ha <i>(10w: mind. 4 Klassen)</i>	(noch) genügend entwicklungsfähige Bäume in mind. 3 Durchmesserklassen pro ha				Förderung der älteren Verjüngung (v.a. Bu, Ta); neue Öffnungen für standortgerechte Verjüngung	<input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein	
<b>Gefüge, horizontal</b> - Deckungsgrad - Stammzahl - Lückenbreite	<i>Lü-Grösse max. 6a bei gesicherter Verj. max. 12a / DG dauernd ≥ 40 % / Bei Übergängen im Standortstyp ist die BA-Zusammensetzung des feuchteren Typs anzustreben</i>	<i>Schlussgrad normal - locker (10w: locker-lückig) Lü-Grösse max. 4a, bei gesicherter Verj. max. 8a / DG dauernd ≥ 60 % / Bei Übergängen im Standortstyp ist die BA-Zusammensetzung des feuchteren Typs anzustreben</i>	Schlussgrad normal DG ca. 80% kaum Lücken; maximal 6 a				offene "waldfeindliche" Runse/Mulde: nicht erweitern bei einem Eingriff; vorhandene Verjüngung dort fördern und ggf. gezielt freipflegen	<input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein	
<b>Stabilitäts-träger</b> - Kronenentw. - Schlankheitsg. - Ziel-Ø	Mind. die Hälfte der Kronen gleichmässig geformt Lotrechte Stämme mit guter Verankerung, nur vereinzelt starke Hänger	Nur wenige Kronen stark einseitig; lotrechte Stämme mit guter Verankerung, keine starken Hänger <i>Keine schweren und wurfgefährdeten Bäume</i>	Wenig stark einseitige Kronen; viele relativ gleichmässig geformt. Kaum starke Hänger. h/d-Werte teilweise ungenügend; Kollektivstabilität wichtig				Kollektivstabilität erhalten; Eingriff deshalb eher in Gruppen	<input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein	
<b>Verjüngung - Keimbett</b>	Fläche mit starker Vegetationskonkurrenz < 1/3	Fläche mit starker Vegetationskonkurrenz < 1/10	Fläche mit starker Vegetationskonkurrenz ca. 1/10; tlw. wenig Brombeere; in vernässten Mulden lokal keine Verjüngungsgunst					<input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein	
<b>Verjüngung - Anwuchs</b> (10 bis 40 cm Höhe)	Bei Deckungsgrad < 0.8 mind. 10 Bu pro a (im Ø alle 3 m) vorhanden <i>10w/26: In Lücken vorhanden</i>	Bei Deckungsgrad < 0.8 mind. 50 Bu pro a (im Ø alle 1.5 m) vorhanden <i>10w: mind. 30Bu/a. 26: in Lücken vorhanden</i>	DG oft höher; wo mehr Licht: Verjüngung vorhanden				neue Öffnungen für standortgerechte Verjüngung	<input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein	
<b>Verjüngung - Aufwuchs</b> (bis und mit Dichtung, 40 cm Höhe bis 12 cm BHD)	Pro ha mind. 1 Trupp (2 - 5 a, im Ø alle 100 m) oder Deckungsgrad mind. 3 %; Mischung zielgerecht <i>10w: 2 Trupps bzw. 4%</i>	Pro ha mind. 2 Trupps (je 2 - 5 a, im Ø alle 75 m) oder Deckungsgrad mind. 7 %; Mischung zielgerecht <i>10w: 3 Trupps bzw. 9%</i>	mehrere Trupps vorhanden Mischung tlw. zielgerecht, tlw. viel NdH (vgl. Mischung)				Ältere Verjüngung fördern	<input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein	

sehr schlecht    minimal    ideal

4. Handlungsbedarf  ja  nein

5. Dringlichkeit  klein  mittel  gross

Nächster Eingriff: 5 - 10 Jahre

## Fotodokumentation: Schächliwald

Bestandesbilder allgemein (Grossteil Fläche; waldbauliche Behandlung gemäss NaiS Formular 2)



Offener / vernässter Graben



### Waldsoziologie

#### Simsen-Buchenwälder

- 1 Hainsimsen-Buchenwald
- 2 Hainsimsen-Buchenwald mit Weissmoos

#### Anspruchsvolle Buchenwälder

- 6 Waldmeister-Buchenwald mit Heimsimse
- 7 Waldmeister-Buchenwald
- 8 Waldhirschen-Buchenwald
- 9 Lungenkraut-Buchenwald
- 10 Lungenkraut-Buchenwald mit Immenblatt
- 11 Aronstab-Buchenwald
- 12 Zahnwurz-Buchenwald
- 13 Linden-Zahnwurz-Buchenw.

#### Orchideen-Buchenwälder

- 14 Weissseggen-Buchenwald
- 15 Berseggen-Buchenwald
- 16 Blaugras-Buchenwald
- 17 Eiben-Steilhang-Buchenwald

#### Tannen-Buchenwälder

- 18 Tannen-Buchenwald
- 19 Tannen-Buchenw. m. Hainsimse
- 20 Farnreicher Tannen-Buchenwald
- 21 Subalp. Ahorn-Buchenwald

#### Linden-Bergahornwälder

- 22 Hirschzungen-Ahornwald
- 23 Mehlsbeeren-Ahornwald
- 24\* Ulmen-Ahornwald
- 25 Turinermeister-Lindenwald

#### Erlen- und Eschenwälder

- 26 Ahorn-Eschenwald
- 27 Bach-Eschenwald
- 28 Ulmen-Eschen-Auenwald
- 29 Zweiblatt-Eschenmischwald
- 29L Zweiblatt-Eschenmischwald, Ausbildung auf Lehm Böden
- 30 Traubenkirschen-Eschenwald
- 32 Grauerlen-Auenwald

#### Erlen- und Birkenbruchwälder

- 44 Seggen-Schwarzerlen-Bruchwald
- 45 Föhren-Birken-Bruchwald

#### Fichten-Tannenwälder

- 46 Heidelbeer-Fichten-Tannenwald
- 48 Farn-Tannenmischwald
- 49 Schachtelhalm-Tannenmischwald
- 50 Alpendost-Fichten-Tannenwald

#### Fichtenwälder

- 53 Zwergbuchs-Fichtenwald
- 56 Typischer Torfmoos-Fichtenwald, Ausbildung mit Tanne
- 57 Subalpiner Fichtenwald
- 60 Alpendostflut mit Fichte
- 60\* Reitgras-Fichtenwald

#### Föhrenwälder

- 61 Pfeifengras-Waldföhrenwald
- 62 Orchideen-Waldföhrenwald
- 65 Schneeheide-Waldföhrenwald
- 67 Schneeheide-Bergföhrenwald
- 69 Steinrosen-Bergföhrenwald
- 70 Bergföhrenwald mit Rostroter Alpenrose

#### Moorwälder

- 71 Torfmoos-Bergföhrenwald

#### Grünerlenbestände

- AE Alpenerlengebüsch

Gesellschaften und Nummern nach Ellenberg / Klötzli 1972, vereinfacht.

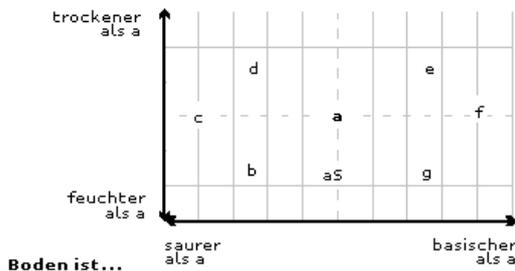
### Verdichtungsrisiko

- geringes Verdichtungsrisiko
- mittleres Verdichtungsrisiko
- hohes Verdichtungsrisiko
- sehr hohes Verdichtungsrisiko
- nicht befahrbar
- keine Angabe

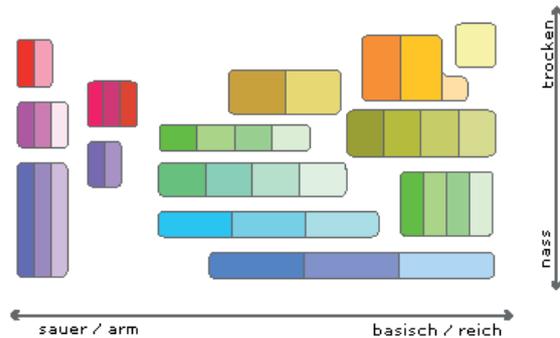
### Vereinfachte Legende zur Karte der natürlichen Waldgesellschaften (Seite 2)

#### Hinweise

- 8a Gesellschaftsnummer
- 8a/26f Mosaik von 2 oder mehr Gesellschaften
- 8a(26f) Übergangsgesellschaft 8a mit Tendenz zu 26f
- f Index zeigt Abweichung vom Typus der Gesellschaft ("Zentrum" der Gesellschaft.) Untereinheiten werden mit Buchstaben bezeichnet, die hinter der Zahl stehen. Sie geben den ökologischen Unterschied zur typischen Untereinheit a gemäss Schema an:



#### Zusammenhang Farben - Ökogramm



Das Ökogramm zeigt das "ökologische Zentrum" jeder Gesellschaft, nicht aber die "ökologische Spannweite".

#### Höhenstufen:

- Farbe intensiv - Hügelstufe (kollin)
- Farbe mittel - Untere Bergstufe (untermontan)
- Farbe schwach - Obere Bergstufe (obermontan)
- Farbe bleich - Untere / Mittlere Gebirgsstufe (subalpin)



## Bestandescodierung

### Entwicklungsstand

- |     |  |                               |                               |
|-----|--|-------------------------------|-------------------------------|
| 0,9 |  | nicht interpretierbar, k.A.   | z.B. Schatten, Kleinstflächen |
| 1   |  | Jungwuchs / Dichtung          | ddom < 12cm                   |
| 2   |  | Stangenholz                   | ddom = 12 - 30cm              |
| 3   |  | schwach. - mittleres Baumholz | ddom = 31 - 50cm              |
| 4   |  | starkes Baumholz bis Altholz  | ddom ≥ 50cm                   |
| 5   |  | gemischt struk. / Plenterwald | min. 3 Entwicklungsstufen     |
| B   |  | Blößen                        |                               |
| E   |  | Einwuchsfläche                |                               |
| M   |  | Moorwald                      |                               |
| N   |  | Nichtwald                     |                               |
| K   |  | Kampfböschungswald            |                               |
| W   |  | Weidwald                      |                               |
| U   |  | unproduktiv                   |                               |

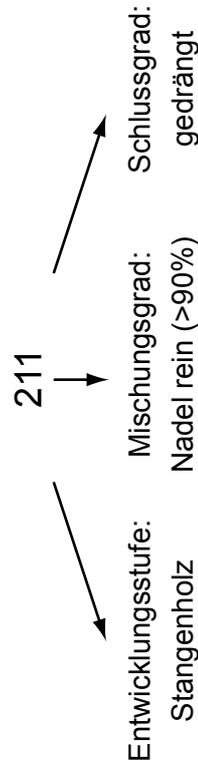
### Mischungsgrad

- |   |                       |                     |
|---|-----------------------|---------------------|
| 0 | keine Angabe          |                     |
| 1 | Nadel rein            | >90% Nadelbäume     |
| 2 | Nadel gemischt        | 51 - 90% Nadelbäume |
| 3 | Laub gemischt         | 51 - 90% Laubbäume  |
| 4 | Laub rein             | >90% Laubbäume      |
| 9 | nicht interpretierbar |                     |

### Schlussgrad

- |   |                       |
|---|-----------------------|
| 0 | keine Angabe          |
| 1 | gedrängt              |
| 2 | normal bis locker     |
| 3 | räumig bis aufgelöst  |
| 4 | Stufenschluss         |
| 9 | nicht interpretierbar |

### Beispiel Bestandescodierung





### Güterstrassen

-  Gemeindestrasse 1. Kl.
-  Gemeindestrasse 2. Kl.
-  Gemeindestrasse 3. Kl.
-  Güterstrasse 1. Kl.
-  Güterstrasse 2. Kl.
-  Güterstrasse 3. Kl.
-  Güterstrasse im Wald 1. Kl.
-  Güterstrasse im Wald 2. Kl.
-  Güterstrasse im Wald 3. Kl.
-  Kantonsstrasse
-  Privatstrasse

### Bearbeitungsstand

-  Güterstrassenverzeichnis vorhanden
-  Strassennetz vorhanden
-  Strassennetz und Verzeichnis in Arbeit
-  Verzeichnis durch Regierungsrat genehmigt
-  Siedlungsgebiet (qualitativ)
-  Waldvorkommen (qualitativ)

*Strassen im Siedlungsgebiet  
haben nur orientierenden  
Charakter.*

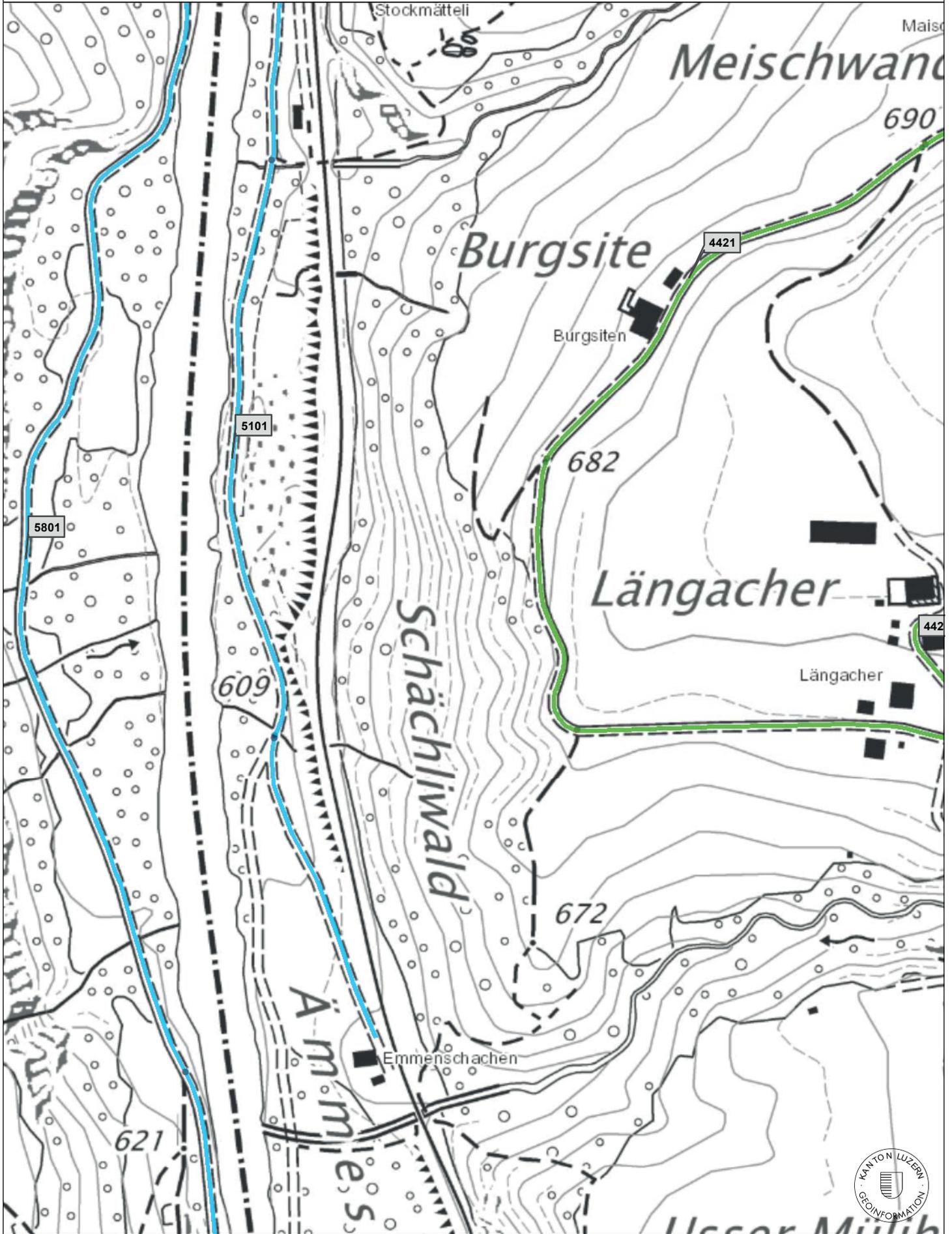
# Güter- und Waldstrassen

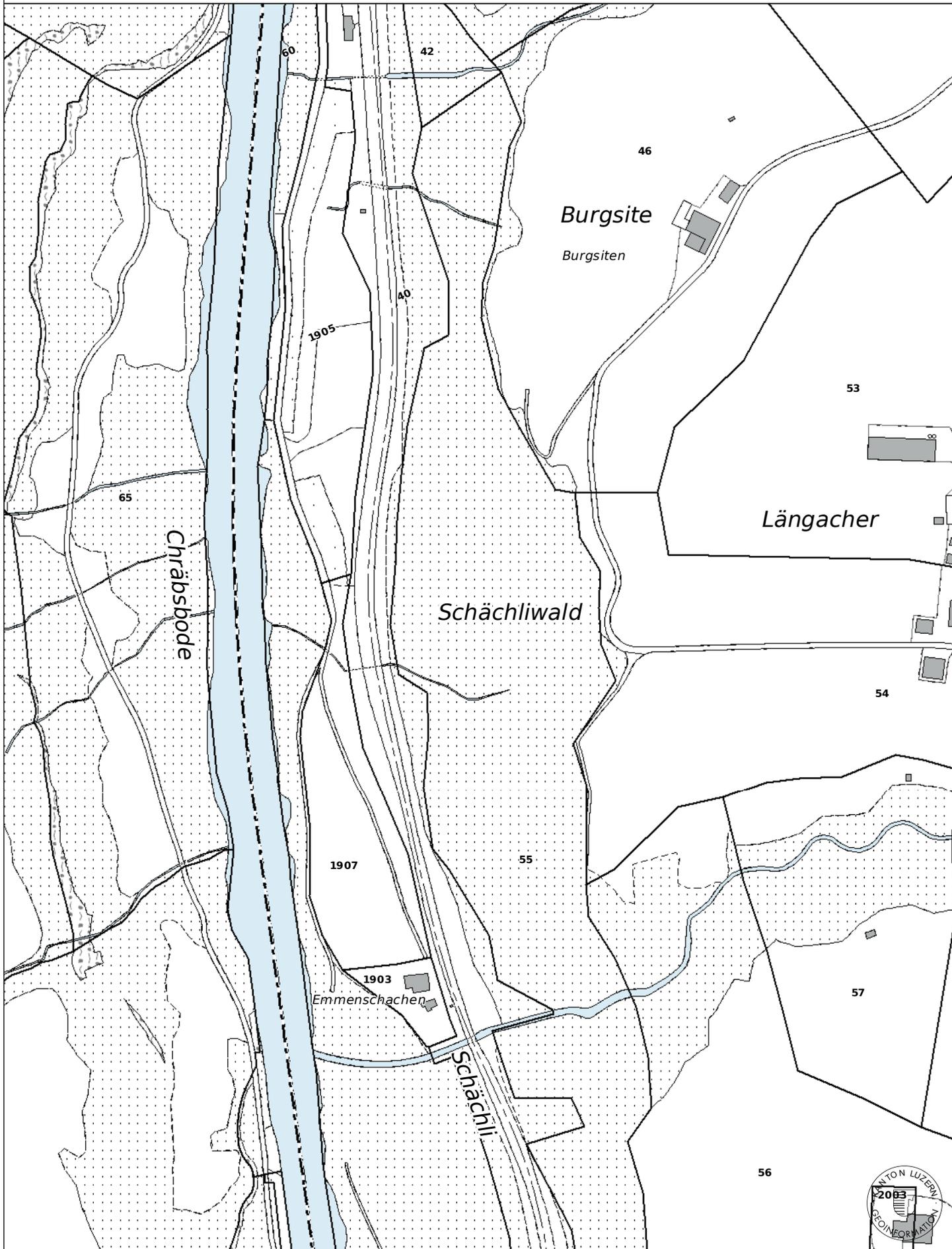
Ausdruck [www.geoportal.lu.ch](http://www.geoportal.lu.ch)

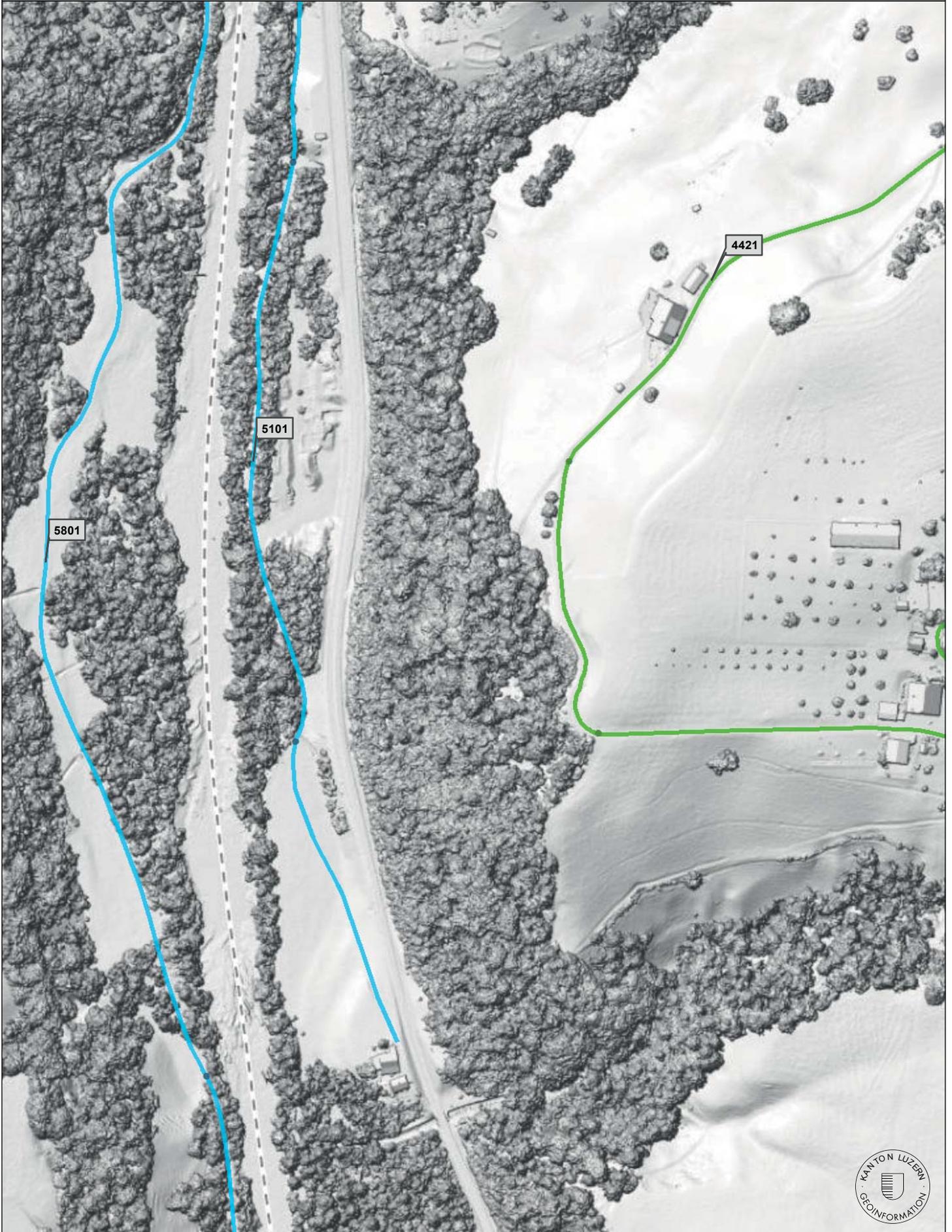
14.3.2019

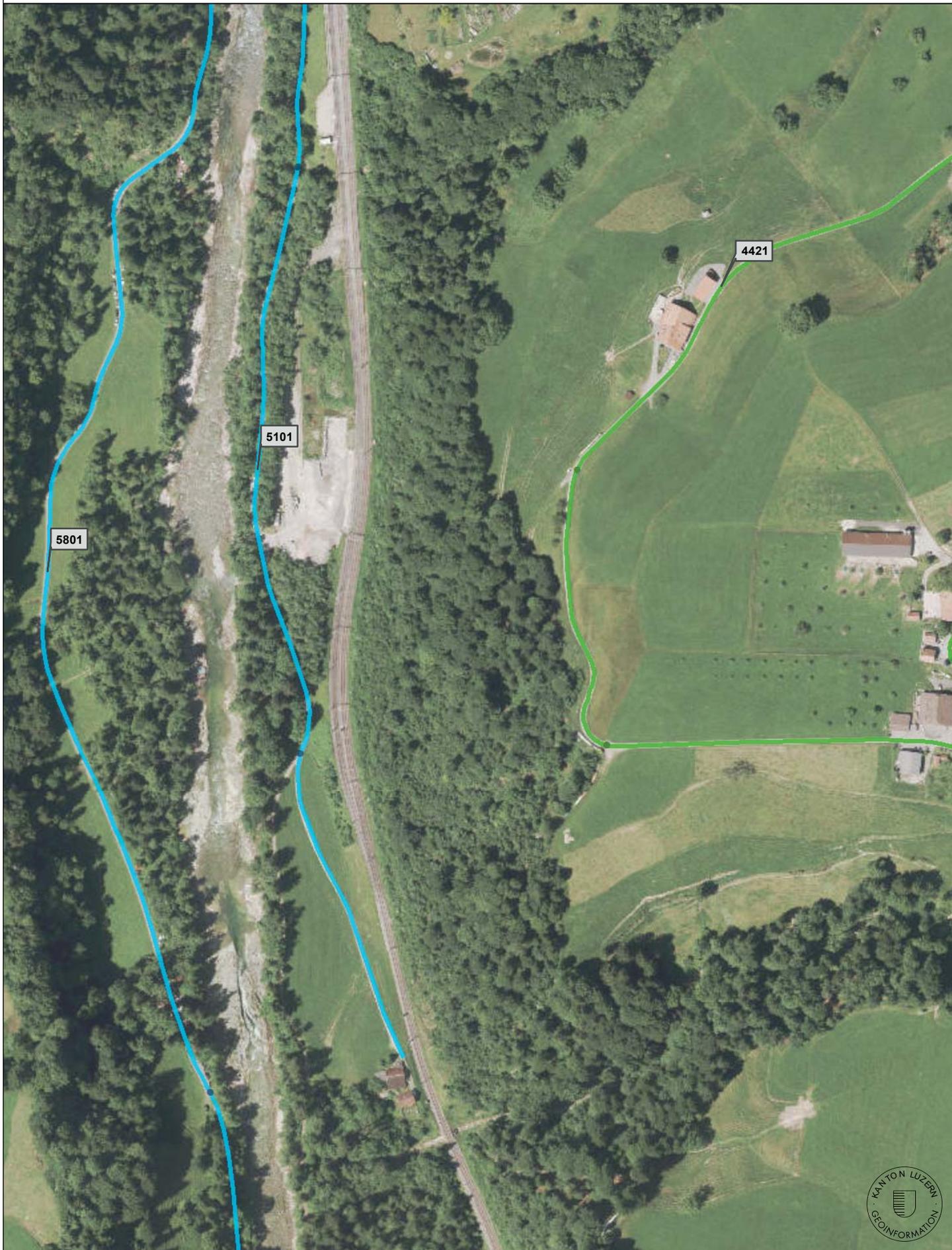


1:3000









## Anhang D

# Resultate EconoMe

### Übersicht Anhang Resultate EconoME

Der vorliegende Anhang enthält alle in EconoMe 4.0 generierten Outputdateien (PDFs) der durchgeführten Risikoanalyse je Fallstudiengebiet.

# Resultate EconoMe: Gambarogno

## Übersicht

- Zusammenfassung
- Gefahrenanalyse
- Massnahmendefinition
- Schadenpotenzial
- Schadenpotenzial im Perimeter
- Konsequenzenanalyse (Zusammenfassung)
- Konsequenzenanalyse (vor Massnahme)
- Konsequenzenanalyse (nach Massnahme)
- Risiken, Kosten und Nutzen/Kosten-Faktor
- Individuelles Todesfallrisiko



29.04.19, 13:55:47

## A Gambarogno: Wirkung Schutzwald an Reduktion Risiko auf Bahnanlagen und -betrieb SBB

<b>Laufzeit</b>	10.10.2018 -
<b>Organisation</b>	BFH-HAFL
<b>Gemeinde:</b>	Gambarogno
<b>Gebiet:</b>	Gambarogno - Torcetto

### Beteiligte Personen

#### Hofstetter, Florian - Administrator Kanton

SBB Natur und Naturrisiken  
+41 79 829 37 60  
florian.hofstetter@sbb.ch

#### Kühne, Kathrin - Projektleiter

BFH-HAFL  
0319102247  
kathrin.kuehne@bfh.ch

#### Anprechpartner Kanton Bahngesellschaften

Kantonsverantwortlicher

#### Anprechpartner Gemeinde

Gemeindeverantwortlicher

### Projektfortschritt

29.04.19, 13:42	Projektgrundlagen	Kathrin Kühne
29.04.19, 13:42	Systembeschreibung	Kathrin Kühne
29.04.19, 13:42	Gefahrenanalyse	Kathrin Kühne
29.04.19, 13:42	Massnahmendefinition	Kathrin Kühne
29.04.19, 13:43	Schadenpotenzial	Kathrin Kühne
29.04.19, 13:47	Konsequenzenanalyse	Kathrin Kühne
29.04.19, 13:47	Kostenwirksamkeit	Kathrin Kühne

### Gefahrenprozesse

#### Hangmure / Rutschung spontan

##### Szenario frei, 10 Jahre

Datei [http://www.econome.admin.ch/doc/Bgs/28-1050-3664/maps/INT\\_Karten\\_Gambarogno.pdf](http://www.econome.admin.ch/doc/Bgs/28-1050-3664/maps/INT_Karten_Gambarogno.pdf)

Räumliche Auftretenswahrscheinlichkeit 1

lokal; Auslaufgebiet auf Gleis

##### Szenario 30, 30 Jahre

Datei [http://www.econome.admin.ch/doc/Bgs/28-1050-3664/maps/INT\\_Karten\\_Gambarogno.pdf](http://www.econome.admin.ch/doc/Bgs/28-1050-3664/maps/INT_Karten_Gambarogno.pdf)

Räumliche Auftretenswahrscheinlichkeit 1

lokal; Auslaufgebiet auf Gleis

##### Szenario 100, 100 Jahre

Datei [http://www.econome.admin.ch/doc/Bgs/28-1050-3664/maps/INT\\_Karten\\_Gambarogno.pdf](http://www.econome.admin.ch/doc/Bgs/28-1050-3664/maps/INT_Karten_Gambarogno.pdf)

Räumliche Auftretenswahrscheinlichkeit 1

lokal; Auslaufgebiet auf Gleis

**Szenario 300, 300 Jahre**Datei [http://www.econome.admin.ch/doc/Bgs/28-1050-3664/maps/INT\\_Karten\\_Gambarogno.pdf](http://www.econome.admin.ch/doc/Bgs/28-1050-3664/maps/INT_Karten_Gambarogno.pdf)

Räumliche Auftretenswahrscheinlichkeit 1

lokal; Auslaufgebiet auf Gleis

**Massnahmendefinition****Massnahme: Wald "Ist-Zustand"**

Schutzwaldbehandlung mit Waldzustand "Ist" (aktueller Zustand), vgl. Bericht

Investitionskosten	10 000 CHF
Jährliche Unterhaltskosten	7 000 CHF/a
Jährliche Betriebskosten	0 CHF/a
Lebensdauer Massnahme	150 Jahre
Jährliche Kosten	7 167 CHF/a

**Ergebnisübersicht****Übersicht Schadenpotenzial**

Schadenpotenzial Anzahl Personen	15.44
Schadenpotenzial Personen (monetarisiert)	77 200 000
Schadenpotenzial Sachwerte	5 573 300
Schadenpotenzial Gesamt	82 773 300

**Hangmure / Rutschung spontan**

Risiko vor Massnahmen	12 746 CHF/a
Risiko vor Massnahmen (Berechnung mit Basiswerten)	12 746 CHF/a
Nach Massnahme Wald "Ist-Zustand"	3 438 CHF/a
Nach Massnahme Wald "Ist-Zustand" (Berechnung mit Basiswerten)	3 438 CHF/a

**Risikoreduktion (Nutzen) CHF/a**

Wald "Ist-Zustand"	9 308 CHF/a
Wald "Ist-Zustand" (Berechnung mit Basiswerten)	9 308 CHF/a

**Massnahmekosten CHF/a**

Wald "Ist-Zustand"	7 167 CHF/a
--------------------	-------------

**Verteilung nach Nutznießern****Ohne Nutznießer - Zuweisung**

Wald "Ist-Zustand"	7 167 CHF/a (100%)
--------------------	--------------------

**Nutzen/Kosten - Verhältnis**

Wald "Ist-Zustand"	1.3
Wald "Ist-Zustand" (Berechnung mit Basiswerten)	1.3

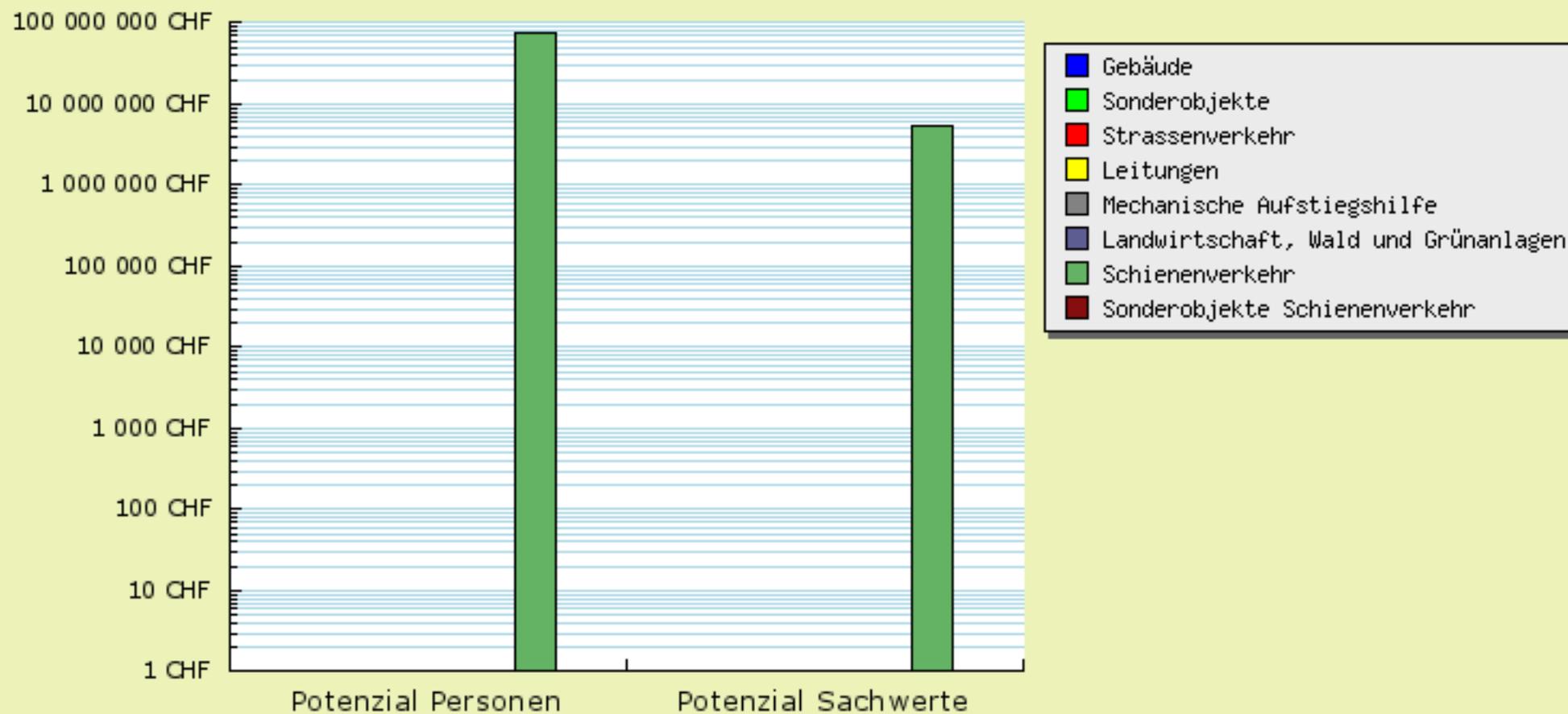
**Individuelles Risiko (Anzahl betroffener Objekte)**

Vor Massnahme	1	0	0
---------------	---	---	---

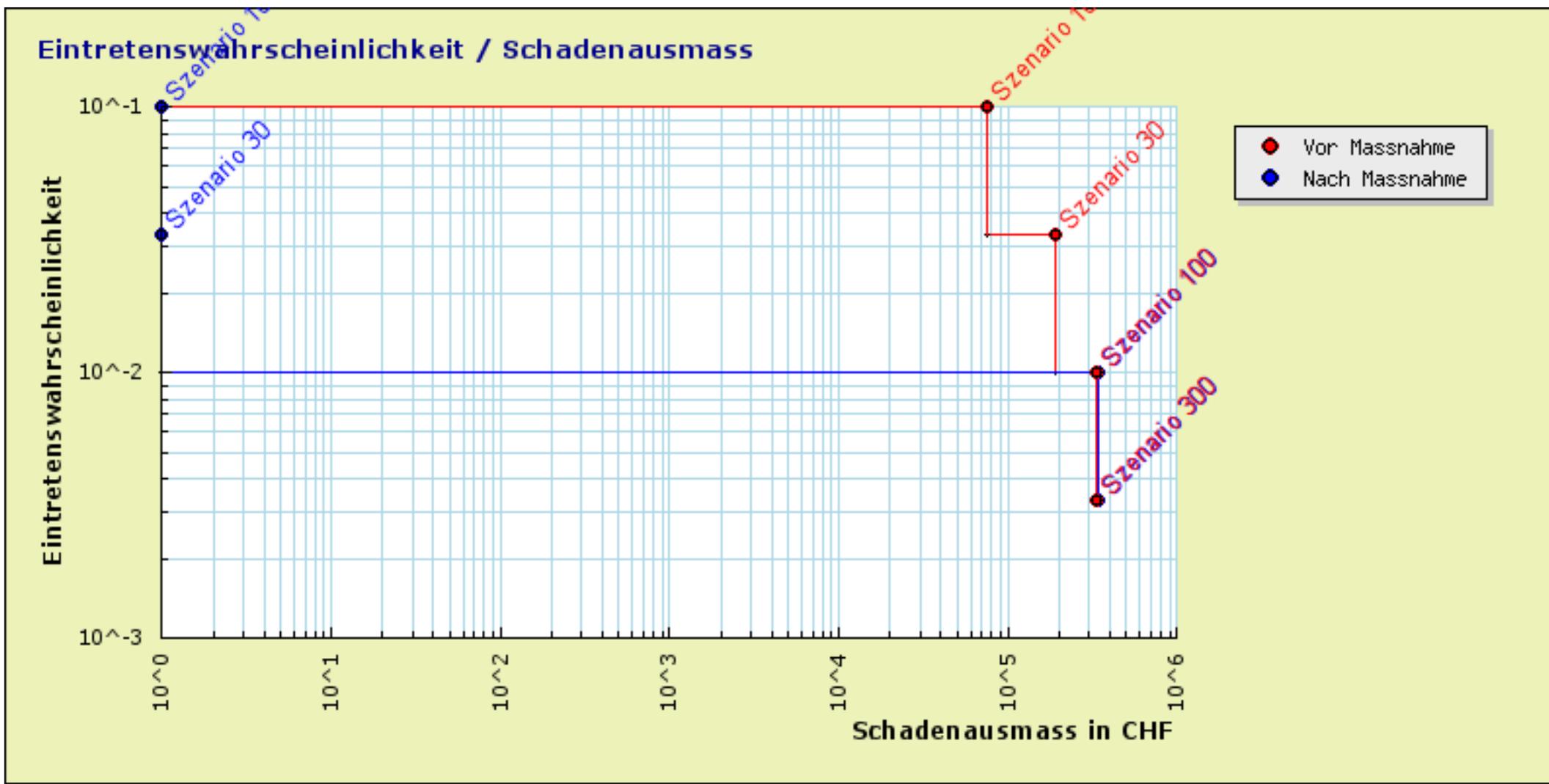
Nach Massnahme Wald "Ist-Zustand"	0	1	0
-----------------------------------	---	---	---

## Schadenpotenzial nach Objektkategorien

## Schadenpotenzial nach Objektkategorien

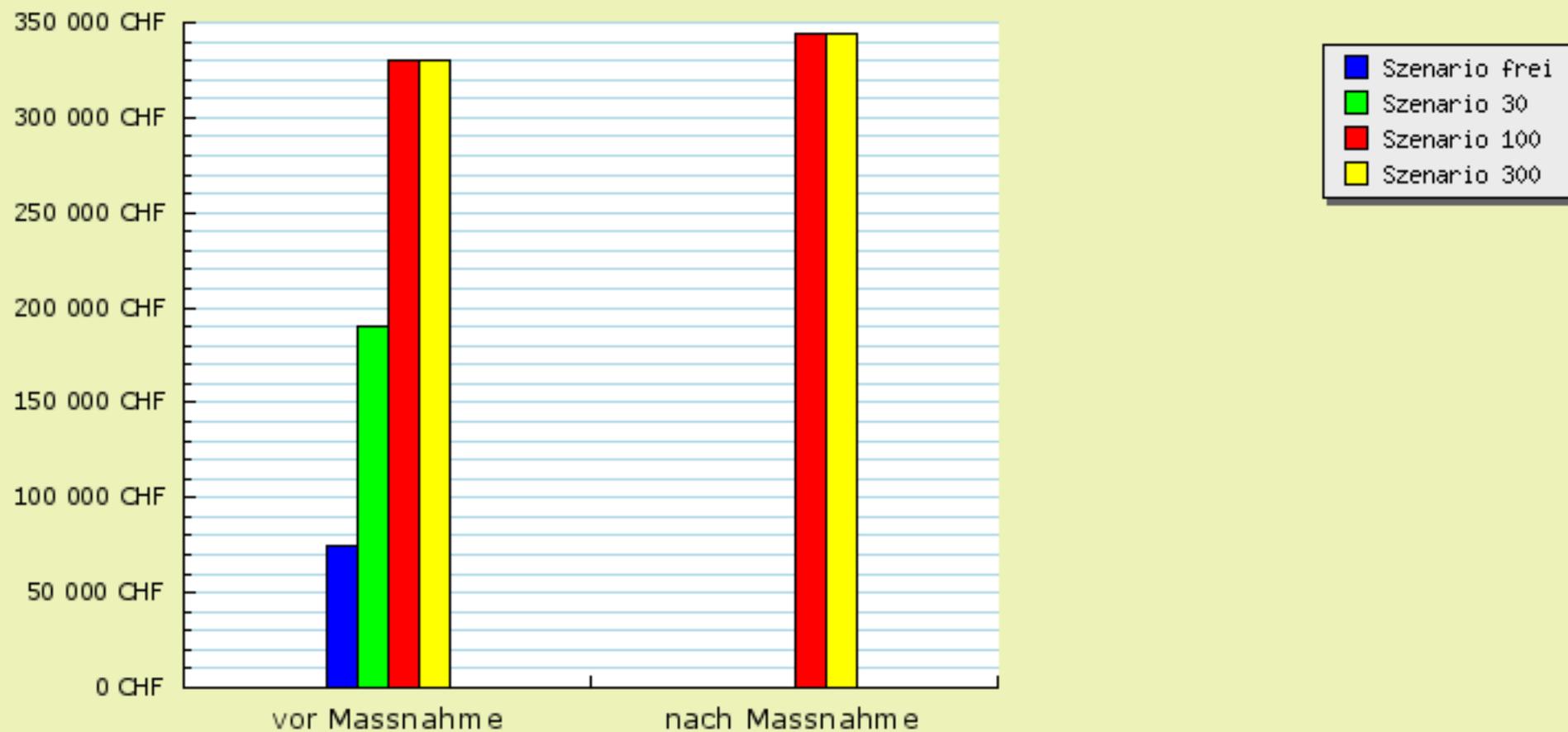


## Hangmure / Rutschung spontan, , Wald "Ist-Zustand" - Eintretenswahrscheinlichkeit / Schadenausmass



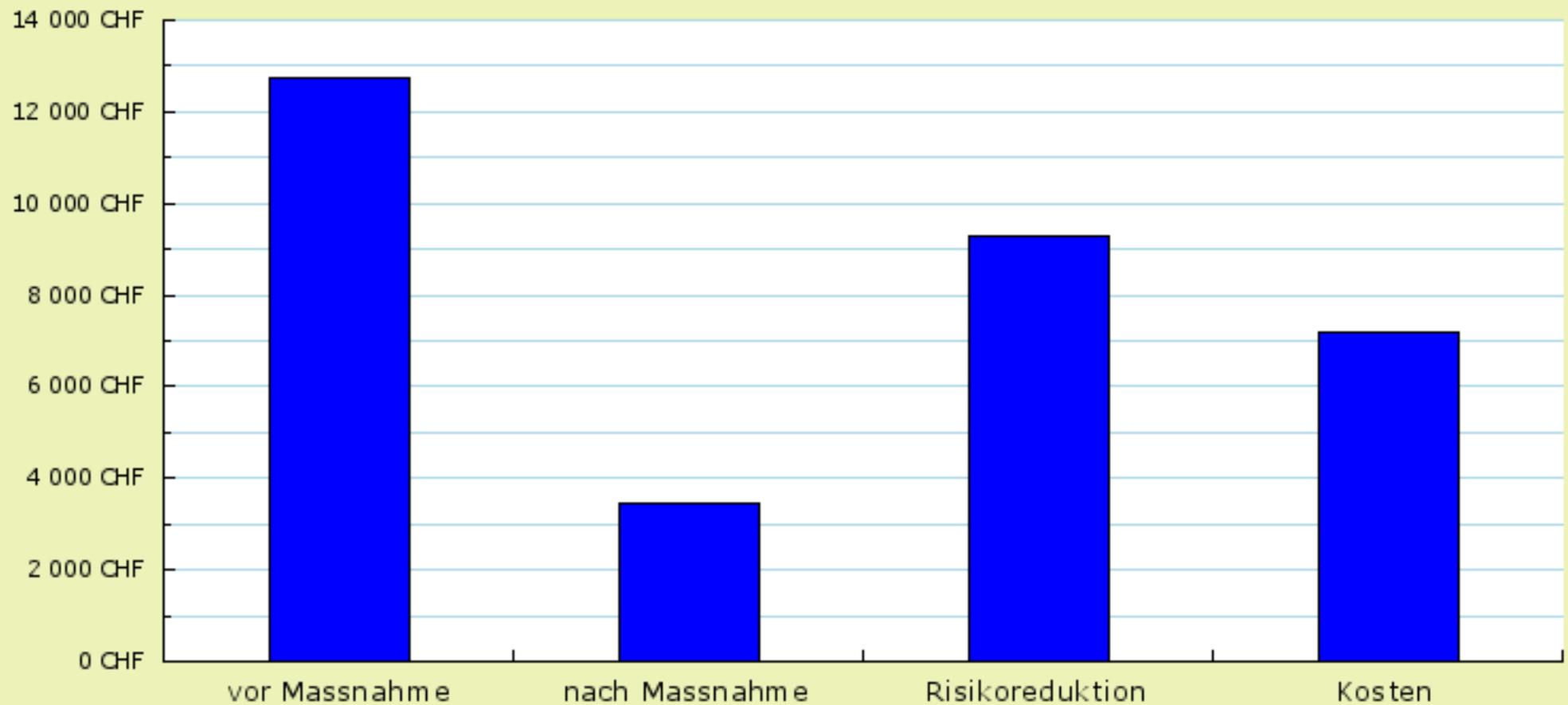
## Hangmure / Rutschung spontan, Wald "Ist-Zustand" - Schadenausmass nach Szenarien

## Schadenausmass nach Szenarien (vor und nach Massnahme)



## Hangmure / Rutschung spontan, , Wald "Ist-Zustand" - Risiken, Risikoreduktion und Kosten in CHF/Jahr

## Risiken, Risikoreduktion und Kosten in CHF/Jahr





**A Gambarogno: Wirkung Schutzwald an Reduktion Risiko auf Bahnanlagen und -betrieb SBB**

**Hangmure / Rutschung spontan**

Szenario frei	
Jährlichkeit	10 Jahre
p(rA)	1
Begründung der Wertanpassung p(rA)	
lokal; Auslaufgebiet auf Gleis	
Intensitätskarte	INT_Karten_Gambarogno.pdf
Angaben Schienenverkehr	
p(EGl)	1
p(vSp)	0
p(FaS)	0

Szenario 30	
Jährlichkeit	30 Jahre
p(rA)	1
Begründung der Wertanpassung p(rA)	
lokal; Auslaufgebiet auf Gleis	
Intensitätskarte	INT_Karten_Gambarogno.pdf
Angaben Schienenverkehr	
p(EGl)	1
p(vSp)	0
p(FaS)	0

Szenario 100	
Jährlichkeit	100 Jahre
p(rA)	1
Begründung der Wertanpassung p(rA)	
lokal; Auslaufgebiet auf Gleis	
Intensitätskarte	INT_Karten_Gambarogno.pdf
Angaben Schienenverkehr	
p(EGl)	1
p(vSp)	0
p(FaS)	0

Szenario 300	
Jährlichkeit	300 Jahre
p(rA)	1
Begründung der Wertanpassung p(rA)	

lokal; Auslaufgebiet auf Gleis	
<b>Intensitätskarte</b>	INT_Karten_Gambarogno.pdf
<b>Angaben Schienenverkehr</b>	
<b>p(EGl)</b>	1
<b>p(vSp)</b>	0
<b>p(FaS)</b>	0



29.04.19, 13:54:55

**A Gambarogno: Wirkung Schutzwald an Reduktion Risiko auf Bahnanlagen und -betrieb SBB**

**Massnahme: Wald "Ist-Zustand"**

Beschreibung	
Schutzwaldbehandlung mit Waldzustand "Ist" (aktueller Zustand), vgl. Bericht	
Investitionskosten	10 000 CHF
Jährliche Unterhaltskosten	7 000 CHF/a
Jährliche Betriebskosten	0 CHF/a
Lebensdauer Massnahme	150 Jahre
Zinssatz	2%
Jährliche Kosten	7 167 CHF/a
Restwert	0 CHF



**A Gambarogno: Wirkung Schutzwald an Reduktion Risiko auf Bahnanlagen und -betrieb SBB**

<b>1 Einspur</b>	
<b>Beschreibung</b>	
Gleis Gambarogno	
<b>Anzahl</b>	91 m
<b>Basiswert (CHF / m)</b>	6 300 CHF
<b>Effektivwert (CHF / m)</b>	6 300 CHF
<b>Ø Personenbelegung/Zug</b>	15.44
<b>Begründung der Wertanpassung</b>	
gemaess Angaben SBB	
<b>Ø Personenzüge/Tag</b>	14.7
<b>Ø Geschwindigkeit Personenzüge km/h</b>	80
<b>Ø Zuglänge Personenzüge</b>	74.4 m
<b>Geländeverhältnisse</b>	Günstige Verhältnisse
<b>Ø Güterzüge/Tag</b>	26
<b>Geschwindigkeit Fahren auf Sicht km/h</b>	0
<b>Anzahl Durchfahrten derselben Person</b>	2 Fahrten/Tag
<b>Sachwert Personenzug</b>	5 000 000 CHF



29.04.19, 13:55:57

**A Gambarogno: Wirkung Schutzwald an Reduktion Risiko auf Bahnanlagen und -betrieb SBB - Schadenpotenzial**[http://www.econome.admin.ch/doc/Bgs/28-1050-3664/polygon/INT\\_Karten\\_Gambarogno.pdf](http://www.econome.admin.ch/doc/Bgs/28-1050-3664/polygon/INT_Karten_Gambarogno.pdf)

Anzahl Objekte insgesamt	1
Anzahl Objekte mit verändertem Wert	0
Anzahl Objekte mit veränderter Belegung	1
Anzahl Objekte mit Objektschutz	1
	0
Schadenpotenzial Anzahl Personen	15.44
Schadenpotenzial Anzahl Personen (Berechnung mit Basiswerten)	0
Schadenpotenzial Personen (monetarisiert)	77 200 000
Schadenpotenzial Personen (monetarisiert) (Berechnung mit Basiswerten)	0
Schadenpotenzial Sachwerte	5 573 300
Schadenpotenzial Sachwerte (Berechnung mit Basiswerten)	5 573 300
Schadenpotenzial Gesamt	82 773 300
Schadenpotenzial Gesamt (Berechnung mit Basiswerten)	5 573 300

**Verteilung nach Nutznießern****Ohne Nutznießer - Zuweisung**

Schadenpotenzial Anzahl Personen	15.44
Schadenpotenzial Anzahl Personen (Berechnung mit Basiswerten)	0
Schadenpotenzial Personen (monetarisiert)	77 200 000
Schadenpotenzial Personen (monetarisiert) (Berechnung mit Basiswerten)	0
Schadenpotenzial Sachwerte	5 573 300
Schadenpotenzial Sachwerte (Berechnung mit Basiswerten)	5 573 300
Schadenpotenzial Gesamt	82 773 300
Schadenpotenzial Gesamt (Berechnung mit Basiswerten)	5 573 300

**Schieneverkehr****Veränderte Objekte**

1, einspur

Gleis Gambarogno

Anzahl:	91 m
Wert	6 300
Ø Personenbelegung:	15.44

gemaess Angaben SBB

Präsenzfaktor	
Ø Geschwindigkeit in km/h:	80
Ø Fahrzeuge/Tag:	14.7
Ø Zuglänge in m:	74.4



**A Gambarogno: Wirkung Schutzwald an Reduktion Risiko auf Bahnanlagen und -betrieb SBB**

**Vor Massnahmen**

**Hangmure / Rutschung spontan**

**Szenario 10**

Ident.	Objektart	Schadenausmass in CHF			Ø Todesfälle
		Personen	Sachwerte	Gesamtschaden	
1	Einspur	7 072	68 041	75 113	0.00141437
<b>Summe</b>		<b>7 072</b>	<b>68 041</b>	<b>75 113</b>	<b>0.00141437</b>

**Szenario 30**

Ident.	Objektart	Schadenausmass in CHF			Ø Todesfälle
		Personen	Sachwerte	Gesamtschaden	
1	Einspur	17 858	172 280	190 138	0.00357165
<b>Summe</b>		<b>17 858</b>	<b>172 280</b>	<b>190 138</b>	<b>0.00357165</b>

**Szenario 100**

Ident.	Objektart	Schadenausmass in CHF			Ø Todesfälle
		Personen	Sachwerte	Gesamtschaden	
1	Einspur	20 370	309 804	330 174	0.00407402
<b>Summe</b>		<b>20 370</b>	<b>309 804</b>	<b>330 174</b>	<b>0.00407402</b>

**Szenario 300**

Ident.	Objektart	Schadenausmass in CHF			Ø Todesfälle
		Personen	Sachwerte	Gesamtschaden	
1	Einspur	20 370	309 804	330 174	0.00407402
<b>Summe</b>		<b>20 370</b>	<b>309 804</b>	<b>330 174</b>	<b>0.00407402</b>

## Vor Massnahmen - Hangmure / Rutschung spontan - Übersicht über alle Szenarien

	Schadenausmass nach Szenarien				Komplementär-kumulatives Risiko/Jahr
Kategorie	Szenario 10 Personen / Sachwerte Gesamtschaden	Szenario 30 Personen / Sachwerte Gesamtschaden	Szenario 100 Personen / Sachwerte Gesamtschaden	Szenario 300 Personen / Sachwerte Gesamtschaden	Risiko in CHF/a Personen / Sachwerte Gesamtschaden
Gebäude	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>
Sonderobjekte	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>
Strassenverkehr	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>
Leitungen	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>
Mechanische Aufstiegshilfe	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>
Landwirtschaft, Wald und Grünanlagen	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>
Schieneverkehr	7 072 CHF / 68 041 CHF <b>75 113 CHF</b>	17 858 CHF / 172 280 CHF <b>190 138 CHF</b>	20 370 CHF / 309 804 CHF <b>330 174 CHF</b>	20 370 CHF / 309 804 CHF <b>330 174 CHF</b>	1 092 CHF / 11 654 CHF <b>12 746 CHF</b>
Sonderobjekte Schieneverkehr	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>
<b>Personen</b>	0.00141 Tf	0.00357 Tf	0.00407 Tf	0.00407 Tf	0.00022 Tf
<b>Personen (monetarisiert)</b>	7 072 CHF	17 858 CHF	20 370 CHF	20 370 CHF	1 092 CHF
<b>Sachwerte</b>	68 041 CHF	172 280 CHF	309 804 CHF	309 804 CHF	11 654 CHF
<b>Summe</b>	75 113 CHF	190 138 CHF	330 174 CHF	330 174 CHF	12 746 CHF

**Vor Massnahmen - Hangmure / Rutschung spontan - Individuelles Todesfallrisiko**

Ident.	Objektart	Präsenz	Risiko faktor kann maxima	Szenario 10	Szenario 30	Szenario 100	Szenario 300	Individuelles Todesfallrisiko
1	einspur		2	1.777810e-5	1.482560e-5	5.009710e-6	1.669903e-6	2.723970e-5

**Nach Massnahme Wald "Ist-Zustand"****Hangmure / Rutschung spontan****Szenario 10****Szenario 30****Szenario 100**

Ident.	Objektart	Schadenausmass in CHF			Ø Todesfälle
		Personen	Sachwerte	Gesamtschaden	
1	Einspur	26 265	317 497	343 762	0.00525294
<b>Summe</b>		<b>26 265</b>	<b>317 497</b>	<b>343 762</b>	<b>0.00525294</b>

**Szenario 300**

Ident.	Objektart	Schadenausmass in CHF			Ø Todesfälle
		Personen	Sachwerte	Gesamtschaden	
1	Einspur	26 265	317 497	343 762	0.00525294
<b>Summe</b>		<b>26 265</b>	<b>317 497</b>	<b>343 762</b>	<b>0.00525294</b>

## Wald "Ist-Zustand" - Hangmure / Rutschung spontan - Übersicht über alle Szenarien

	Schadenausmass nach Szenarien				Komplementär-kumulatives Risiko/Jahr
Kategorie	Szenario 10 Personen / Sachwerte Gesamtschaden	Szenario 30 Personen / Sachwerte Gesamtschaden	Szenario 100 Personen / Sachwerte Gesamtschaden	Szenario 300 Personen / Sachwerte Gesamtschaden	Risiko in CHF/a Personen / Sachwerte Gesamtschaden
Gebäude	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>
Sonderobjekte	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>
Strassenverkehr	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>
Leitungen	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>
Mechanische Aufstiegshilfe	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>
Landwirtschaft, Wald und Grünanlagen	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>
Schieneverkehr	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	26 265 CHF / 317 497 CHF <b>343 762 CHF</b>	26 265 CHF / 317 497 CHF <b>343 762 CHF</b>	263 CHF / 3 175 CHF <b>3 438 CHF</b>
Sonderobjekte Schienenverkehr	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>
<b>Personen</b>	0 Tf	0 Tf	0.00525 Tf	0.00525 Tf	5.0E-5 Tf
<b>Personen (monetarisiert)</b>	0 CHF	0 CHF	26 265 CHF	26 265 CHF	263 CHF
<b>Sachwerte</b>	0 CHF	0 CHF	317 497 CHF	317 497 CHF	3 175 CHF
<b>Summe</b>	0 CHF	0 CHF	343 762 CHF	343 762 CHF	3 438 CHF

**Wald "Ist-Zustand" - Hangmure / Rutschung spontan - Individuelles Todesfallrisiko**

Ident.	Objektart	Präsenz	Risiko faktor kann maxima	Szenario 10	Szenario 30	Szenario 100	Szenario 300	Individuelles Todesfallrisiko
1	einspur		2	0.000000e+0	0.000000e+0	6.492130e-6	2.164043e-6	6.492130e-6



29.04.19, 13:56:13

## A Gambarogno: Wirkung Schutzwald an Reduktion Risiko auf Bahnanlagen und -betrieb SBB - Konsequenzenanalyse

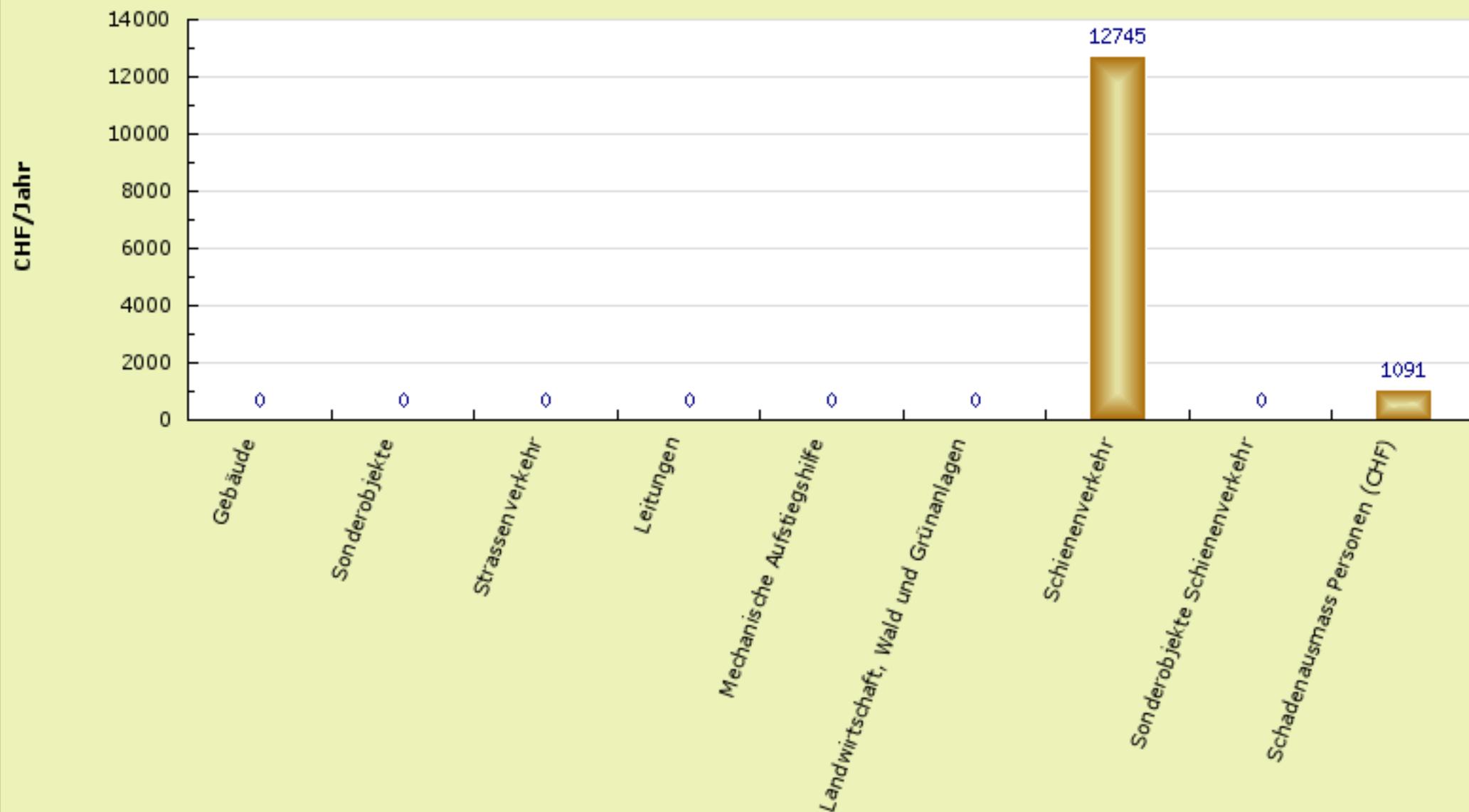
## Hangmure / Rutschung spontan

## Zusammenstellung Schadenausmass ohne Aversion

Kategorie	Schadenausmass nach Szenarien				Komplementär-kumulatives Risiko/Jahr Risiko in CHF/a Personen / Sachwerte Gesamtschaden
	Szenario 10 Personen / Sachwerte Gesamtschaden	Szenario 30 Personen / Sachwerte Gesamtschaden	Szenario 100 Personen / Sachwerte Gesamtschaden	Szenario 300 Personen / Sachwerte Gesamtschaden	
Gebäude	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>
Sonderobjekte	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>
Strassenverkehr	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>
Leitungen	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>
Mechanische Aufstiegshilfe	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>
Landwirtschaft, Wald und Grünanlagen	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>
Schieneverkehr	7 072 CHF / 68 041 CHF <b>75 113 CHF</b>	17 858 CHF / 172 280 CHF <b>190 138 CHF</b>	20 370 CHF / 309 804 CHF <b>330 174 CHF</b>	20 370 CHF / 309 804 CHF <b>330 174 CHF</b>	1 092 CHF / 11 654 CHF <b>12 746 CHF</b>
Sonderobjekte Schieneverkehr	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>
<b>Personen</b>	0.00141 Tf	0.00357 Tf	0.00407 Tf	0.00407 Tf	0.00022 Tf
<b>Personen (monetarisiert)</b>	7 072 CHF	17 858 CHF	20 370 CHF	20 370 CHF	1 092 CHF
<b>Sachwerte</b>	68 041 CHF	172 280 CHF	309 804 CHF	309 804 CHF	11 654 CHF
<b>Summe</b>	75 113 CHF	190 138 CHF	330 174 CHF	330 174 CHF	12 746 CHF

## Hangmure / Rutschung spontan - Risikoverteilung nach Objektkategorien - Alle Szenarien

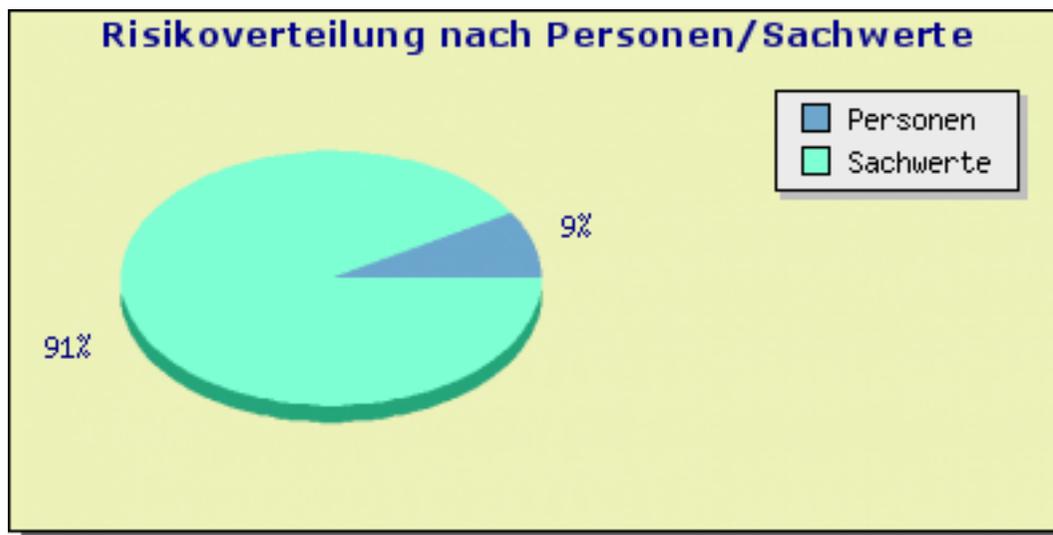
- Risikoverteilung nach Objektkategorien/Jahr - Alle Szenarien



## Hangmure / Rutschung spontan - Risikoverteilung nach Szenarien



## Hangmure / Rutschung spontan - Risikoverteilung nach Personen/Sachwerte





29.04.19, 13:56:26

**A Gambarogno: Wirkung Schutzwald an Reduktion Risiko auf Bahnanlagen und -betrieb SBB - Konsequenzenanalyse nach Massnahme Wald "Ist-Zustand"**

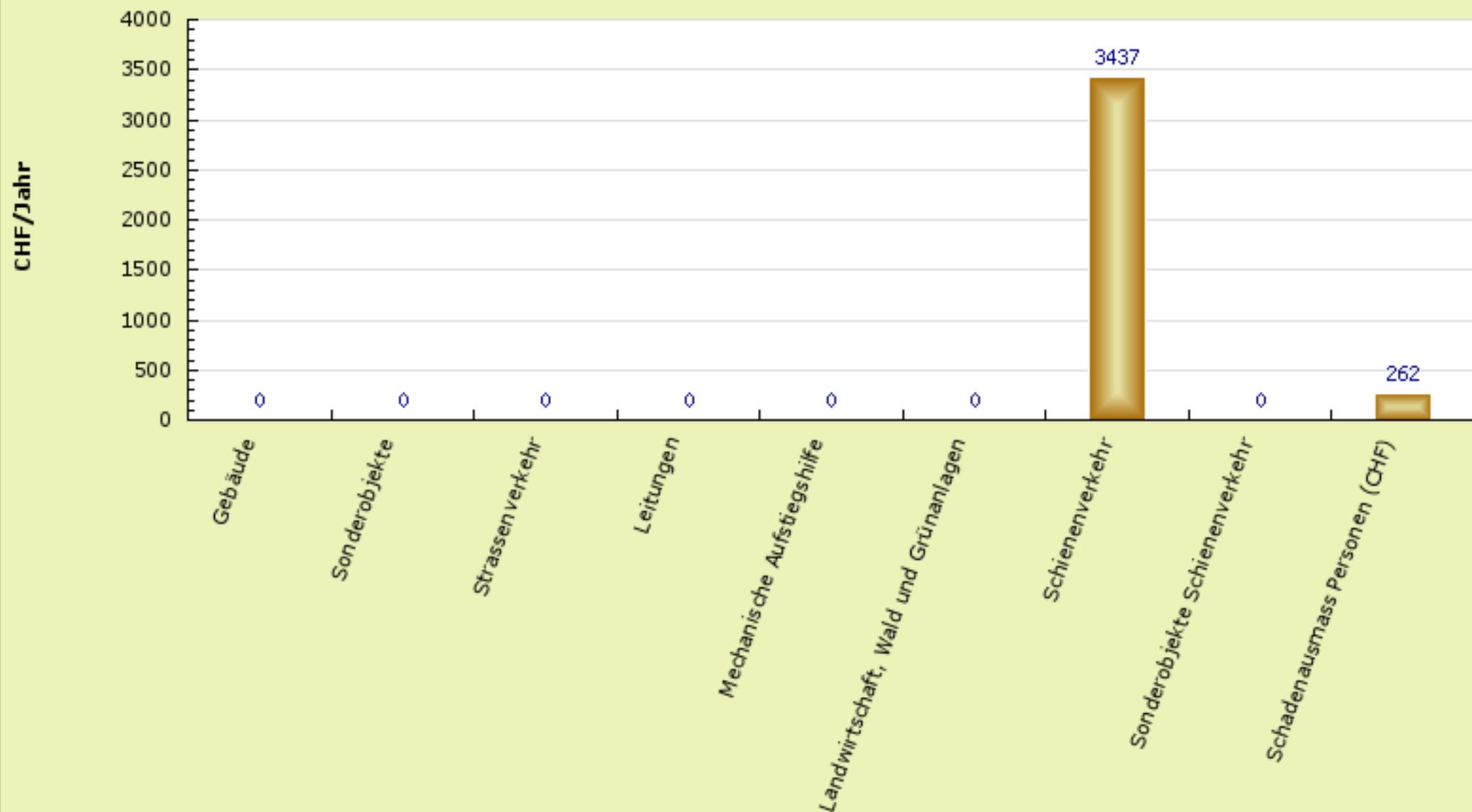
**Hangmure / Rutschung spontan**

**Zusammenstellung Schadenausmass ohne Aversion**

Kategorie	Schadenausmass nach Szenarien				Komplementär-kumulatives Risiko/Jahr Risiko in CHF/a Personen / Sachwerte Gesamtschaden
	Szenario 10 Personen / Sachwerte Gesamtschaden	Szenario 30 Personen / Sachwerte Gesamtschaden	Szenario 100 Personen / Sachwerte Gesamtschaden	Szenario 300 Personen / Sachwerte Gesamtschaden	
Gebäude	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>
Sonderobjekte	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>
Strassenverkehr	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>
Leitungen	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>
Mechanische Aufstiegshilfe	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>
Landwirtschaft, Wald und Grünanlagen	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>
Schieneverkehr	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	26 265 CHF / 317 497 CHF <b>343 762 CHF</b>	26 265 CHF / 317 497 CHF <b>343 762 CHF</b>	263 CHF / 3 175 CHF <b>3 438 CHF</b>
Sonderobjekte Schieneverkehr	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>
<b>Personen</b>	0 Tf	0 Tf	0.00525 Tf	0.00525 Tf	5.0E-5 Tf
<b>Personen (monetarisiert)</b>	0 CHF	0 CHF	26 265 CHF	26 265 CHF	263 CHF
<b>Sachwerte</b>	0 CHF	0 CHF	317 497 CHF	317 497 CHF	3 175 CHF
<b>Summe</b>	0 CHF	0 CHF	343 762 CHF	343 762 CHF	3 438 CHF

## Hangmure / Rutschung spontan - Risikoverteilung nach Objektkategorien - Alle Szenarien

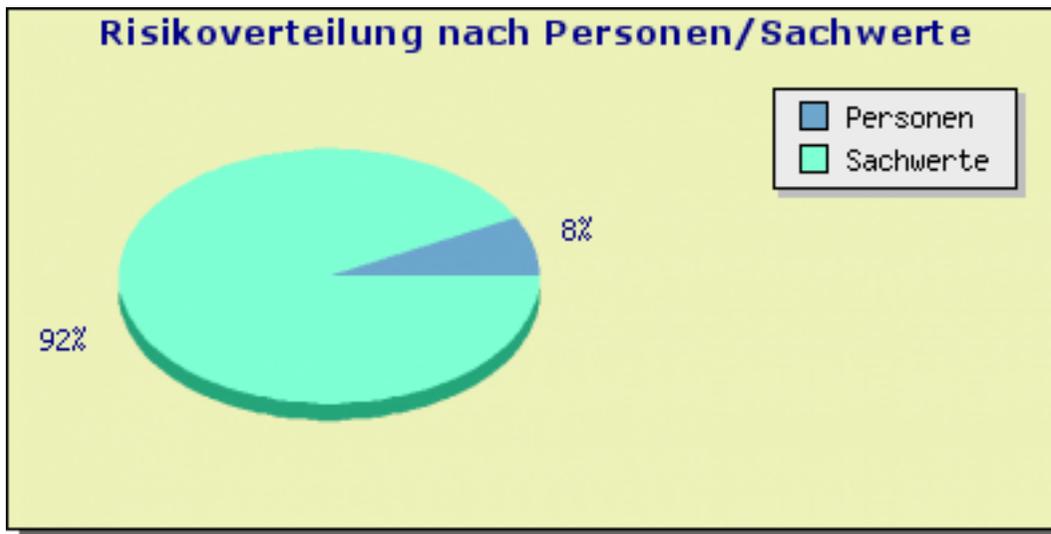
- Risikoverteilung nach Objektkategorien/Jahr - Alle Szenarien



Hangmure / Rutschung spontan - Risikoverteilung nach Szenarien



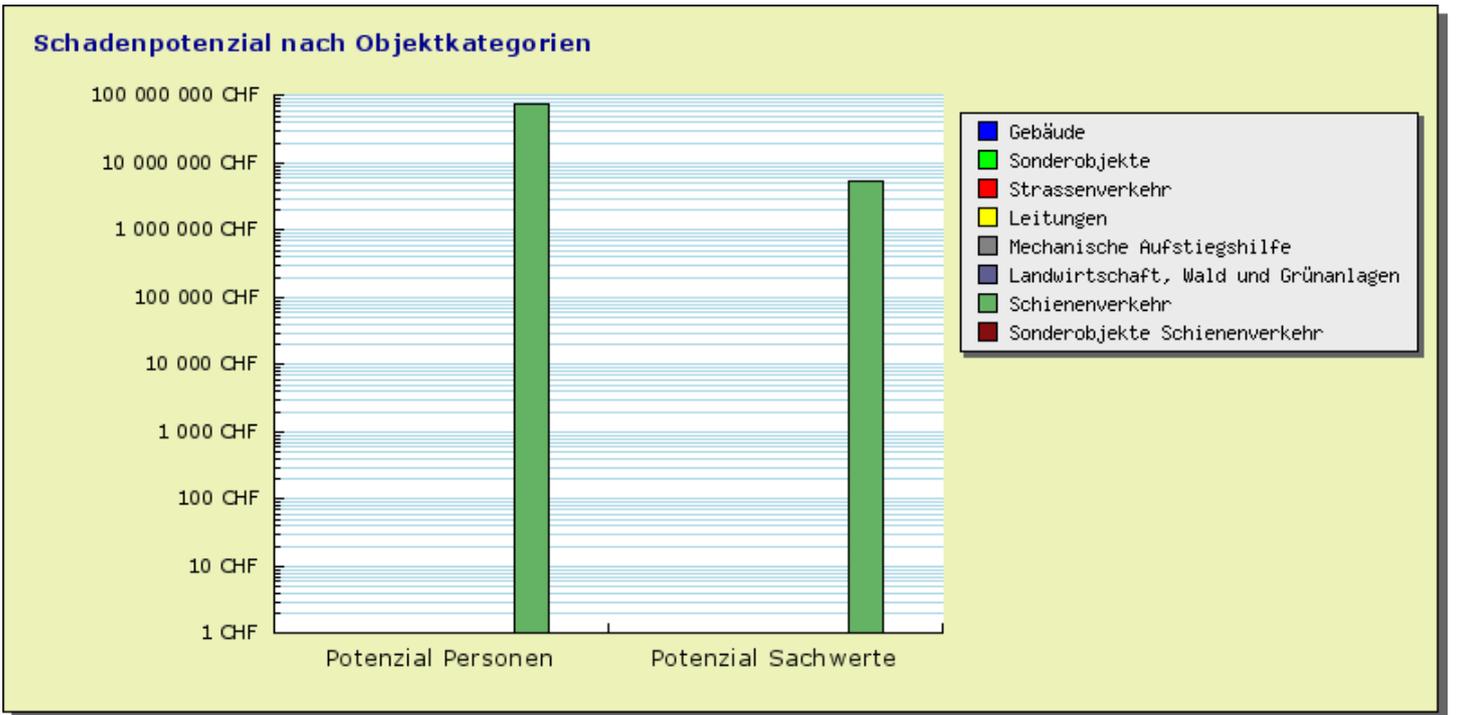
Hangmure / Rutschung spontan - Risikoverteilung nach Personen/Sachwerte



**A Gambarogno: Wirkung Schutzwald an Reduktion Risiko auf Bahnanlagen und -betrieb SBB**

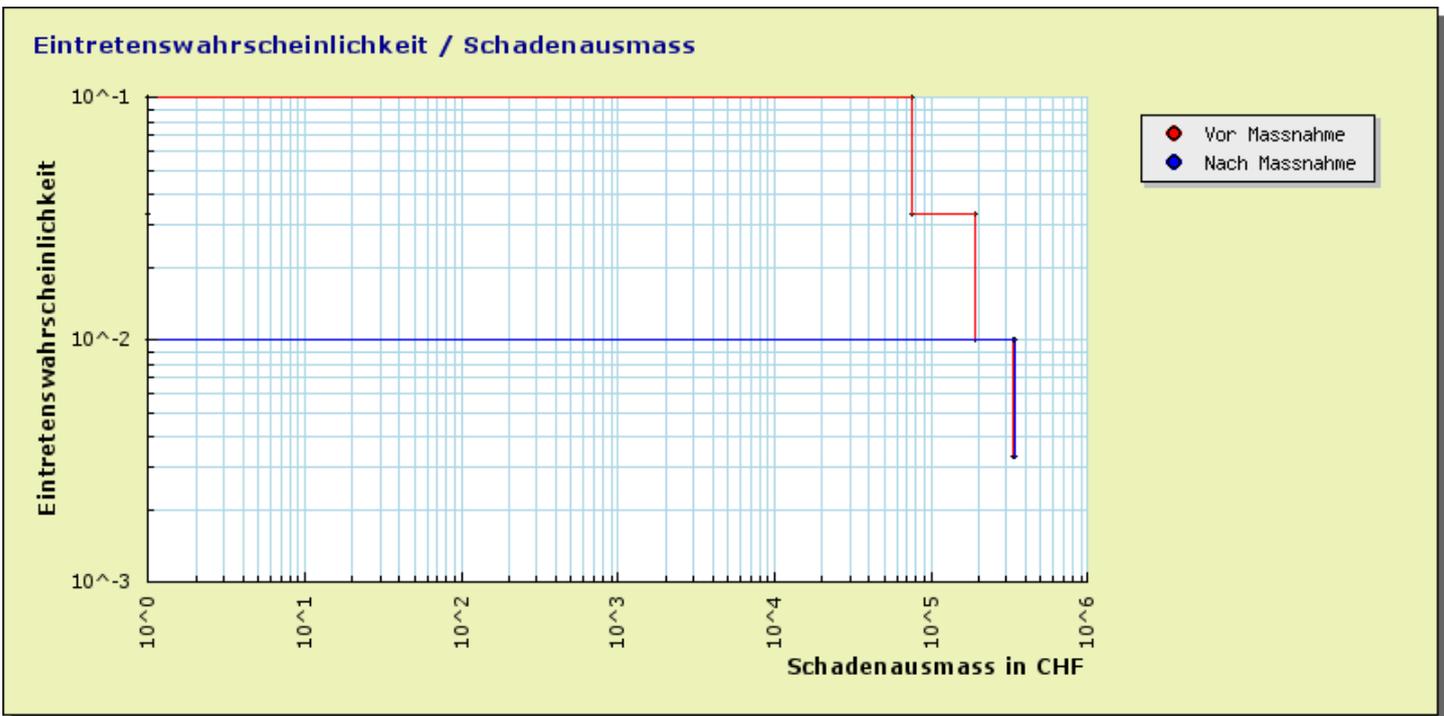
**Übersicht Schadenpotenzial**

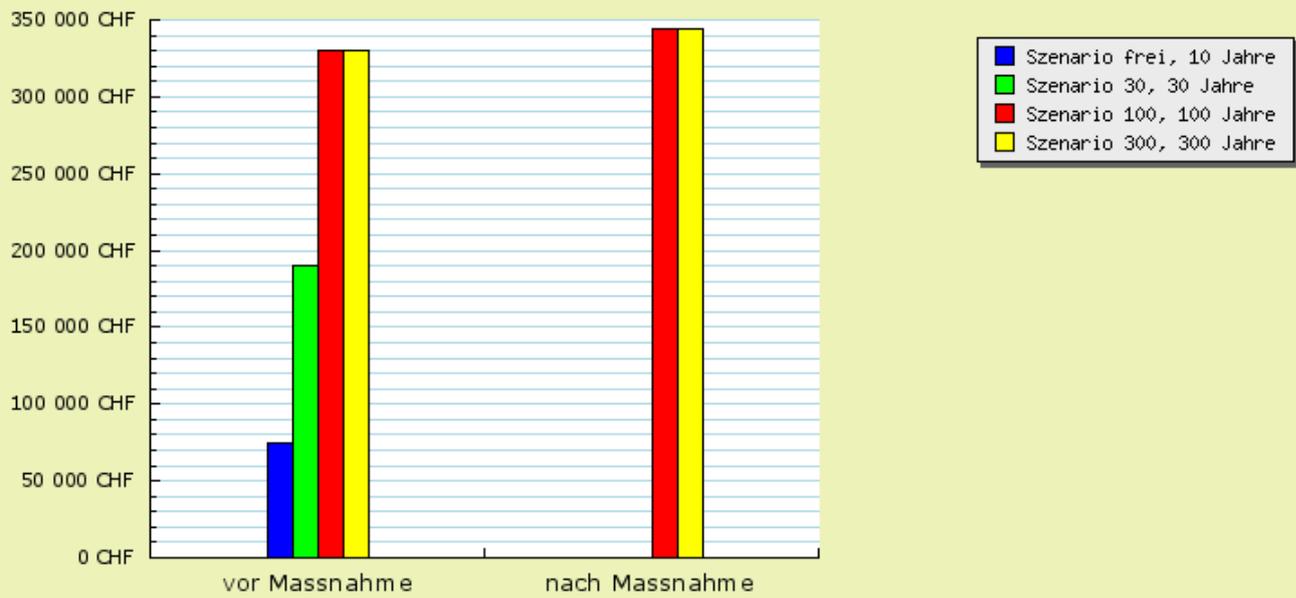
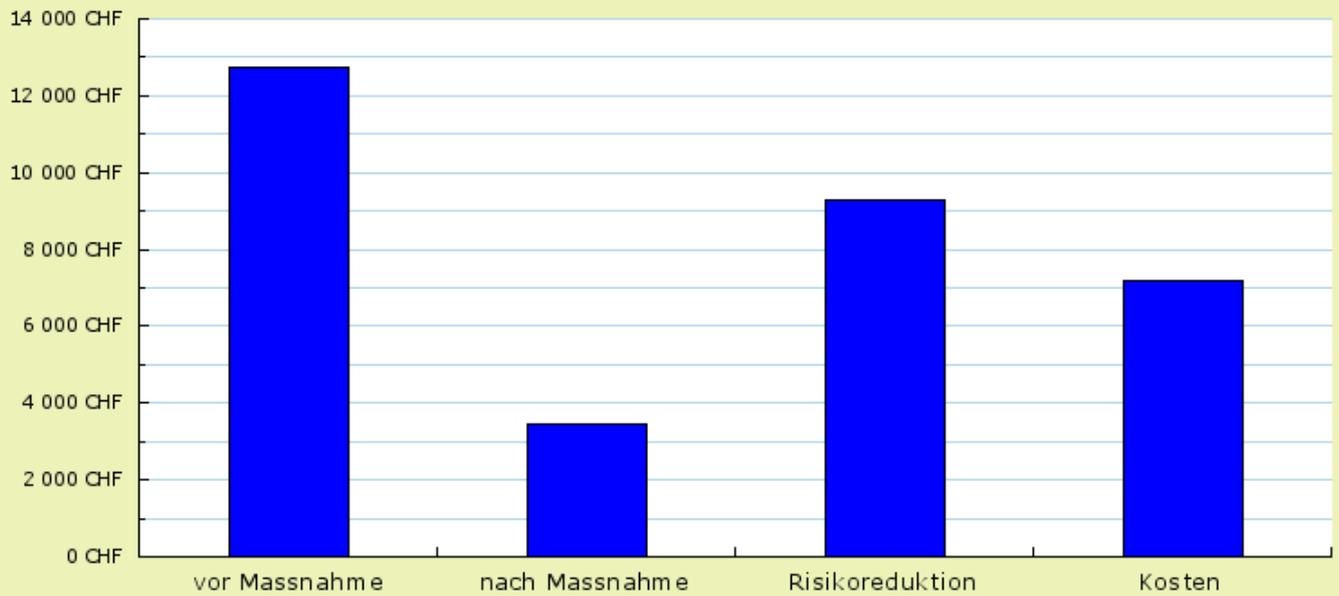
Schadenpotenzial Anzahl Personen	15.44
Schadenpotenzial Personen (monetarisiert)	77 200 000 CHF
Schadenpotenzial Sachwerte	5 573 300 CHF
<b>Schadenpotenzial Gesamt</b>	<b>82 773 300 CHF</b>

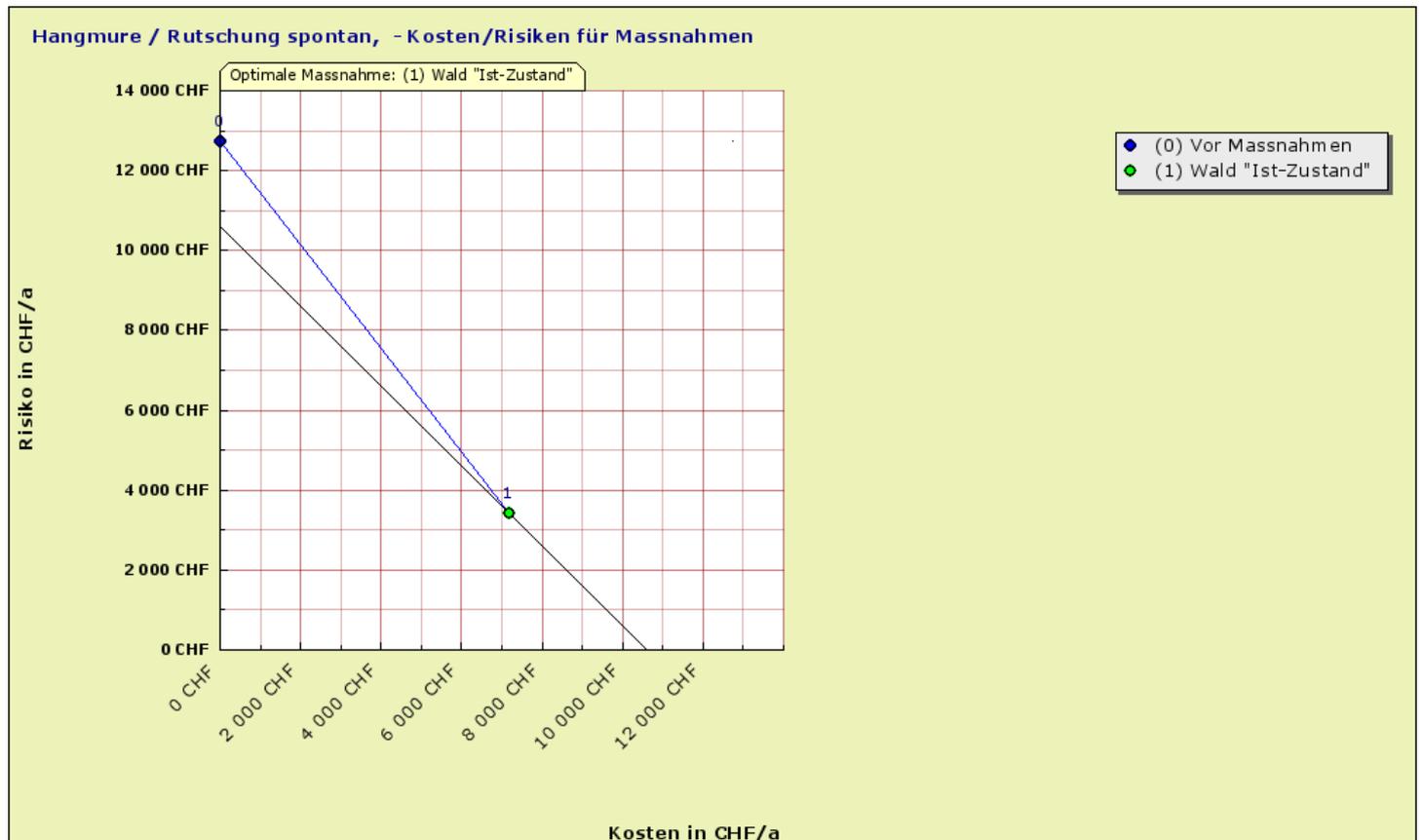


**Hangmure / Rutschung spontan -**

Risiken und Kosten der Massnahme Wald "Ist-Zustand"			
	Vor Massnahme	Nach Massnahme	Risikoreduktion (Nutzen) CHF/a
Risikobeitrag Szenario frei (10 Jahre, 0.0667)	5 008	0	5 008
Risikobeitrag Szenario 30 (30 Jahre, 0.0233)	4 437	0	4 437
Risikobeitrag Szenario 100 (100 Jahre, 0.0067)	2 201	2 292	-91
Risikobeitrag Szenario 300 (300 Jahre, 0.0033)	1 101	1 146	-45
<b>Gesamtrisiko</b>	<b>12 746</b>	<b>3 438</b>	<b>9 308</b>
	Investitionskosten		10 000 CHF
	Jährliche Unterhaltskosten		7 000 CHF/a
	Jährliche Betriebskosten		0 CHF/a
	<b>Massnahmekosten pro Jahr</b>		<b>7 167 CHF/a</b>
	<b>Nutzen/Kosten Verhältnis</b>		<b>1,3 CHF/a</b>



**Schadenausmass nach Szenarien (vor und nach Massnahme)****Risiken, Risikoreduktion und Kosten in CHF/Jahr**





29.04.19, 13:56:36

**A Gambarogno: Wirkung Schutzwald an Reduktion Risiko auf Bahnanlagen und -betrieb SBB - Individuelles Tod**

**Hangmure / Rutschung spontan**

**Individuelles Risiko (Anzahl betroffener Objekte)**

Vor Massnahme	1	0	0
Nach Massnahme Wald "Ist-Zustand"	0	1	0

**Vor Massnahme**

1	Einspur	0.0000272397
---	---------	--------------

**Nach Massnahme Wald "Ist-Zustand"**

1	Einspur	0.00000649213
---	---------	---------------

# Resultate EconoMe: Langnauerwald

## Übersicht

- Zusammenfassung
- Gefahrenanalyse
- Massnahmendefinition
- Schadenpotenzial
- Schadenpotenzial im Perimeter
- Konsequenzenanalyse (Zusammenfassung)
- Konsequenzenanalyse (vor Massnahme)
- Konsequenzenanalyse (nach Massnahme)
- Risiken, Kosten und Nutzen/Kosten-Faktor
- Individuelles Todesfallrisiko



29.04.19, 15:03:55

## B Langnauerwald: Wirkung Schutzwald an Reduktion Risiko auf Bahnanlagen und -betrieb SBB

Laufzeit	10.10.2018 -
Organisation	BFH-HAFL
Gemeinde:	Entlebuch / Langnauerwald
Gebiet:	Entlebuch - Langnauerwald

### Beteiligte Personen

#### Hofstetter, Florian - Administrator Kanton

SBB Natur und Naturrisiken  
+41 79 829 37 60  
florian.hofstetter@sbb.ch

#### Kühne, Kathrin - Projektleiter

BFH-HAFL  
0319102247  
kathrin.kuehne@bfh.ch

#### Anprechpartner Kanton Bahngesellschaften

Kantonsverantwortlicher

#### Anprechpartner Gemeinde

Gemeindeverantwortlicher

### Projektfortschritt

29.04.19, 14:54	Projektgrundlagen	Kathrin Kühne
29.04.19, 14:54	Systembeschreibung	Kathrin Kühne
29.04.19, 14:55	Gefahrenanalyse	Kathrin Kühne
29.04.19, 14:57	Massnahmendefinition	Kathrin Kühne
29.04.19, 14:58	Schadenpotenzial	Kathrin Kühne
29.04.19, 15:01	Konsequenzenanalyse	Kathrin Kühne
29.04.19, 15:01	Kostenwirksamkeit	Kathrin Kühne

### Gefahrenprozesse

#### Hangmure / Rutschung spontan Hangmure / Rutschung spontan

##### Szenario frei, 10 Jahre

Datei [http://www.econome.admin.ch/doc/Bgs/28-1050-3663/maps/INT\\_Karten\\_Langnauerwald.pdf](http://www.econome.admin.ch/doc/Bgs/28-1050-3663/maps/INT_Karten_Langnauerwald.pdf)

Räumliche Auftretenswahrscheinlichkeit 1

lokal; Auslaufgebiet auf Gleis

##### Szenario 30, 30 Jahre

Datei [http://www.econome.admin.ch/doc/Bgs/28-1050-3663/maps/INT\\_Karten\\_Langnauerwald.pdf](http://www.econome.admin.ch/doc/Bgs/28-1050-3663/maps/INT_Karten_Langnauerwald.pdf)

Räumliche Auftretenswahrscheinlichkeit 1

lokal; Auslaufgebiet auf Gleis

##### Szenario 100, 100 Jahre

Datei [http://www.econome.admin.ch/doc/Bgs/28-1050-3663/maps/INT\\_Karten\\_Langnauerwald.pdf](http://www.econome.admin.ch/doc/Bgs/28-1050-3663/maps/INT_Karten_Langnauerwald.pdf)

Räumliche Auftretenswahrscheinlichkeit 1

lokal; Auslaufgebiet auf Gleis

**Szenario 300, 300 Jahre**Datei [http://www.econome.admin.ch/doc/Bgs/28-1050-3663/maps/INT\\_Karten\\_Langnauerwald.pdf](http://www.econome.admin.ch/doc/Bgs/28-1050-3663/maps/INT_Karten_Langnauerwald.pdf)

Räumliche Auftretenswahrscheinlichkeit 1

lokal; Auslaufgebiet auf Gleis

**Massnahmendefinition****Massnahme: Wald "Ist-Zustand"**

Schutzwaldbehandlung mit Waldzustand Ist-Zustand, vgl. Bericht

Investitionskosten	5 000 CHF
Jährliche Unterhaltskosten	2 280 CHF/a
Jährliche Betriebskosten	0 CHF/a
Lebensdauer Massnahme	150 Jahre
Jährliche Kosten	2 363 CHF/a

**Ergebnisübersicht****Übersicht Schadenpotenzial**

Schadenpotenzial Anzahl Personen	71.06
Schadenpotenzial Personen (monetarisiert)	355 300 000
Schadenpotenzial Sachwerte	6 033 200
Schadenpotenzial Gesamt	361 333 200

**Hangmure / Rutschung spontan Hangmure / Rutschung spontan**

Risiko vor Massnahmen	207 561 CHF/a
Risiko vor Massnahmen (Berechnung mit Basiswerten)	207 561 CHF/a
Nach Massnahme Wald "Ist-Zustand"	96 886 CHF/a
Nach Massnahme Wald "Ist-Zustand" (Berechnung mit Basiswerten)	96 886 CHF/a

**Risikoreduktion (Nutzen) CHF/a**

Wald "Ist-Zustand"	110 675 CHF/a
Wald "Ist-Zustand" (Berechnung mit Basiswerten)	110 675 CHF/a

**Massnahmekosten CHF/a**

Wald "Ist-Zustand"	2 363 CHF/a
--------------------	-------------

**Verteilung nach Nutznießern****Ohne Nutznießer - Zuweisung**

Wald "Ist-Zustand"	2 363 CHF/a (100%)
--------------------	--------------------

**Nutzen/Kosten - Verhältnis**

Wald "Ist-Zustand"	46.8
Wald "Ist-Zustand" (Berechnung mit Basiswerten)	46.8

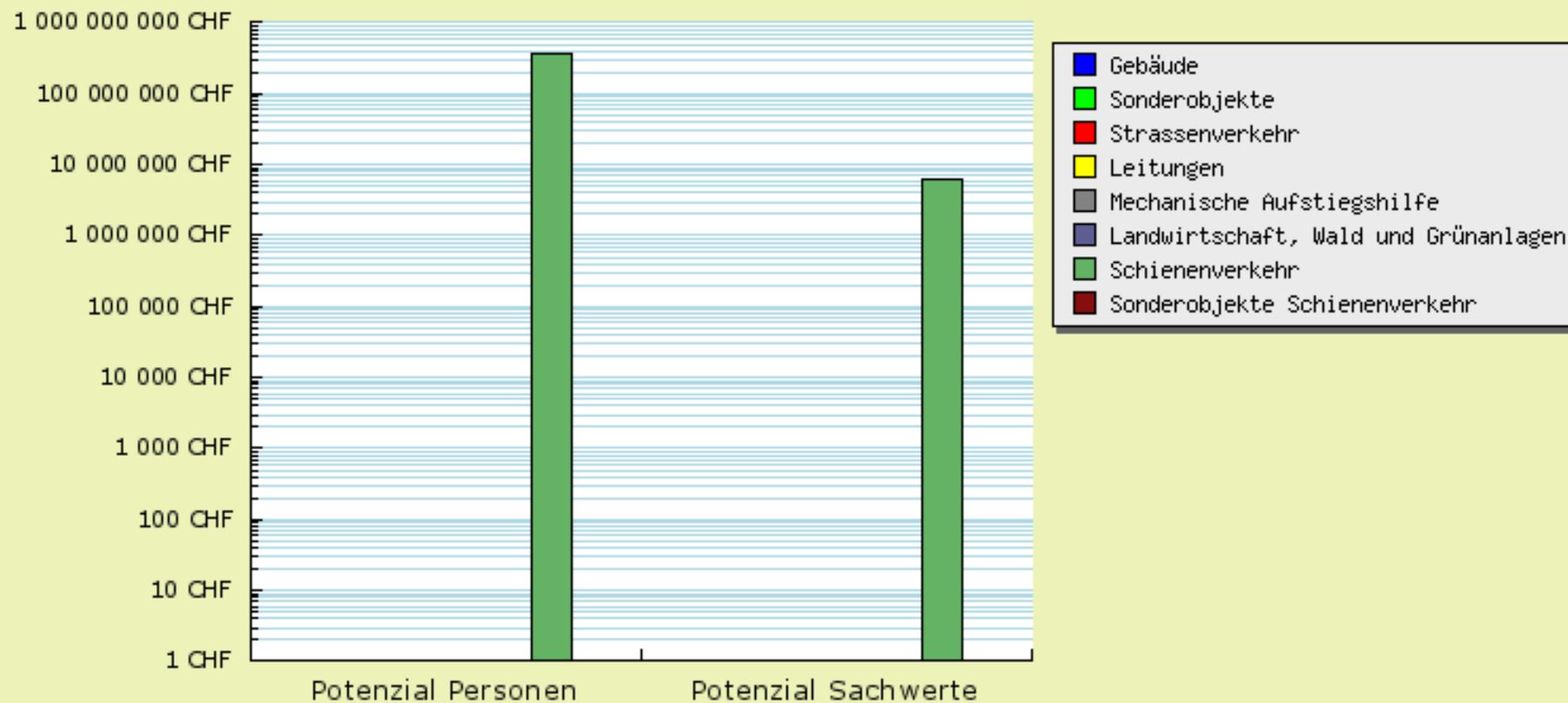
**Individuelles Risiko (Anzahl betroffener Objekte)**

Vor Massnahme	1	0	0
---------------	---	---	---

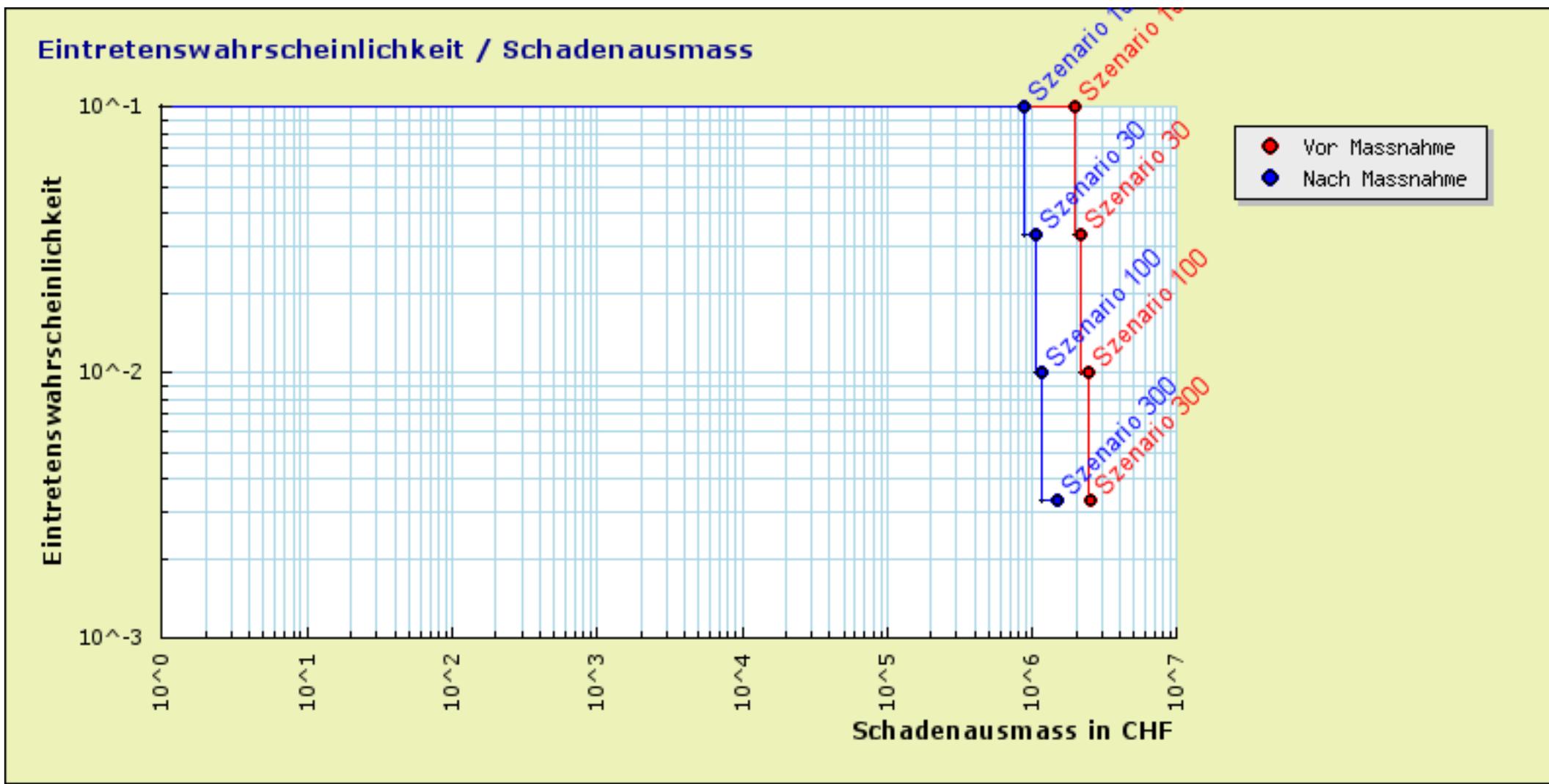
Nach Massnahme Wald "Ist-Zustand"	1	0	0
-----------------------------------	---	---	---

## Schadenpotenzial nach Objektkategorien

## Schadenpotenzial nach Objektkategorien

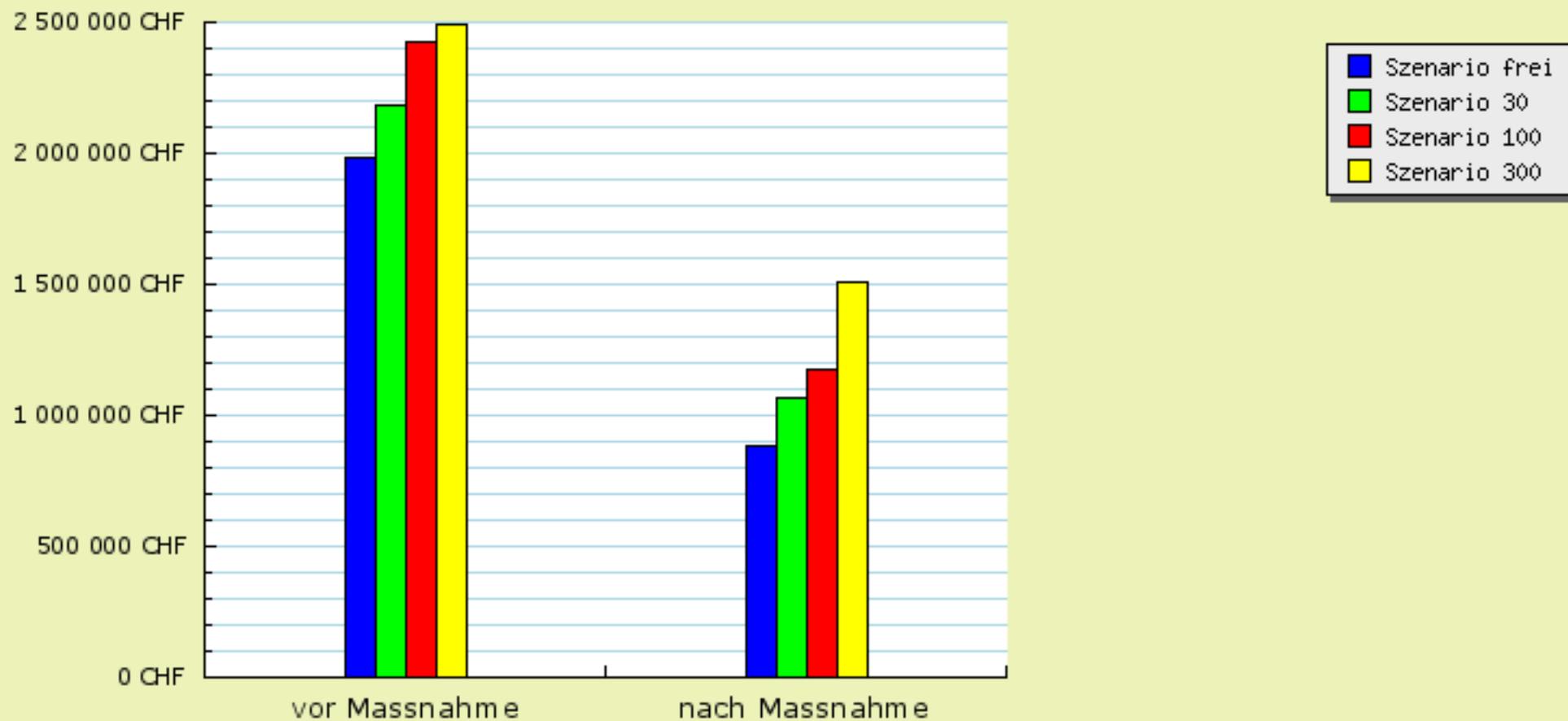


## Hangmure / Rutschung spontan, Hangmure / Rutschung spontan, Wald "Ist-Zustand" - Eintretenswahrscheinlichkeit / Schadenausmass



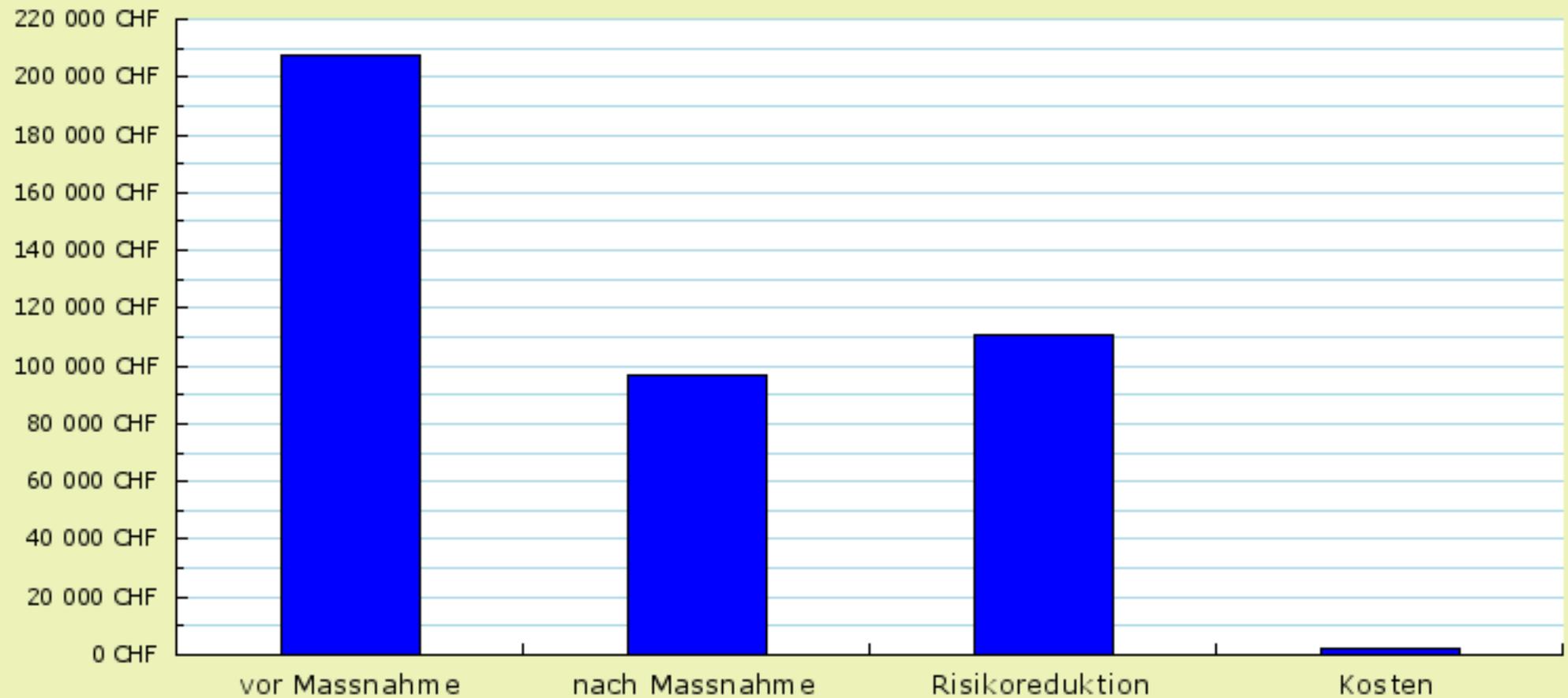
## Hangmure / Rutschung spontan, Hangmure / Rutschung spontan, Wald "Ist-Zustand" - Schadenausmass nach Szenarien

## Schadenausmass nach Szenarien (vor und nach Massnahme)



## Hangmure / Rutschung spontan, Hangmure / Rutschung spontan, Wald "Ist-Zustand" - Risiken, Risikoreduktion und Kosten in CHF/Jahr

## Risiken, Risikoreduktion und Kosten in CHF/Jahr





**B Langnauerwald: Wirkung Schutzwald an Reduktion Risiko auf Bahnanlagen und -betrieb SBB**

Hangmure / Rutschung spontan Hangmure / Rutschung spontan

Szenario frei	
Jährlichkeit	10 Jahre
p(rA)	1
Begründung der Wertanpassung p(rA)	
lokal; Auslaufgebiet auf Gleis	
Intensitätskarte	INT_Karten_Langnauerwald.pdf
Angaben Schienenverkehr	
p(EGl)	1
p(vSp)	0
p(FaS)	0

Szenario 30	
Jährlichkeit	30 Jahre
p(rA)	1
Begründung der Wertanpassung p(rA)	
lokal; Auslaufgebiet auf Gleis	
Intensitätskarte	INT_Karten_Langnauerwald.pdf
Angaben Schienenverkehr	
p(EGl)	1
p(vSp)	0
p(FaS)	0

Szenario 100	
Jährlichkeit	100 Jahre
p(rA)	1
Begründung der Wertanpassung p(rA)	
lokal; Auslaufgebiet auf Gleis	
Intensitätskarte	INT_Karten_Langnauerwald.pdf
Angaben Schienenverkehr	
p(EGl)	1
p(vSp)	0
p(FaS)	0

Szenario 300	
Jährlichkeit	300 Jahre
p(rA)	1
Begründung der Wertanpassung p(rA)	

lokal; Auslaufgebiet auf Gleis	
<b>Intensitätskarte</b>	INT_Karten_Langnauerwald.pdf
<b>Angaben Schienenverkehr</b>	
<b>p(EGl)</b>	1
<b>p(vSp)</b>	0
<b>p(FaS)</b>	0



29.04.19, 15:03:12

**B Langnauerwald: Wirkung Schutzwald an Reduktion Risiko auf Bahnanlagen und -betrieb SBB**

**Massnahme: Wald "Ist-Zustand"**

Beschreibung	
Schutzwaldbehandlung mit Waldzustand Ist-Zustand, vgl. Bericht	
Investitionskosten	5 000 CHF
Jährliche Unterhaltskosten	2 280 CHF/a
Jährliche Betriebskosten	0 CHF/a
Lebensdauer Massnahme	150 Jahre
Zinssatz	2%
Jährliche Kosten	2 363 CHF/a
Restwert	0 CHF



**B Langnauerwald: Wirkung Schutzwald an Reduktion Risiko auf Bahnanlagen und -betrieb SBB**

<b>11 Einspur</b>	
<b>Beschreibung</b>	
Gleis Langnauerwald	
<b>Anzahl</b>	164 m
<b>Basiswert (CHF / m)</b>	6 300 CHF
<b>Effektivwert (CHF / m)</b>	6 300 CHF
<b>Ø Personenbelegung/Zug</b>	71.06
<b>Begründung der Wertanpassung</b>	
gemaess Angaben SBB	
<b>Ø Personenzüge/Tag</b>	74.7
<b>Ø Geschwindigkeit Personenzüge km/h</b>	125
<b>Ø Zuglänge Personenzüge</b>	121.12 m
<b>Geländeverhältnisse</b>	Günstige Verhältnisse
<b>Ø Güterzüge/Tag</b>	2
<b>Geschwindigkeit Fahren auf Sicht km/h</b>	40
<b>Anzahl Durchfahrten derselben Person</b>	2 Fahrten/Tag
<b>Sachwert Personenzug</b>	5 000 000 CHF



29.04.19, 15:04:05

**B Langnauerwald: Wirkung Schutzwald an Reduktion Risiko auf Bahnanlagen und -betrieb SBB - Schadenpotenzial**[http://www.econome.admin.ch/doc/Bgs/28-1050-3663/polygon/INT\\_Karten\\_Langnauerwald.pdf](http://www.econome.admin.ch/doc/Bgs/28-1050-3663/polygon/INT_Karten_Langnauerwald.pdf)

Anzahl Objekte insgesamt	1
Anzahl Objekte mit verändertem Wert	0
Anzahl Objekte mit veränderter Belegung	1
Anzahl Objekte mit Objektschutz	1
	0
Schadenpotenzial Anzahl Personen	71.06
Schadenpotenzial Anzahl Personen (Berechnung mit Basiswerten)	0
Schadenpotenzial Personen (monetarisiert)	355 300 000
Schadenpotenzial Personen (monetarisiert) (Berechnung mit Basiswerten)	0
Schadenpotenzial Sachwerte	6 033 200
Schadenpotenzial Sachwerte (Berechnung mit Basiswerten)	6 033 200
Schadenpotenzial Gesamt	361 333 200
Schadenpotenzial Gesamt (Berechnung mit Basiswerten)	6 033 200

**Verteilung nach Nutznießern****Ohne Nutznießer - Zuweisung**

Schadenpotenzial Anzahl Personen	71.06
Schadenpotenzial Anzahl Personen (Berechnung mit Basiswerten)	0
Schadenpotenzial Personen (monetarisiert)	355 300 000
Schadenpotenzial Personen (monetarisiert) (Berechnung mit Basiswerten)	0
Schadenpotenzial Sachwerte	6 033 200
Schadenpotenzial Sachwerte (Berechnung mit Basiswerten)	6 033 200
Schadenpotenzial Gesamt	361 333 200
Schadenpotenzial Gesamt (Berechnung mit Basiswerten)	6 033 200

**Schieneverkehr****Veränderte Objekte**

11, einspur

Gleis Langnauerwald

Anzahl:	164 m
Wert	6 300
Ø Personenbelegung:	71.06

gemaess Angaben SBB

Präsenzfaktor	
Ø Geschwindigkeit in km/h:	125
Ø Fahrzeuge/Tag:	74.7
Ø Zuglänge in m:	121.12



**B Langnauerwald: Wirkung Schutzwald an Reduktion Risiko auf Bahnanlagen und -betrieb SBB**

**Vor Massnahmen**

**Hangmure / Rutschung spontan Hangmure / Rutschung spontan**

**Szenario 10**

Ident.	Objektart	Schadenausmass in CHF			Ø Todesfälle
		Personen	Sachwerte	Gesamtschaden	
11	Einspur	860 172	1 121 810	1 981 990	0.172034
<b>Summe</b>		<b>860 172</b>	<b>1 121 810</b>	<b>1 981 990</b>	<b>0.172034</b>

**Szenario 30**

Ident.	Objektart	Schadenausmass in CHF			Ø Todesfälle
		Personen	Sachwerte	Gesamtschaden	
11	Einspur	1 003 540	1 180 760	2 184 300	0.200707
<b>Summe</b>		<b>1 003 540</b>	<b>1 180 760</b>	<b>2 184 300</b>	<b>0.200707</b>

**Szenario 100**

Ident.	Objektart	Schadenausmass in CHF			Ø Todesfälle
		Personen	Sachwerte	Gesamtschaden	
11	Einspur	1 125 490	1 298 110	2 423 600	0.225098
<b>Summe</b>		<b>1 125 490</b>	<b>1 298 110</b>	<b>2 423 600</b>	<b>0.225098</b>

**Szenario 300**

Ident.	Objektart	Schadenausmass in CHF			Ø Todesfälle
		Personen	Sachwerte	Gesamtschaden	
11	Einspur	1 175 590	1 315 590	2 491 180	0.235118
<b>Summe</b>		<b>1 175 590</b>	<b>1 315 590</b>	<b>2 491 180</b>	<b>0.235118</b>

## Vor Massnahmen - Hangmure / Rutschung spontan Hangmure / Rutschung spontan - Übersicht über alle Szenarien

	Schadenausmass nach Szenarien				Komplementär-kumulatives Risiko/Jahr
Kategorie	Szenario 10 Personen / Sachwerte Gesamtschaden	Szenario 30 Personen / Sachwerte Gesamtschaden	Szenario 100 Personen / Sachwerte Gesamtschaden	Szenario 300 Personen / Sachwerte Gesamtschaden	Risiko in CHF/a Personen / Sachwerte Gesamtschaden
Gebäude	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>
Sonderobjekte	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>
Strassenverkehr	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>
Leitungen	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>
Mechanische Aufstiegshilfe	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>
Landwirtschaft, Wald und Grünanlagen	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>
Schieneverkehr	860 172 CHF / 1 121 810 CHF <b>1 981 982 CHF</b>	1 003 540 CHF / 1 180 760 CHF <b>2 184 300 CHF</b>	1 125 490 CHF / 1 298 110 CHF <b>2 423 600 CHF</b>	1 175 590 CHF / 1 315 590 CHF <b>2 491 180 CHF</b>	92 183 CHF / 115 378 CHF <b>207 560 CHF</b>
Sonderobjekte Schienenverkehr	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>
<b>Personen</b>	0.17203 Tf	0.20071 Tf	0.2251 Tf	0.23512 Tf	0.01844 Tf
<b>Personen (monetarisiert)</b>	860 172 CHF	1 003 540 CHF	1 125 490 CHF	1 175 590 CHF	92 183 CHF
<b>Sachwerte</b>	1 121 810 CHF	1 180 760 CHF	1 298 110 CHF	1 315 590 CHF	115 378 CHF
<b>Summe</b>	1 981 982 CHF	2 184 300 CHF	2 423 600 CHF	2 491 180 CHF	207 560 CHF

**Vor Massnahmen - Hangmure / Rutschung spontan Hangmure / Rutschung spontan - Individuelles Todesfallrisiko**

Ident.	Objektart	Präsenzrisiko	Präsenzfaktor kann maxima	Szenario 10	Szenario 30	Szenario 100	Szenario 300	Individuelles Todesfallrisiko
11	einspur		2	4.485640e-4	1.741963e-4	5.829830e-5	2.029783e-5	4.801430e-4

**Nach Massnahme Wald "Ist-Zustand"****Hangmure / Rutschung spontan Hangmure / Rutschung spontan****Szenario 10**

Ident.	Objektart	Schadenausmass in CHF			Ø Todesfälle
		Personen	Sachwerte	Gesamtschaden	
11	Einspur	187 152	699 744	886 896	0.0374305
<b>Summe</b>		<b>187 152</b>	<b>699 744</b>	<b>886 896</b>	<b>0.0374305</b>

**Szenario 30**

Ident.	Objektart	Schadenausmass in CHF			Ø Todesfälle
		Personen	Sachwerte	Gesamtschaden	
11	Einspur	337 602	730 217	1 067 820	0.0675205
<b>Summe</b>		<b>337 602</b>	<b>730 217</b>	<b>1 067 820</b>	<b>0.0675205</b>

**Szenario 100**

Ident.	Objektart	Schadenausmass in CHF			Ø Todesfälle
		Personen	Sachwerte	Gesamtschaden	
11	Einspur	407 267	766 909	1 174 180	0.0814534
<b>Summe</b>		<b>407 267</b>	<b>766 909</b>	<b>1 174 180</b>	<b>0.0814534</b>

**Szenario 300**

Ident.	Objektart	Schadenausmass in CHF			Ø Todesfälle
		Personen	Sachwerte	Gesamtschaden	
11	Einspur	667 911	836 864	1 504 770	0.133582
<b>Summe</b>		<b>667 911</b>	<b>836 864</b>	<b>1 504 770</b>	<b>0.133582</b>

## Wald "Ist-Zustand" - Hangmure / Rutschung spontan Hangmure / Rutschung spontan - Übersicht über alle Szenarien

	Schadenausmass nach Szenarien				Komplementär-kumulatives Risiko/Jahr
Kategorie	Szenario 10 Personen / Sachwerte Gesamtschaden	Szenario 30 Personen / Sachwerte Gesamtschaden	Szenario 100 Personen / Sachwerte Gesamtschaden	Szenario 300 Personen / Sachwerte Gesamtschaden	Risiko in CHF/a Personen / Sachwerte Gesamtschaden
Gebäude	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>
Sonderobjekte	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>
Strassenverkehr	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>
Leitungen	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>
Mechanische Aufstiegshilfe	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>
Landwirtschaft, Wald und Grünanlagen	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>
Schieneverkehr	187 152 CHF / 699 744 CHF <b>886 896 CHF</b>	337 602 CHF / 730 217 CHF <b>1 067 819 CHF</b>	407 267 CHF / 766 909 CHF <b>1 174 176 CHF</b>	667 911 CHF / 836 864 CHF <b>1 504 775 CHF</b>	25 296 CHF / 71 590 CHF <b>96 886 CHF</b>
Sonderobjekte Schienenverkehr	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>
<b>Personen</b>	0.03743 Tf	0.06752 Tf	0.08145 Tf	0.13358 Tf	0.00506 Tf
<b>Personen (monetarisiert)</b>	187 152 CHF	337 602 CHF	407 267 CHF	667 911 CHF	25 296 CHF
<b>Sachwerte</b>	699 744 CHF	730 217 CHF	766 909 CHF	836 864 CHF	71 590 CHF
<b>Summe</b>	886 896 CHF	1 067 819 CHF	1 174 176 CHF	1 504 775 CHF	96 886 CHF

**Wald "Ist-Zustand" - Hangmure / Rutschung spontan Hangmure / Rutschung spontan - Individuelles Todesfallrisiko**

Ident.	Objektart	Präsenzrisikofaktor kann maxima	Szenario 10	Szenario 30	Szenario 100	Szenario 300	Individuelles Todesfallrisiko	
11	einspur		2	1.037100e-4	6.222800e-5	2.247190e-5	1.222290e-5	1.399040e-4

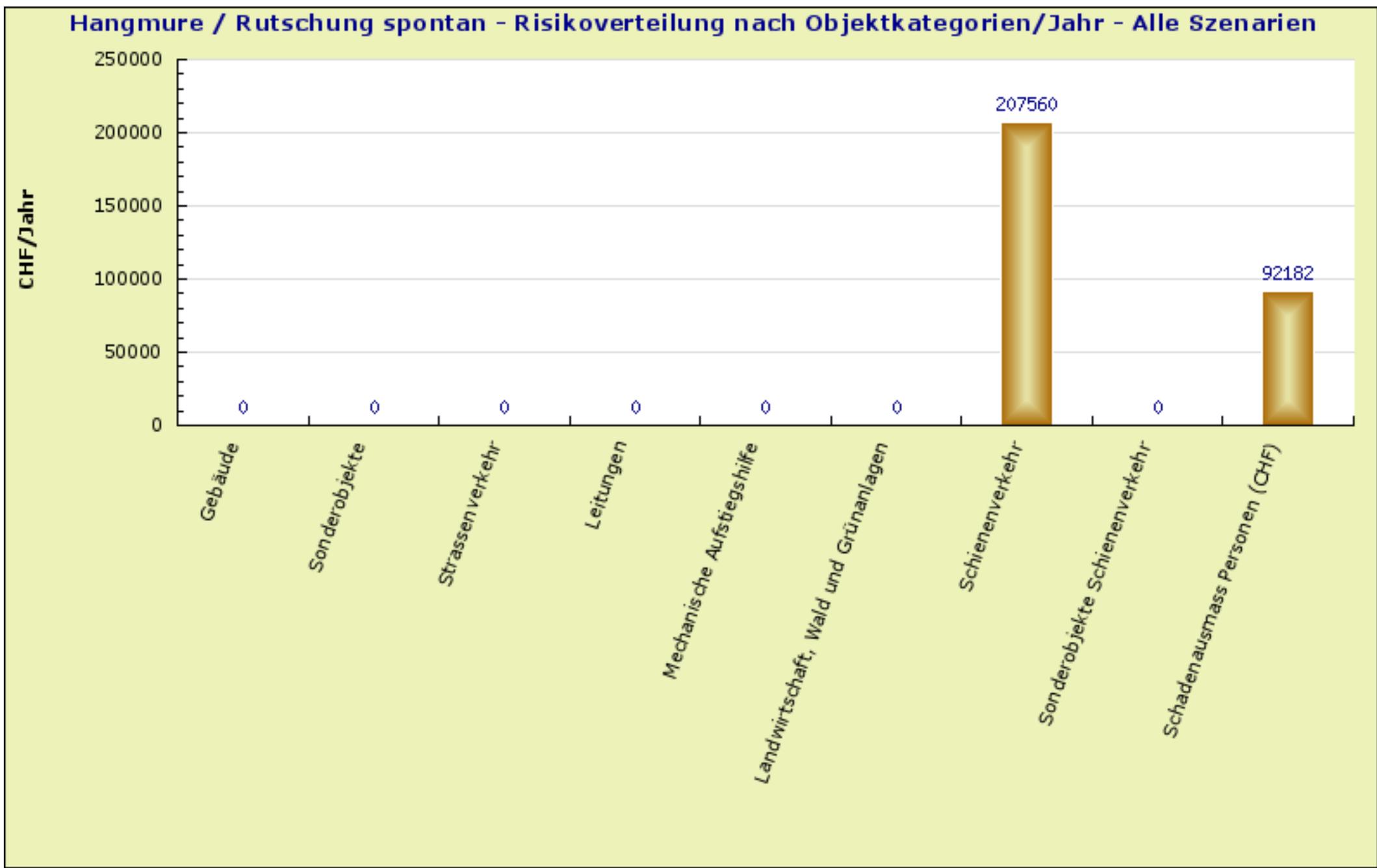


29.04.19, 15:04:20

**B Langnauerwald: Wirkung Schutzwald an Reduktion Risiko auf Bahnanlagen und -betrieb SBB - Konsequenzenanalyse****Hangmure / Rutschung spontan Hangmure / Rutschung spontan****Zusammenstellung Schadenausmass ohne Aversion**

Kategorie	Schadenausmass nach Szenarien				Komplementär-kumulatives Risiko/Jahr Risiko in CHF/a Personen / Sachwerte Gesamtschaden
	Szenario 10 Personen / Sachwerte Gesamtschaden	Szenario 30 Personen / Sachwerte Gesamtschaden	Szenario 100 Personen / Sachwerte Gesamtschaden	Szenario 300 Personen / Sachwerte Gesamtschaden	
Gebäude	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>
Sonderobjekte	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>
Strassenverkehr	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>
Leitungen	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>
Mechanische Aufstiegshilfe	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>
Landwirtschaft, Wald und Grünanlagen	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>
Schieneverkehr	860 172 CHF / 1 121 810 CHF <b>1 981 982 CHF</b>	1 003 540 CHF / 1 180 760 CHF <b>2 184 300 CHF</b>	1 125 490 CHF / 1 298 110 CHF <b>2 423 600 CHF</b>	1 175 590 CHF / 1 315 590 CHF <b>2 491 180 CHF</b>	92 183 CHF / 115 378 CHF <b>207 560 CHF</b>
Sonderobjekte Schieneverkehr	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>
<b>Personen</b>	0.17203 Tf	0.20071 Tf	0.2251 Tf	0.23512 Tf	0.01844 Tf
<b>Personen (monetarisiert)</b>	860 172 CHF	1 003 540 CHF	1 125 490 CHF	1 175 590 CHF	92 183 CHF
<b>Sachwerte</b>	1 121 810 CHF	1 180 760 CHF	1 298 110 CHF	1 315 590 CHF	115 378 CHF
<b>Summe</b>	1 981 982 CHF	2 184 300 CHF	2 423 600 CHF	2 491 180 CHF	207 560 CHF

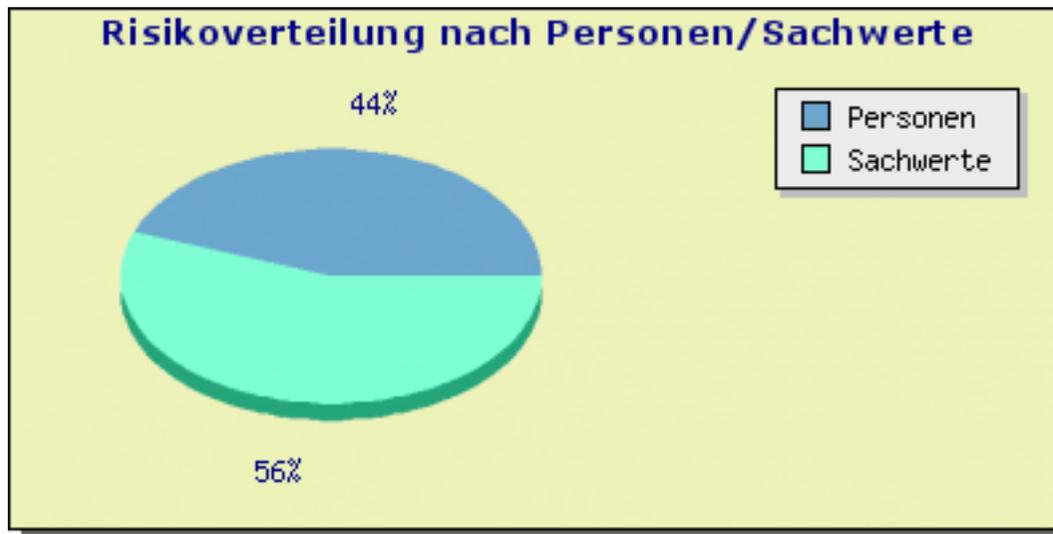
## Hangmure / Rutschung spontan Hangmure / Rutschung spontan - Risikoverteilung nach Objektkategorien - Alle Szenarien



## Hangmure / Rutschung spontan Hangmure / Rutschung spontan - Risikoverteilung nach Szenarien



## Hangmure / Rutschung spontan Hangmure / Rutschung spontan - Risikoverteilung nach Personen/Sachwerte





29.04.19, 15:04:32

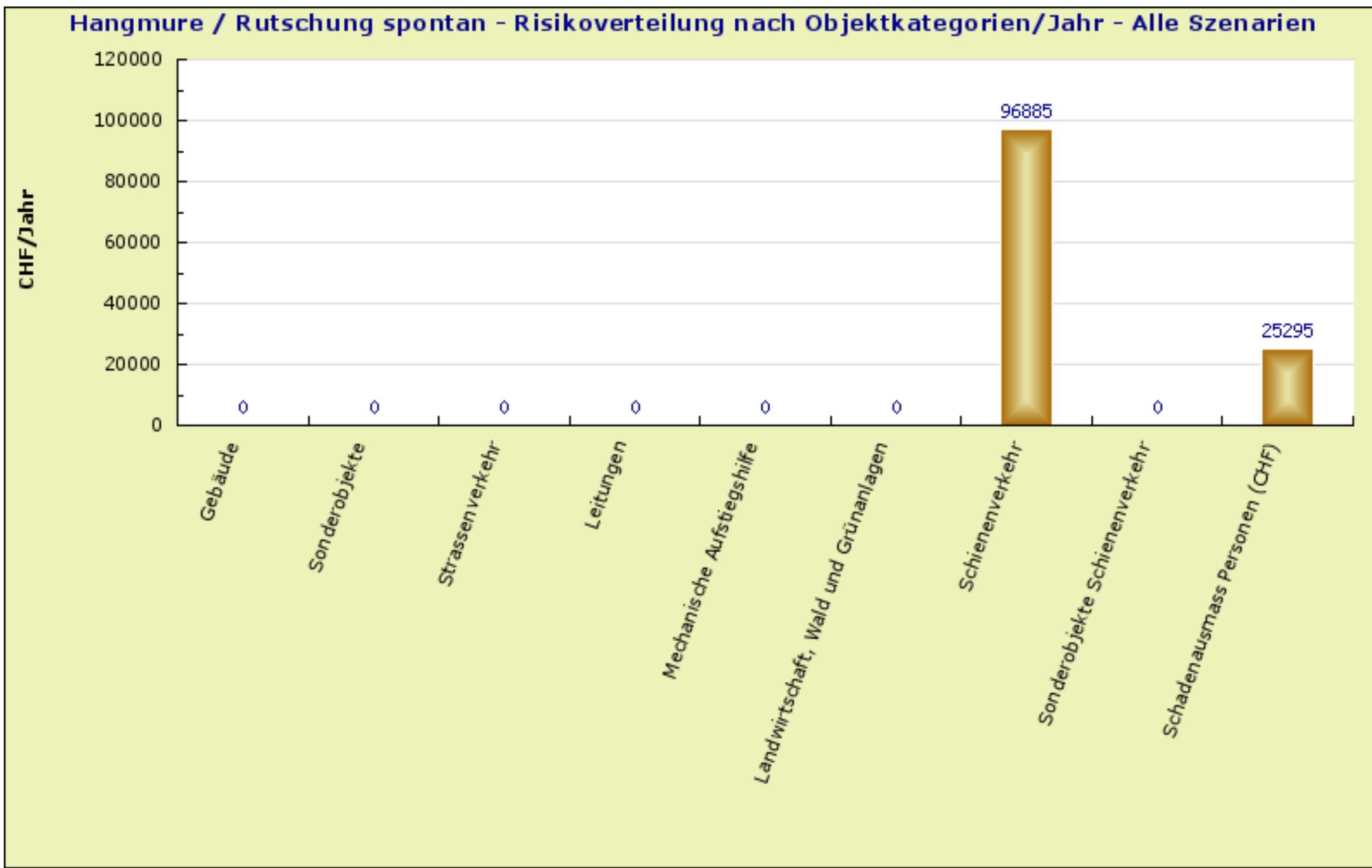
**B Langnauerwald: Wirkung Schutzwald an Reduktion Risiko auf Bahnanlagen und -betrieb SBB - Konsequenzenanalyse nach Massnahme Wald "Ist-Zustand"**

**Hangmure / Rutschung spontan Hangmure / Rutschung spontan**

**Zusammenstellung Schadenausmass ohne Aversion**

Kategorie	Schadenausmass nach Szenarien				Komplementär-kumulatives Risiko/Jahr
	Szenario 10 Personen / Sachwerte Gesamtschaden	Szenario 30 Personen / Sachwerte Gesamtschaden	Szenario 100 Personen / Sachwerte Gesamtschaden	Szenario 300 Personen / Sachwerte Gesamtschaden	Risiko in CHF/a Personen / Sachwerte Gesamtschaden
Gebäude	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>
Sonderobjekte	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>
Strassenverkehr	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>
Leitungen	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>
Mechanische Aufstiegshilfe	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>
Landwirtschaft, Wald und Grünanlagen	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>
Schieneverkehr	187 152 CHF / 699 744 CHF <b>886 896 CHF</b>	337 602 CHF / 730 217 CHF <b>1 067 819 CHF</b>	407 267 CHF / 766 909 CHF <b>1 174 176 CHF</b>	667 911 CHF / 836 864 CHF <b>1 504 775 CHF</b>	25 296 CHF / 71 590 CHF <b>96 886 CHF</b>
Sonderobjekte Schieneverkehr	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>
<b>Personen</b>	0.03743 Tf	0.06752 Tf	0.08145 Tf	0.13358 Tf	0.00506 Tf
<b>Personen (monetarisiert)</b>	187 152 CHF	337 602 CHF	407 267 CHF	667 911 CHF	25 296 CHF
<b>Sachwerte</b>	699 744 CHF	730 217 CHF	766 909 CHF	836 864 CHF	71 590 CHF
<b>Summe</b>	886 896 CHF	1 067 819 CHF	1 174 176 CHF	1 504 775 CHF	96 886 CHF

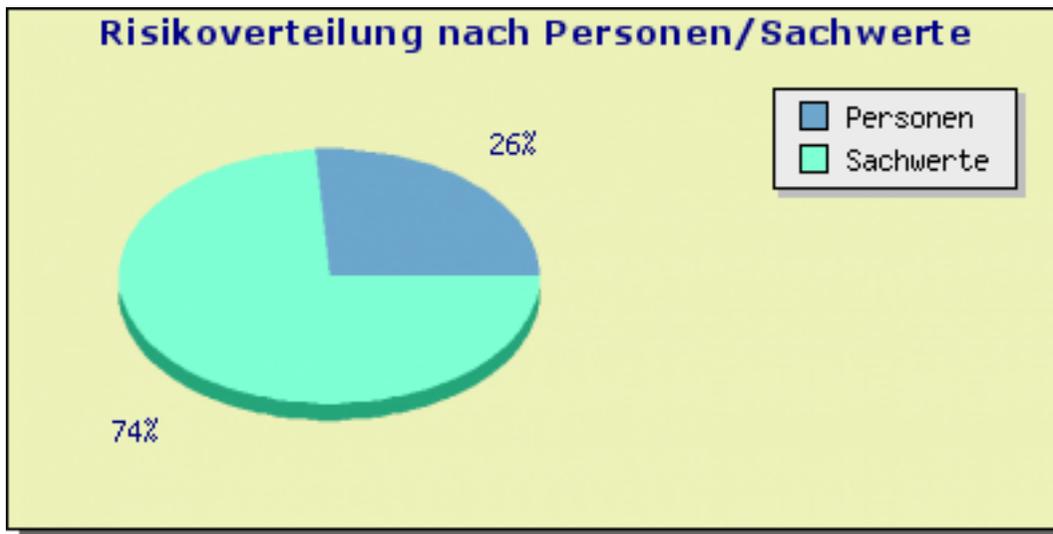
## Hangmure / Rutschung spontan Hangmure / Rutschung spontan - Risikoverteilung nach Objektkategorien - Alle Szenarien



Hangmure / Rutschung spontan Hangmure / Rutschung spontan - Risikoverteilung nach Szenarien



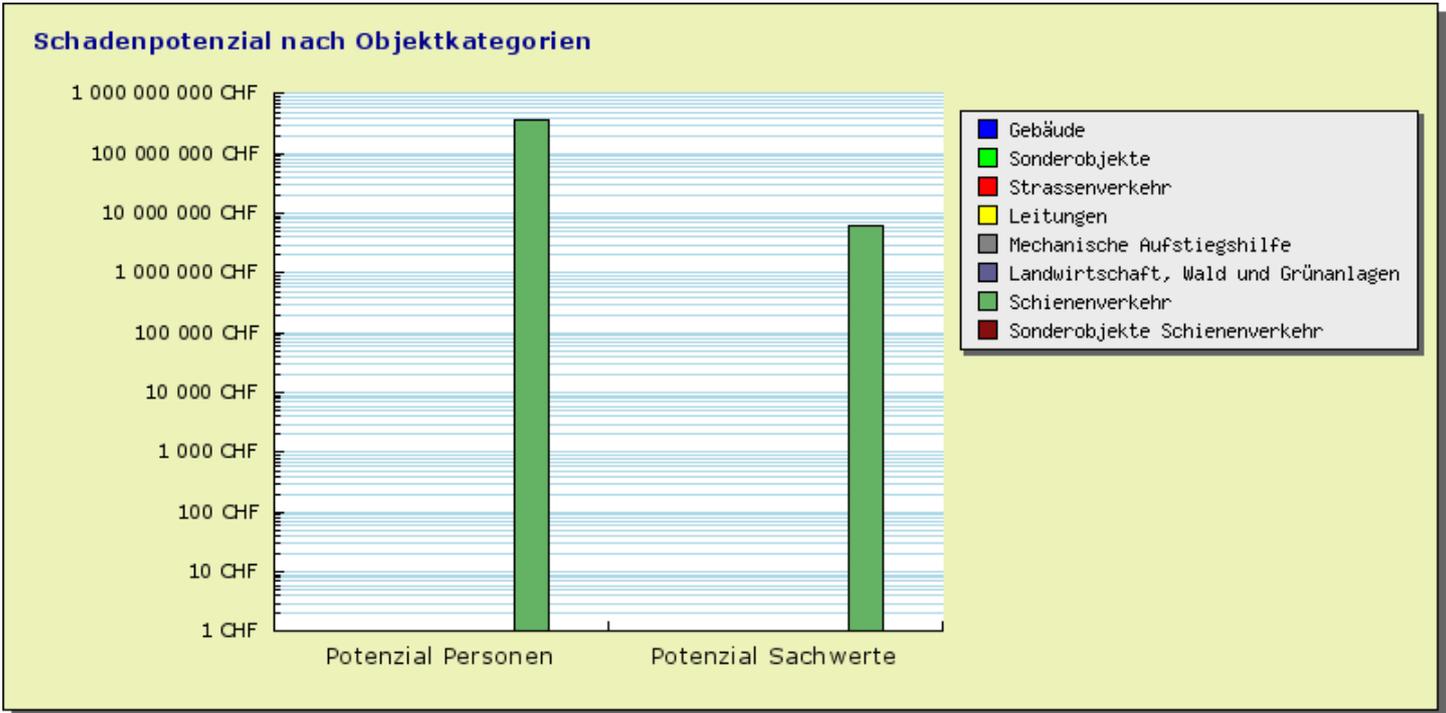
Hangmure / Rutschung spontan Hangmure / Rutschung spontan - Risikoverteilung nach Personen/Sachwerte



**B Langnauerwald: Wirkung Schutzwald an Reduktion Risiko auf Bahnanlagen und -betrieb SBB**

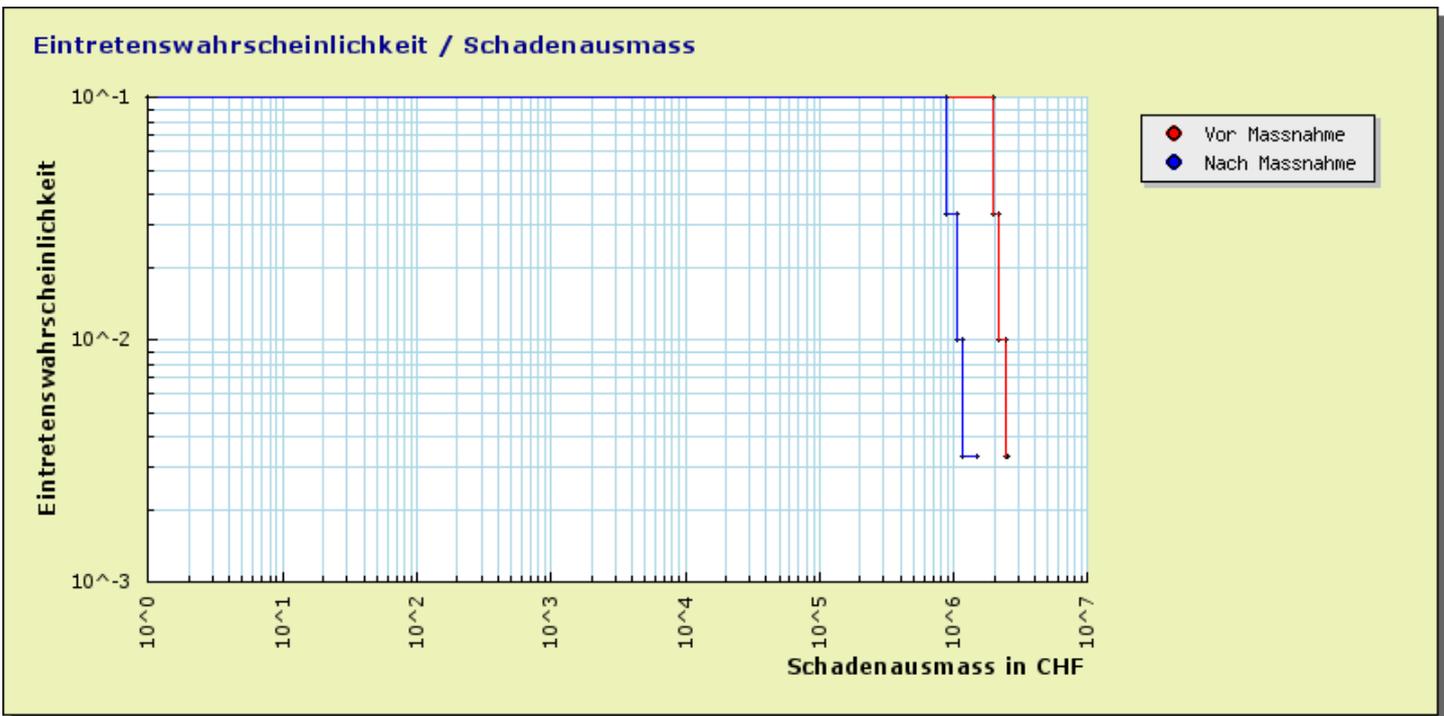
**Übersicht Schadenpotenzial**

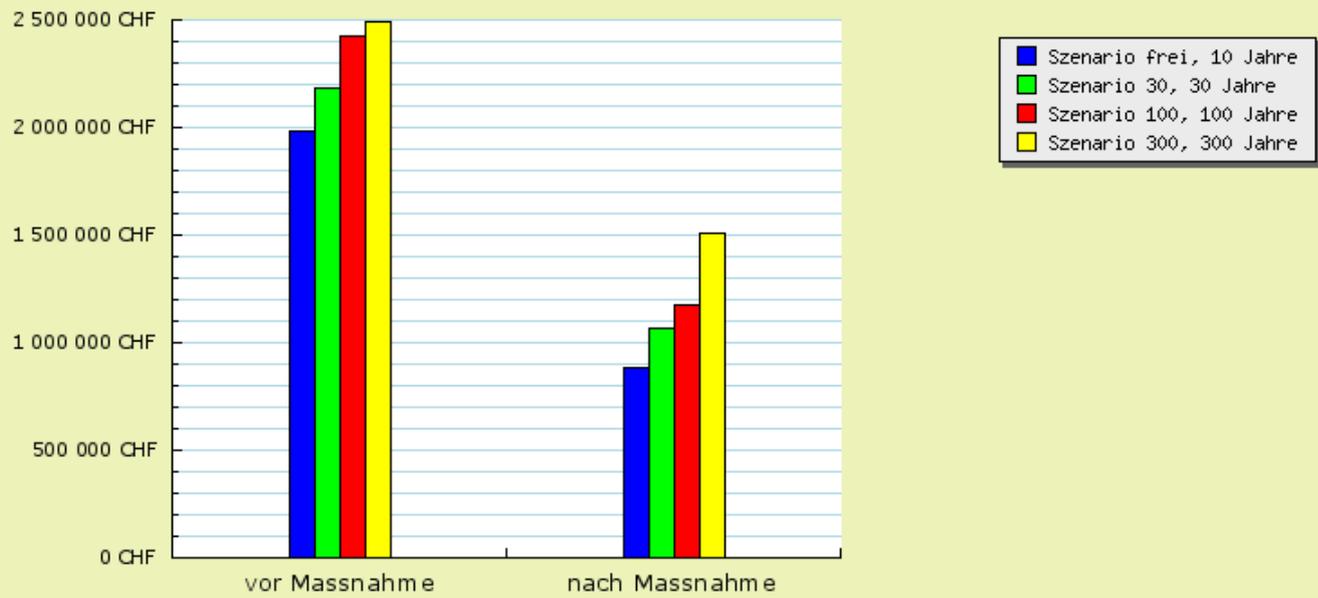
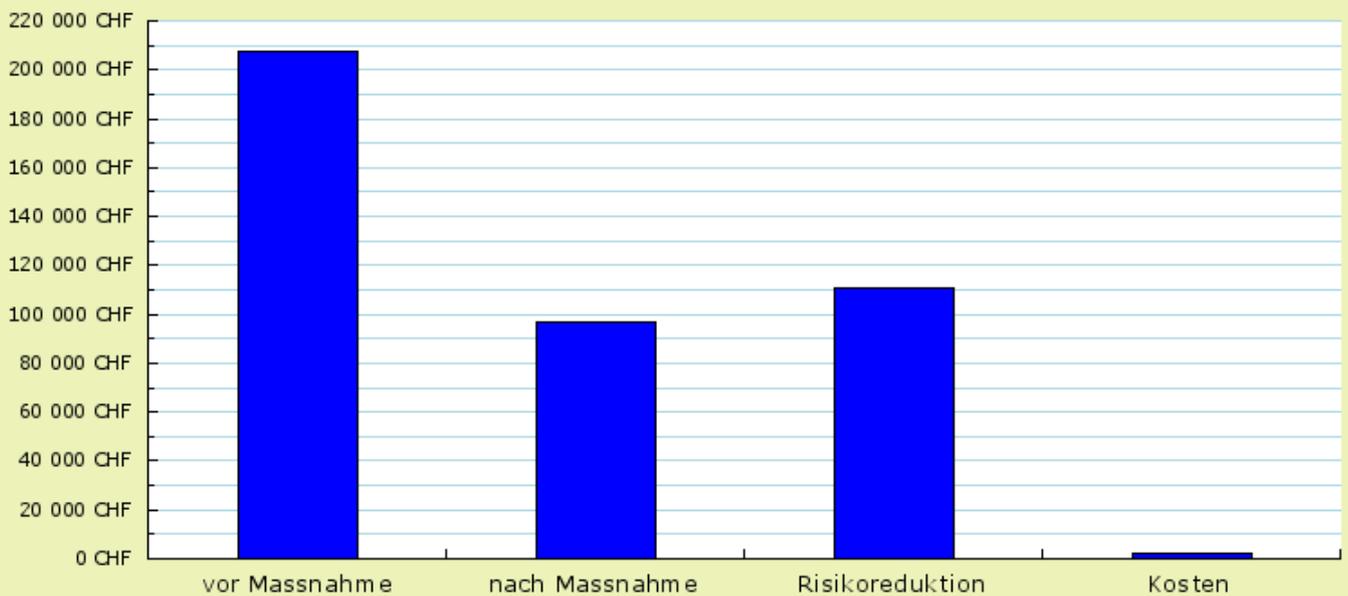
Schadenpotenzial Anzahl Personen	71.06
Schadenpotenzial Personen (monetarisiert)	355 300 000 CHF
Schadenpotenzial Sachwerte	6 033 200 CHF
<b>Schadenpotenzial Gesamt</b>	<b>361 333 200 CHF</b>

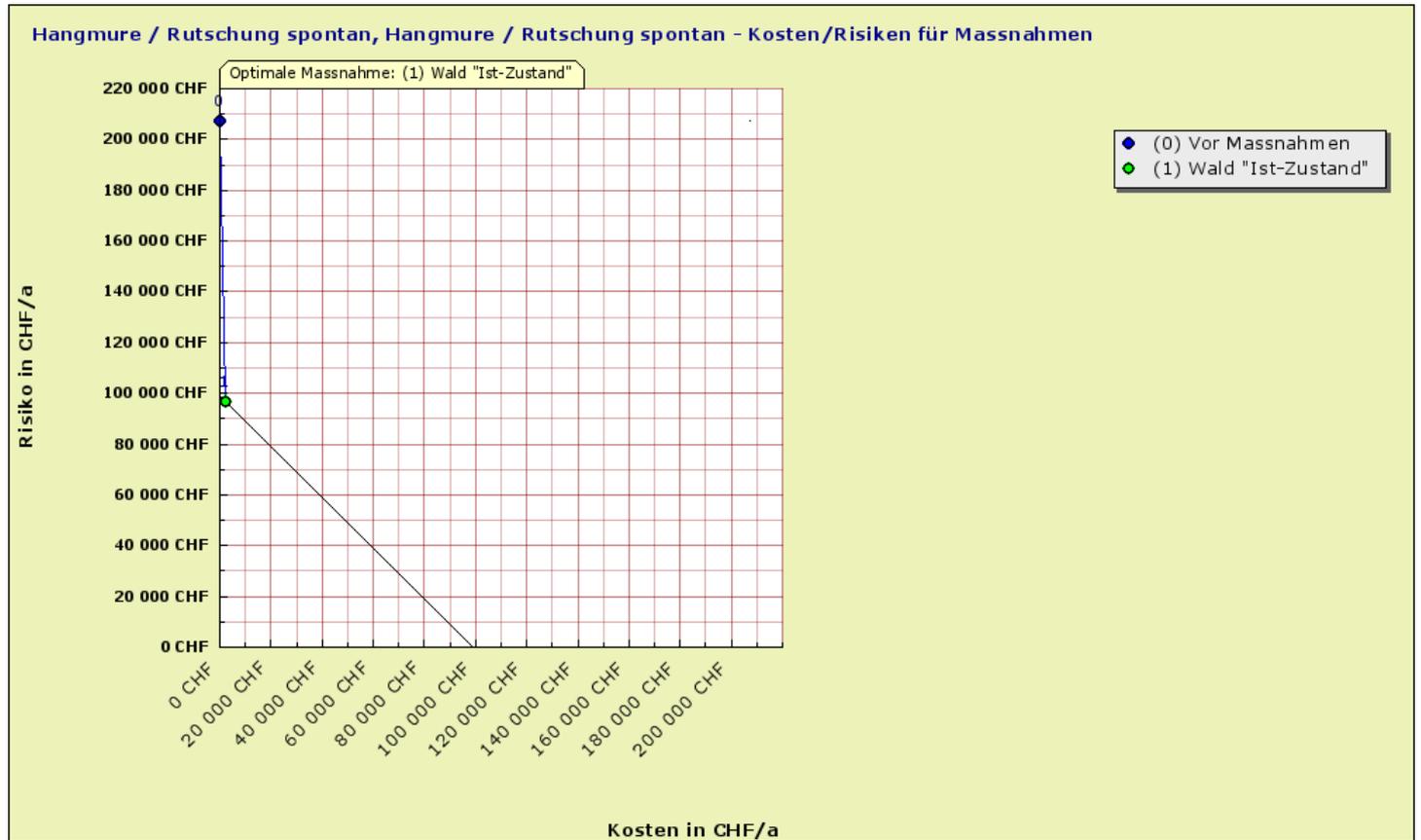


**Hangmure / Rutschung spontan - Hangmure / Rutschung spontan**

Risiken und Kosten der Massnahme Wald "Ist-Zustand"			
	Vor Massnahme	Nach Massnahme	Risikoreduktion (Nutzen) CHF/a
Risikobeitrag Szenario frei (10 Jahre, 0.0667)	132 133	59 126	73 006
Risikobeitrag Szenario 30 (30 Jahre, 0.0233)	50 967	24 916	26 051
Risikobeitrag Szenario 100 (100 Jahre, 0.0067)	16 157	7 828	8 329
Risikobeitrag Szenario 300 (300 Jahre, 0.0033)	8 304	5 016	3 288
<b>Gesamtrisiko</b>	<b>207 561</b>	<b>96 886</b>	<b>110 675</b>
	Investitionskosten		5 000 CHF
	Jährliche Unterhaltskosten		2 280 CHF/a
	Jährliche Betriebskosten		0 CHF/a
	<b>Massnahmekosten pro Jahr</b>		<b>2 363 CHF/a</b>
	<b>Nutzen/Kosten Verhältnis</b>		<b>46,8 CHF/a</b>



**Schadenausmass nach Szenarien (vor und nach Massnahme)****Risiken, Risikoreduktion und Kosten in CHF/Jahr**





29.04.19, 15:04:42

**B Langnauerwald: Wirkung Schutzwald an Reduktion Risiko auf Bahnanlagen und -betrieb SBB - Individuelles T**

**Hangmure / Rutschung spontan Hangmure / Rutschung spontan**

**Individuelles Risiko (Anzahl betroffener Objekte)**

Vor Massnahme	1	0	0
Nach Massnahme Wald "Ist-Zustand"	1	0	0

**Vor Massnahme**

11	Einspur	0.000480143
----	---------	-------------

**Nach Massnahme Wald "Ist-Zustand"**

11	Einspur	0.000139904
----	---------	-------------

# Resultate EconoMe: Schächliwald

## Übersicht

- Zusammenfassung
- Gefahrenanalyse
- Massnahmendefinition
- Schadenpotenzial
- Schadenpotenzial im Perimeter
- Konsequenzenanalyse (Zusammenfassung)
- Konsequenzenanalyse (vor Massnahme)
- Konsequenzenanalyse (nach Massnahme)
- Risiken, Kosten und Nutzen/Kosten-Faktor
- Individuelles Todesfallrisiko



29.04.19, 16:11:23

## C Schächliwald: Wirkung Schutzwald an Reduktion Risiko auf Bahnanlagen und -betrieb SBB

<b>Laufzeit</b>	10.10.2018 -
<b>Organisation</b>	BFH-HAFL
<b>Gemeinde:</b>	Entlebuch / Schächliwald
<b>Gebiet:</b>	Entlebuch - Schächliwald

### Beteiligte Personen

#### Hofstetter, Florian - Administrator Kanton

SBB Natur und Naturrisiken  
+41 79 829 37 60  
florian.hofstetter@sbb.ch

#### Kühne, Kathrin - Projektleiter

BFH-HAFL  
0319102247  
kathrin.kuehne@bfh.ch

#### Anprechpartner Kanton Bahngesellschaften

Kantonsverantwortlicher

#### Anprechpartner Gemeinde

Gemeindeverantwortlicher

### Projektfortschritt

29.04.19, 15:50	Projektgrundlagen	Kathrin Kühne
29.04.19, 15:50	Systembeschreibung	Kathrin Kühne
29.04.19, 15:51	Gefahrenanalyse	Kathrin Kühne
29.04.19, 16:04	Massnahmendefinition	Kathrin Kühne
29.04.19, 16:05	Schadenpotenzial	Kathrin Kühne
29.04.19, 16:08	Konsequenzenanalyse	Kathrin Kühne
29.04.19, 16:09	Kostenwirksamkeit	Kathrin Kühne

### Gefahrenprozesse

#### Hangmure / Rutschung spontan Hangmure / Rutschung spontang

##### Szenario frei, 10 Jahre

Datei [http://www.econome.admin.ch/doc/Bgs/28-1050-3662/maps/INT\\_Karten\\_Schaechliwald.pdf](http://www.econome.admin.ch/doc/Bgs/28-1050-3662/maps/INT_Karten_Schaechliwald.pdf)

Räumliche Auftretenswahrscheinlichkeit 1

lokal; Auslaufgebiet auf Gleis

##### Szenario 30, 30 Jahre

Datei [http://www.econome.admin.ch/doc/Bgs/28-1050-3662/maps/INT\\_Karten\\_Schaechliwald.pdf](http://www.econome.admin.ch/doc/Bgs/28-1050-3662/maps/INT_Karten_Schaechliwald.pdf)

Räumliche Auftretenswahrscheinlichkeit 1

lokal; Auslaufgebiet auf Gleis

##### Szenario 100, 100 Jahre

Datei [http://www.econome.admin.ch/doc/Bgs/28-1050-3662/maps/INT\\_Karten\\_Schaechliwald.pdf](http://www.econome.admin.ch/doc/Bgs/28-1050-3662/maps/INT_Karten_Schaechliwald.pdf)

Räumliche Auftretenswahrscheinlichkeit 1

lokal; Auslaufgebiet auf Gleis

**Szenario 300, 300 Jahre**Datei [http://www.econome.admin.ch/doc/Bgs/28-1050-3662/maps/INT\\_Karten\\_Schaechliwald.pdf](http://www.econome.admin.ch/doc/Bgs/28-1050-3662/maps/INT_Karten_Schaechliwald.pdf)

Räumliche Auftretenswahrscheinlichkeit 1

lokal; Auslaufgebiet auf Gleis

**Massnahmendefinition****Massnahme: Wald "Ist-Zustand"**

Schutzwaldbehandlung mit Waldzustand Ist-Zustand, vgl. Bericht

Investitionskosten	0 CHF
Jährliche Unterhaltskosten	2 580 CHF/a
Jährliche Betriebskosten	0 CHF/a
Lebensdauer Massnahme	150 Jahre
Jährliche Kosten	2 580 CHF/a

**Ergebnisübersicht****Übersicht Schadenpotenzial**

Schadenpotenzial Anzahl Personen	44.37
Schadenpotenzial Personen (monetarisiert)	221 850 000
Schadenpotenzial Sachwerte	6 524 600
Schadenpotenzial Gesamt	228 374 600

**Hangmure / Rutschung spontan Hangmure / Rutschung spontang**

Risiko vor Massnahmen	76 115 CHF/a
Risiko vor Massnahmen (Berechnung mit Basiswerten)	76 115 CHF/a
Nach Massnahme Wald "Ist-Zustand"	19 935 CHF/a
Nach Massnahme Wald "Ist-Zustand" (Berechnung mit Basiswerten)	19 935 CHF/a

**Risikoreduktion (Nutzen) CHF/a**

Wald "Ist-Zustand"	56 180 CHF/a
Wald "Ist-Zustand" (Berechnung mit Basiswerten)	56 180 CHF/a

**Massnahmekosten CHF/a**

Wald "Ist-Zustand"	2 580 CHF/a
--------------------	-------------

**Verteilung nach Nutznießern****Ohne Nutznießer - Zuweisung**

Wald "Ist-Zustand"	2 580 CHF/a (100%)
--------------------	--------------------

**Nutzen/Kosten - Verhältnis**

Wald "Ist-Zustand"	21.8
Wald "Ist-Zustand" (Berechnung mit Basiswerten)	21.8

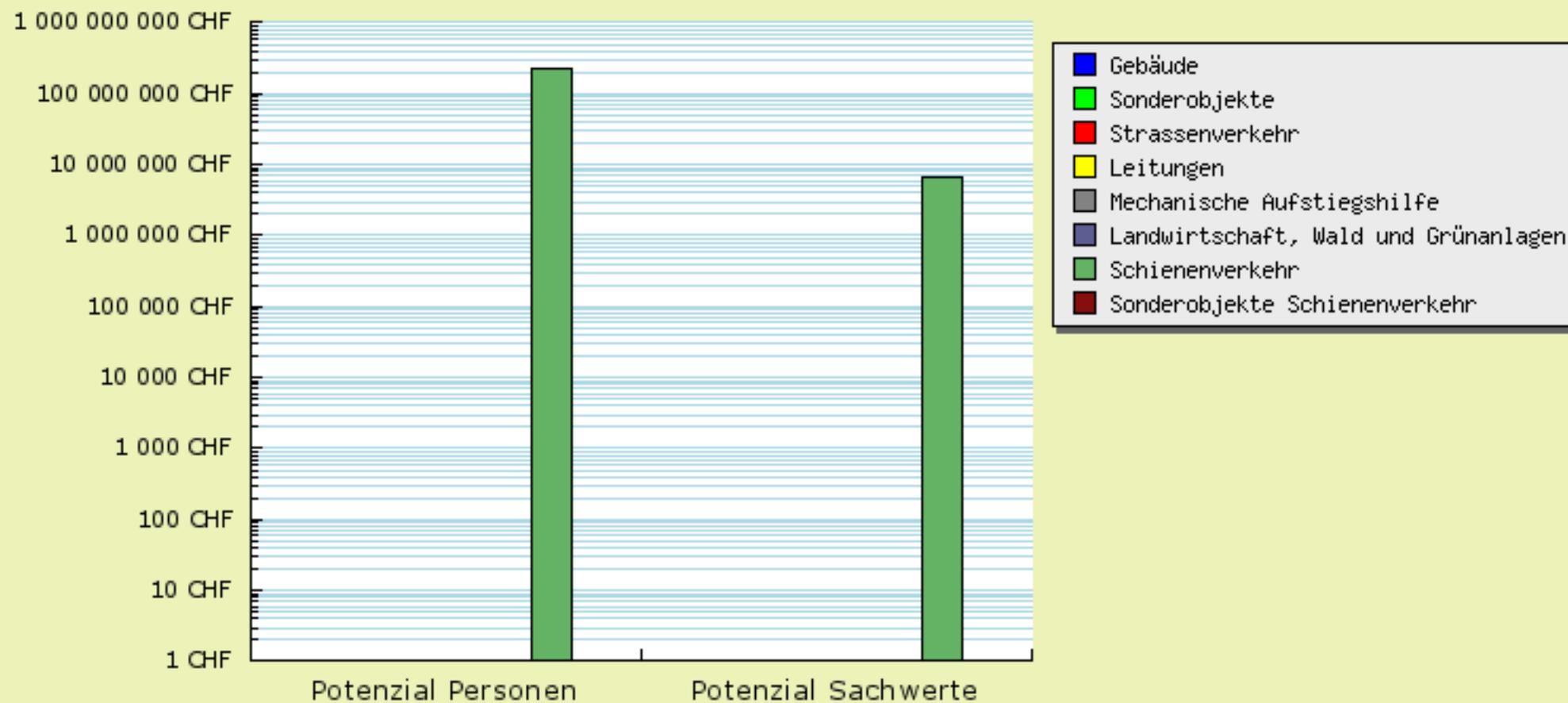
**Individuelles Risiko (Anzahl betroffener Objekte)**

Vor Massnahme	1	0	0
---------------	---	---	---

Nach Massnahme Wald "Ist-Zustand"	1	0	0
-----------------------------------	---	---	---

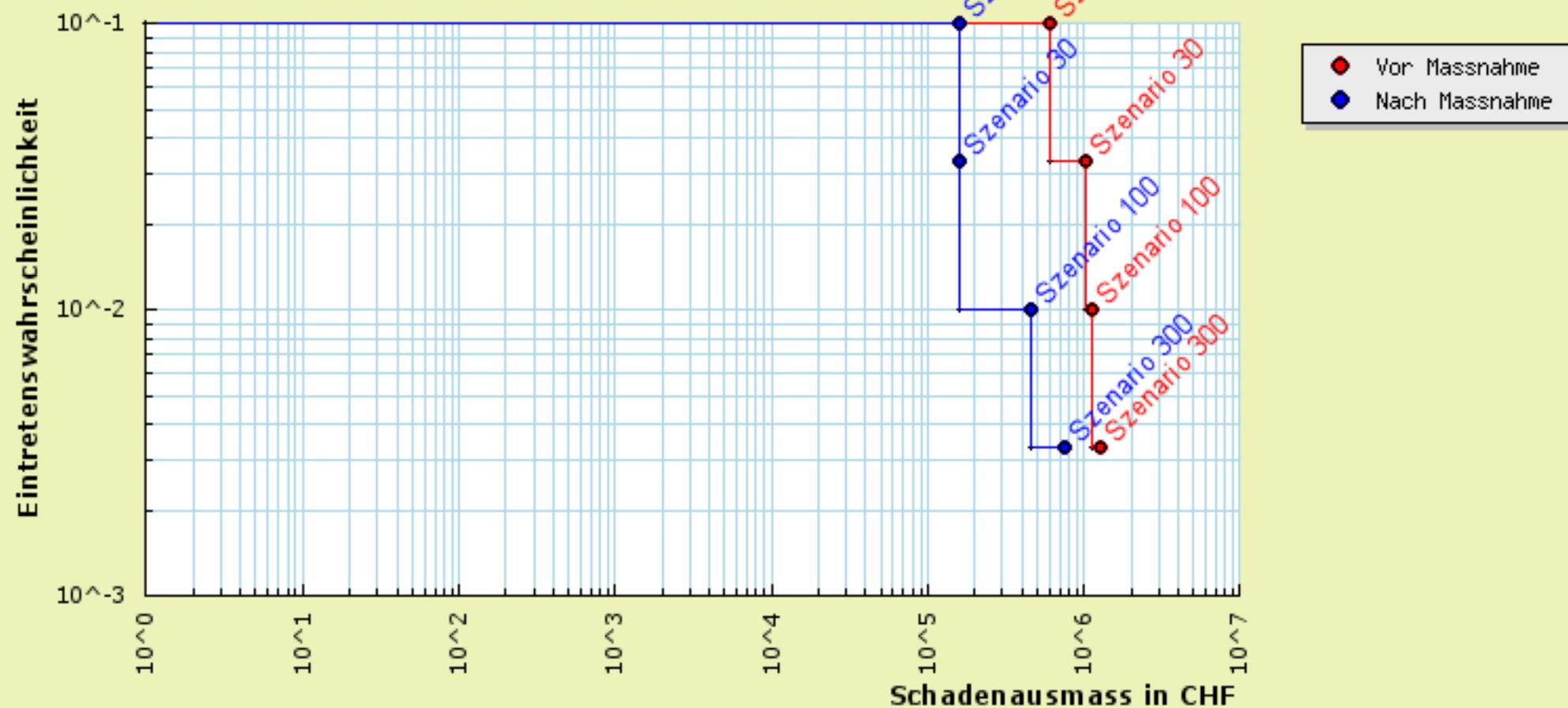
## Schadenpotenzial nach Objektkategorien

## Schadenpotenzial nach Objektkategorien



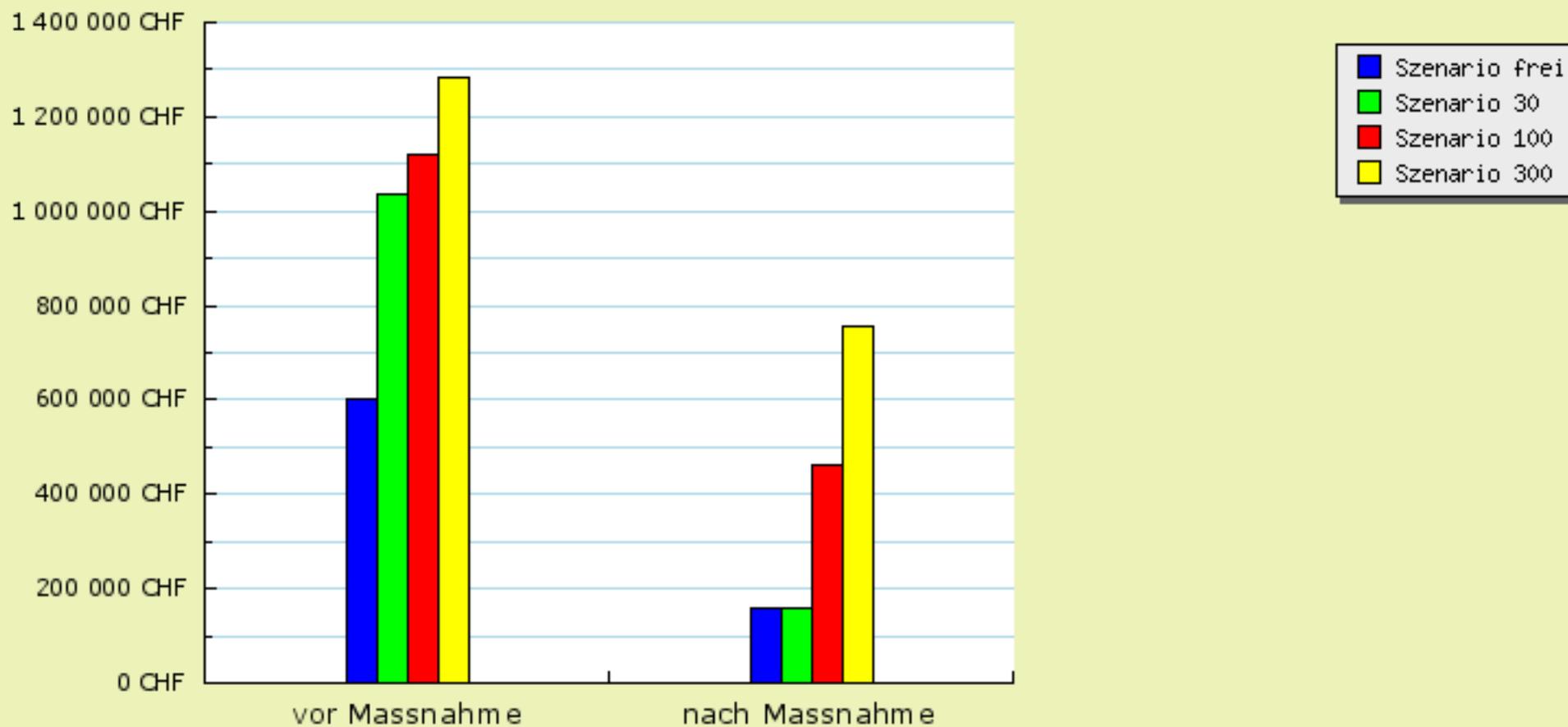
## Hangmure / Rutschung spontan, Hangmure / Rutschung spontang, Wald "Ist-Zustand" - Eintretenswahrscheinlichkeit / Schadenausmass

## Eintretenswahrscheinlichkeit / Schadenausmass



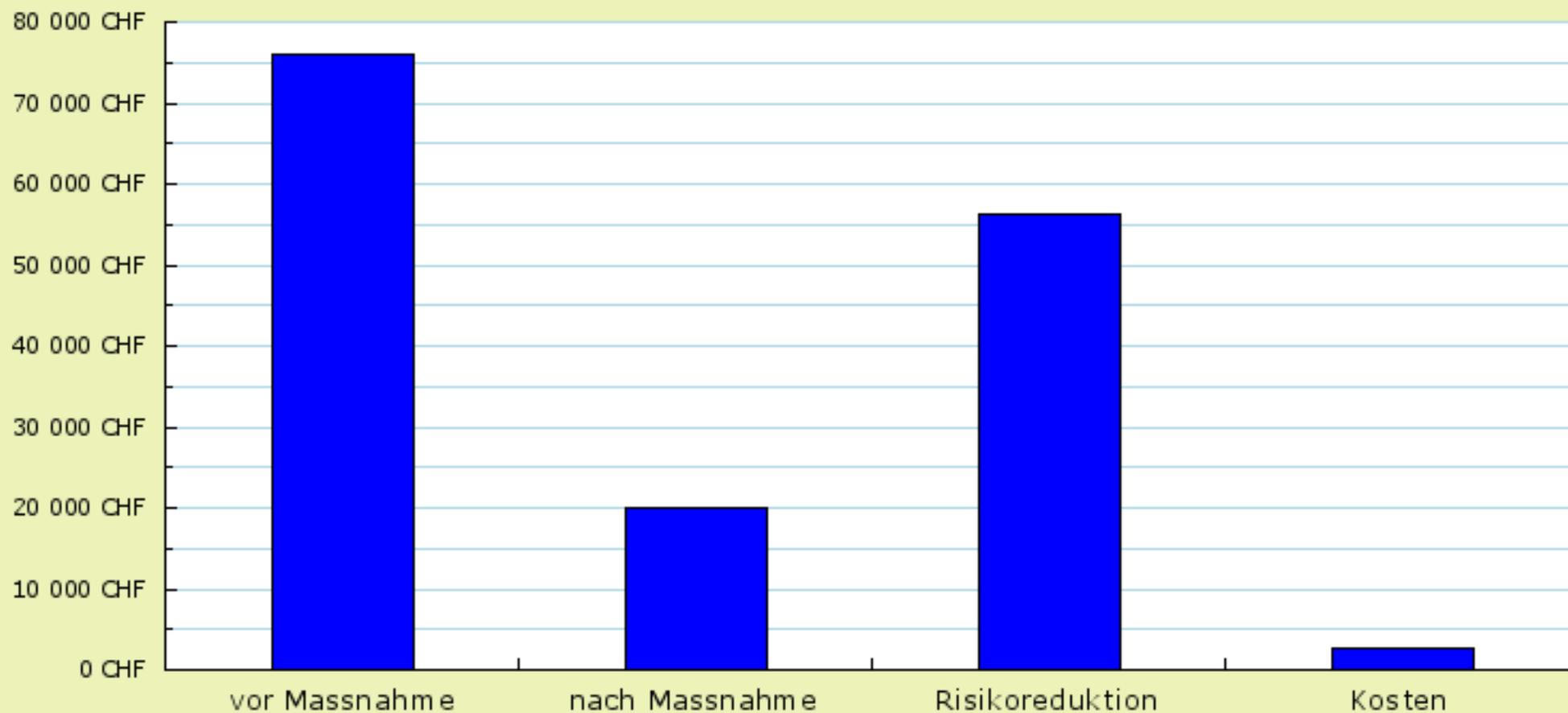
## Hangmure / Rutschung spontan, Hangmure / Rutschung spontang, Wald "Ist-Zustand" - Schadenausmass nach Szenarien

## Schadenausmass nach Szenarien (vor und nach Massnahme)



## Hangmure / Rutschung spontan, Hangmure / Rutschung spontang, Wald "Ist-Zustand" - Risiken, Risikoreduktion und Kosten in CHF/Jahr

## Risiken, Risikoreduktion und Kosten in CHF/Jahr





C Schächliwald: Wirkung Schutzwald an Reduktion Risiko auf Bahnanlagen und -betrieb SBB

Hangmure / Rutschung spontan Hangmure / Rutschung spontang

Szenario frei	
Jährlichkeit	10 Jahre
p(rA)	1
Begründung der Wertanpassung p(rA)	
lokal; Auslaufgebiet auf Gleis	
Intensitätskarte	INT_Karten_Schaechliwald.pdf
Angaben Schienenverkehr	
p(EGl)	1
p(vSp)	0
p(FaS)	0

Szenario 30	
Jährlichkeit	30 Jahre
p(rA)	1
Begründung der Wertanpassung p(rA)	
lokal; Auslaufgebiet auf Gleis	
Intensitätskarte	INT_Karten_Schaechliwald.pdf
Angaben Schienenverkehr	
p(EGl)	1
p(vSp)	0
p(FaS)	0

Szenario 100	
Jährlichkeit	100 Jahre
p(rA)	1
Begründung der Wertanpassung p(rA)	
lokal; Auslaufgebiet auf Gleis	
Intensitätskarte	INT_Karten_Schaechliwald.pdf
Angaben Schienenverkehr	
p(EGl)	1
p(vSp)	0
p(FaS)	0

Szenario 300	
Jährlichkeit	300 Jahre
p(rA)	1
Begründung der Wertanpassung p(rA)	

lokal; Auslaufgebiet auf Gleis	
<b>Intensitätskarte</b>	INT_Karten_Schaechliwald.pdf
<b>Angaben Schienenverkehr</b>	
<b>p(EGl)</b>	1
<b>p(vSp)</b>	0
<b>p(FaS)</b>	0



29.04.19, 16:10:39

**C Schächliwald: Wirkung Schutzwald an Reduktion Risiko auf Bahnanlagen und -betrieb SBB**

**Massnahme: Wald "Ist-Zustand"**

Beschreibung	
Schutzwaldbehandlung mit Waldzustand Ist-Zustand, vgl. Bericht	
Investitionskosten	0 CHF
Jährliche Unterhaltskosten	2 580 CHF/a
Jährliche Betriebskosten	0 CHF/a
Lebensdauer Massnahme	150 Jahre
Zinssatz	2%
Jährliche Kosten	2 580 CHF/a
Restwert	0 CHF



29.04.19, 16:10:50

## C Schächliwald: Wirkung Schutzwald an Reduktion Risiko auf Bahnanlagen und -betrieb SBB

111 Einspur	
<b>Beschreibung</b>	
Gleis Schaechliwald	
<b>Anzahl</b>	242 m
<b>Basiswert (CHF / m)</b>	6 300 CHF
<b>Effektivwert (CHF / m)</b>	6 300 CHF
<b>Ø Personenbelegung/Zug</b>	44.37
<b>Begründung der Wertanpassung</b>	
gemaess Angaben SBB	
<b>Ø Personenzüge/Tag</b>	73.57
<b>Ø Geschwindigkeit Personenzüge km/h</b>	75
<b>Ø Zuglänge Personenzüge</b>	101.79 m
<b>Geländeverhältnisse</b>	Günstige Verhältnisse
<b>Ø Güterzüge/Tag</b>	0
<b>Geschwindigkeit Fahren auf Sicht km/h</b>	40
<b>Anzahl Durchfahrten derselben Person</b>	2 Fahrten/Tag
<b>Sachwert Personenzug</b>	5 000 000 CHF



29.04.19, 16:11:32

**C Schächliwald: Wirkung Schutzwald an Reduktion Risiko auf Bahnanlagen und -betrieb SBB - Schadenpotenzial**[http://www.econome.admin.ch/doc/Bgs/28-1050-3662/polygon/INT\\_Karten\\_Schaechliwald.pdf](http://www.econome.admin.ch/doc/Bgs/28-1050-3662/polygon/INT_Karten_Schaechliwald.pdf)

Anzahl Objekte insgesamt	1
Anzahl Objekte mit verändertem Wert	0
Anzahl Objekte mit veränderter Belegung	1
Anzahl Objekte mit Objektschutz	1
	0
Schadenpotenzial Anzahl Personen	44.37
Schadenpotenzial Anzahl Personen (Berechnung mit Basiswerten)	0
Schadenpotenzial Personen (monetarisiert)	221 850 000
Schadenpotenzial Personen (monetarisiert) (Berechnung mit Basiswerten)	0
Schadenpotenzial Sachwerte	6 524 600
Schadenpotenzial Sachwerte (Berechnung mit Basiswerten)	6 524 600
Schadenpotenzial Gesamt	228 374 600
Schadenpotenzial Gesamt (Berechnung mit Basiswerten)	6 524 600

**Verteilung nach Nutznießern****Ohne Nutznießer - Zuweisung**

Schadenpotenzial Anzahl Personen	44.37
Schadenpotenzial Anzahl Personen (Berechnung mit Basiswerten)	0
Schadenpotenzial Personen (monetarisiert)	221 850 000
Schadenpotenzial Personen (monetarisiert) (Berechnung mit Basiswerten)	0
Schadenpotenzial Sachwerte	6 524 600
Schadenpotenzial Sachwerte (Berechnung mit Basiswerten)	6 524 600
Schadenpotenzial Gesamt	228 374 600
Schadenpotenzial Gesamt (Berechnung mit Basiswerten)	6 524 600

**Schieneverkehr****Veränderte Objekte**

111, einspur

Gleis Schaechliwald

Anzahl:	242 m
Wert	6 300
Ø Personenbelegung:	44.37

gemaess Angaben SBB

Präsenzfaktor	
Ø Geschwindigkeit in km/h:	75
Ø Fahrzeuge/Tag:	73.57
Ø Zuglänge in m:	101.79



**C Schächliwald: Wirkung Schutzwald an Reduktion Risiko auf Bahnanlagen und -betrieb SBB**

**Vor Massnahmen**

**Hangmure / Rutschung spontan Hangmure / Rutschung spontang**

**Szenario 10**

Ident.	Objektart	Schadenausmass in CHF			Ø Todesfälle
		Personen	Sachwerte	Gesamtschaden	
111	Einspur	216 065	386 961	603 026	0.043213
<b>Summe</b>		<b>216 065</b>	<b>386 961</b>	<b>603 026</b>	<b>0.043213</b>

**Szenario 30**

Ident.	Objektart	Schadenausmass in CHF			Ø Todesfälle
		Personen	Sachwerte	Gesamtschaden	
111	Einspur	248 379	788 221	1 036 600	0.0496758
<b>Summe</b>		<b>248 379</b>	<b>788 221</b>	<b>1 036 600</b>	<b>0.0496758</b>

**Szenario 100**

Ident.	Objektart	Schadenausmass in CHF			Ø Todesfälle
		Personen	Sachwerte	Gesamtschaden	
111	Einspur	239 608	878 603	1 118 210	0.0479215
<b>Summe</b>		<b>239 608</b>	<b>878 603</b>	<b>1 118 210</b>	<b>0.0479215</b>

**Szenario 300**

Ident.	Objektart	Schadenausmass in CHF			Ø Todesfälle
		Personen	Sachwerte	Gesamtschaden	
111	Einspur	283 234	998 053	1 281 290	0.0566468
<b>Summe</b>		<b>283 234</b>	<b>998 053</b>	<b>1 281 290</b>	<b>0.0566468</b>

## Vor Massnahmen - Hangmure / Rutschung spontan Hangmure / Rutschung spontang - Übersicht über alle Szenarien

	Schadenausmass nach Szenarien				Komplementär-kumulatives Risiko/Jahr
Kategorie	Szenario 10 Personen / Sachwerte Gesamtschaden	Szenario 30 Personen / Sachwerte Gesamtschaden	Szenario 100 Personen / Sachwerte Gesamtschaden	Szenario 300 Personen / Sachwerte Gesamtschaden	Risiko in CHF/a Personen / Sachwerte Gesamtschaden
Gebäude	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>
Sonderobjekte	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>
Strassenverkehr	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>
Leitungen	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>
Mechanische Aufstiegshilfe	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>
Landwirtschaft, Wald und Grünanlagen	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>
Schieneverkehr	216 065 CHF / 386 961 CHF <b>603 026 CHF</b>	248 379 CHF / 788 221 CHF <b>1 036 600 CHF</b>	239 608 CHF / 878 603 CHF <b>1 118 211 CHF</b>	283 234 CHF / 998 053 CHF <b>1 281 287 CHF</b>	22 741 CHF / 53 373 CHF <b>76 115 CHF</b>
Sonderobjekte Schieneverkehr	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>
<b>Personen</b>	0.04321 Tf	0.04968 Tf	0.04792 Tf	0.05665 Tf	0.00455 Tf
<b>Personen (monetarisiert)</b>	216 065 CHF	248 379 CHF	239 608 CHF	283 234 CHF	22 741 CHF
<b>Sachwerte</b>	386 961 CHF	788 221 CHF	878 603 CHF	998 053 CHF	53 373 CHF
<b>Summe</b>	603 026 CHF	1 036 600 CHF	1 118 211 CHF	1 281 287 CHF	76 115 CHF

**Vor Massnahmen - Hangmure / Rutschung spontan Hangmure / Rutschung spontang - Individuelles Todesfallrisiko**

Ident.	Objektart	Präsenzrisiko	Präsenzrisikofaktor kann maxima	Szenario 10	Szenario 30	Szenario 100	Szenario 300	Individuelles Todesfallrisiko
111	einspur		2	1.713350e-4	6.177167e-5	1.758480e-5	6.870733e-6	1.760570e-4

**Nach Massnahme Wald "Ist-Zustand"****Hangmure / Rutschung spontan Hangmure / Rutschung spontang****Szenario 10**

Ident.	Objektart	Schadenausmass in CHF			Ø Todesfälle
		Personen	Sachwerte	Gesamtschaden	
111	Einspur	50 649	108 843	159 493	0.0101298
<b>Summe</b>		<b>50 649</b>	<b>108 843</b>	<b>159 493</b>	<b>0.0101298</b>

**Szenario 30**

Ident.	Objektart	Schadenausmass in CHF			Ø Todesfälle
		Personen	Sachwerte	Gesamtschaden	
111	Einspur	49 985	108 804	158 789	0.00999701
<b>Summe</b>		<b>49 985</b>	<b>108 804</b>	<b>158 789</b>	<b>0.00999701</b>

**Szenario 100**

Ident.	Objektart	Schadenausmass in CHF			Ø Todesfälle
		Personen	Sachwerte	Gesamtschaden	
111	Einspur	224 094	236 389	460 482	0.0448187
<b>Summe</b>		<b>224 094</b>	<b>236 389</b>	<b>460 482</b>	<b>0.0448187</b>

**Szenario 300**

Ident.	Objektart	Schadenausmass in CHF			Ø Todesfälle
		Personen	Sachwerte	Gesamtschaden	
111	Einspur	267 286	490 906	758 192	0.0534573
<b>Summe</b>		<b>267 286</b>	<b>490 906</b>	<b>758 192</b>	<b>0.0534573</b>

## Wald "Ist-Zustand" - Hangmure / Rutschung spontan Hangmure / Rutschung spontang - Übersicht über alle Szenarien

	Schadenausmass nach Szenarien				Komplementär-kumulatives Risiko/Jahr
Kategorie	Szenario 10 Personen / Sachwerte Gesamtschaden	Szenario 30 Personen / Sachwerte Gesamtschaden	Szenario 100 Personen / Sachwerte Gesamtschaden	Szenario 300 Personen / Sachwerte Gesamtschaden	Risiko in CHF/a Personen / Sachwerte Gesamtschaden
Gebäude	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>
Sonderobjekte	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>
Strassenverkehr	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>
Leitungen	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>
Mechanische Aufstiegshilfe	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>
Landwirtschaft, Wald und Grünanlagen	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>
Schieneverkehr	50 649 CHF / 108 843 CHF <b>159 492 CHF</b>	49 985 CHF / 108 804 CHF <b>158 789 CHF</b>	224 094 CHF / 236 389 CHF <b>460 483 CHF</b>	267 286 CHF / 490 906 CHF <b>758 192 CHF</b>	6 928 CHF / 13 007 CHF <b>19 935 CHF</b>
Sonderobjekte Schieneverkehr	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>
<b>Personen</b>	0.01013 Tf	0.01 Tf	0.04482 Tf	0.05346 Tf	0.00139 Tf
<b>Personen (monetarisiert)</b>	50 649 CHF	49 985 CHF	224 094 CHF	267 286 CHF	6 928 CHF
<b>Sachwerte</b>	108 843 CHF	108 804 CHF	236 389 CHF	490 906 CHF	13 007 CHF
<b>Summe</b>	159 492 CHF	158 789 CHF	460 483 CHF	758 192 CHF	19 935 CHF

**Wald "Ist-Zustand" - Hangmure / Rutschung spontan Hangmure / Rutschung spontang - Individuelles Todesfallrisiko**

Ident.	Objektart	Präsenz	Risikofaktor kann maxima	Szenario 10	Szenario 30	Szenario 100	Szenario 300	Individuelles Todesfallrisiko
111	einspur		2	4.452550e-5	1.483913e-5	1.973050e-5	7.534067e-6	6.075870e-5



29.04.19, 16:11:47

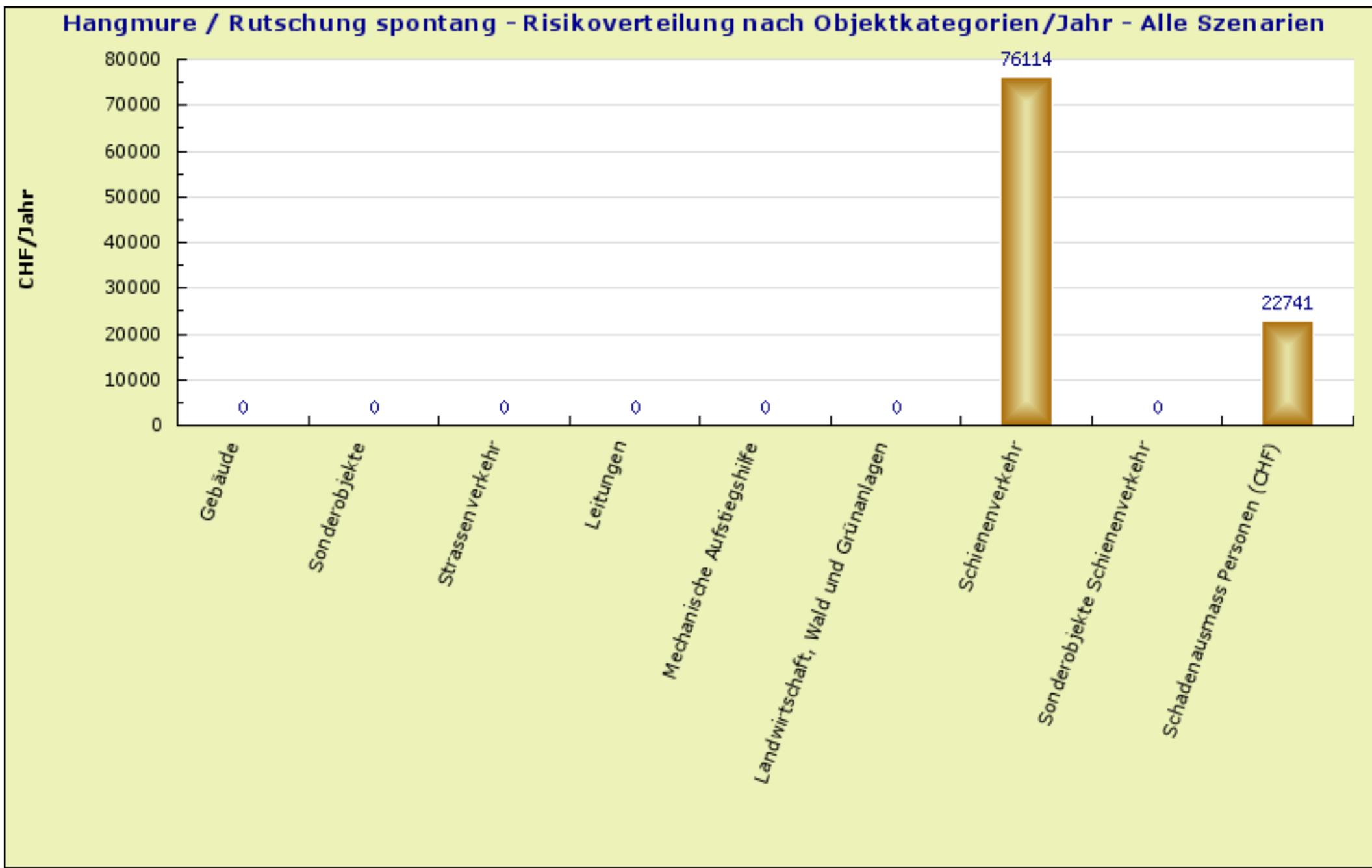
## C Schächliwald: Wirkung Schutzwald an Reduktion Risiko auf Bahnanlagen und -betrieb SBB - Konsequenzenanalyse

## Hangmure / Rutschung spontan Hangmure / Rutschung spontang

## Zusammenstellung Schadenausmass ohne Aversion

Kategorie	Schadenausmass nach Szenarien				Komplementär-kumulatives Risiko/Jahr Risiko in CHF/a Personen / Sachwerte Gesamtschaden
	Szenario 10 Personen / Sachwerte Gesamtschaden	Szenario 30 Personen / Sachwerte Gesamtschaden	Szenario 100 Personen / Sachwerte Gesamtschaden	Szenario 300 Personen / Sachwerte Gesamtschaden	
Gebäude	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>
Sonderobjekte	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>
Strassenverkehr	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>
Leitungen	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>
Mechanische Aufstiegshilfe	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>
Landwirtschaft, Wald und Grünanlagen	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>
Schieneverkehr	216 065 CHF / 386 961 CHF <b>603 026 CHF</b>	248 379 CHF / 788 221 CHF <b>1 036 600 CHF</b>	239 608 CHF / 878 603 CHF <b>1 118 211 CHF</b>	283 234 CHF / 998 053 CHF <b>1 281 287 CHF</b>	22 741 CHF / 53 373 CHF <b>76 115 CHF</b>
Sonderobjekte Schieneverkehr	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>
<b>Personen</b>	0.04321 Tf	0.04968 Tf	0.04792 Tf	0.05665 Tf	0.00455 Tf
<b>Personen (monetarisiert)</b>	216 065 CHF	248 379 CHF	239 608 CHF	283 234 CHF	22 741 CHF
<b>Sachwerte</b>	386 961 CHF	788 221 CHF	878 603 CHF	998 053 CHF	53 373 CHF
<b>Summe</b>	603 026 CHF	1 036 600 CHF	1 118 211 CHF	1 281 287 CHF	76 115 CHF

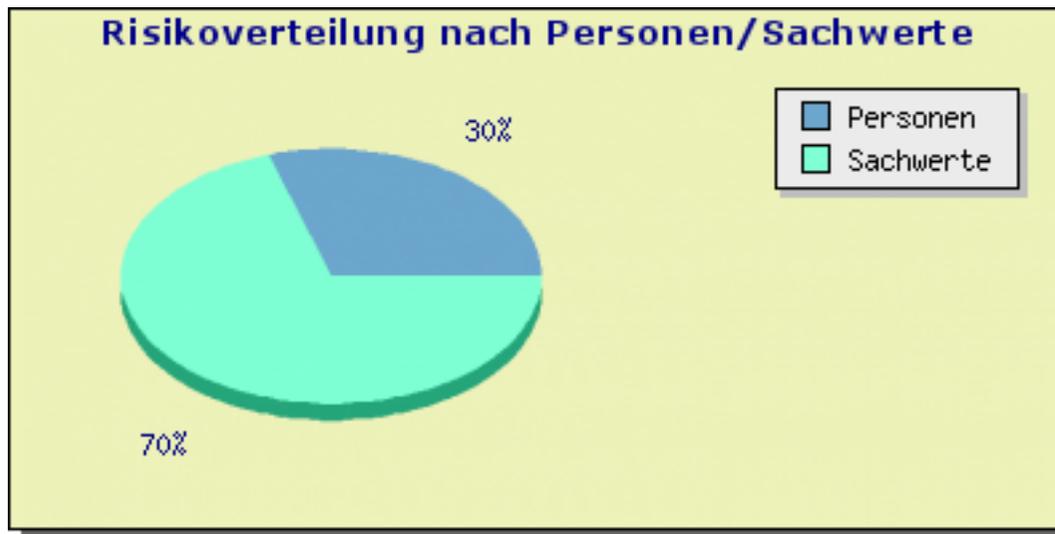
## Hangmure / Rutschung spontan Hangmure / Rutschung spontang - Risikoverteilung nach Objektkategorien - Alle Szenarien



## Hangmure / Rutschung spontan Hangmure / Rutschung spontang - Risikoverteilung nach Szenarien



## Hangmure / Rutschung spontan Hangmure / Rutschung spontang - Risikoverteilung nach Personen/Sachwerte





29.04.19, 16:11:58

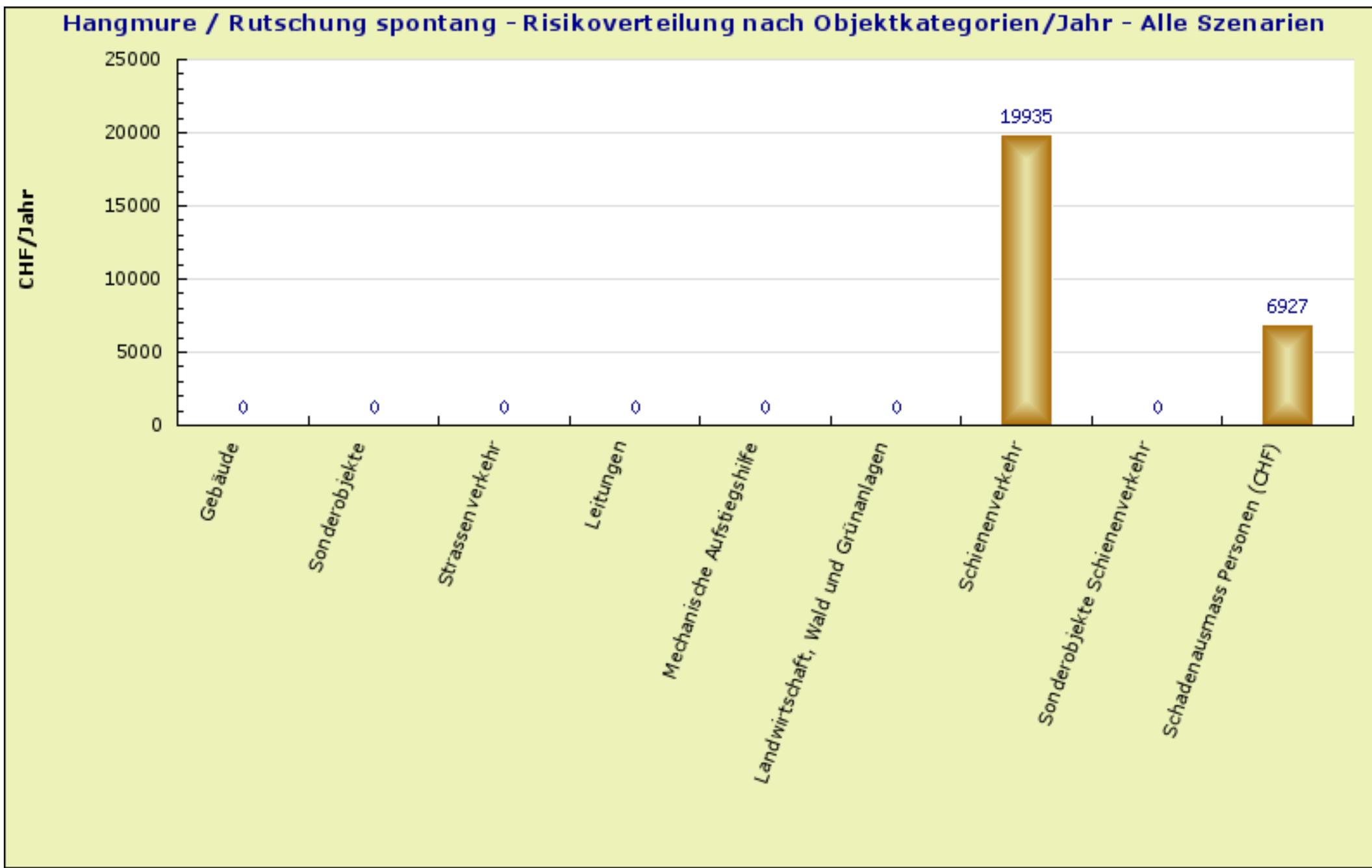
**C Schächliwald: Wirkung Schutzwald an Reduktion Risiko auf Bahnanlagen und -betrieb SBB - Konsequenzenanalyse nach Massnahme Wald "Ist-Zustand"**

**Hangmure / Rutschung spontan Hangmure / Rutschung spontang**

**Zusammenstellung Schadenausmass ohne Aversion**

Kategorie	Schadenausmass nach Szenarien				Komplementär-kumulatives Risiko/Jahr Risiko in CHF/a Personen / Sachwerte Gesamtschaden
	Szenario 10 Personen / Sachwerte Gesamtschaden	Szenario 30 Personen / Sachwerte Gesamtschaden	Szenario 100 Personen / Sachwerte Gesamtschaden	Szenario 300 Personen / Sachwerte Gesamtschaden	
Gebäude	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>
Sonderobjekte	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>
Strassenverkehr	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>
Leitungen	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>
Mechanische Aufstiegshilfe	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>
Landwirtschaft, Wald und Grünanlagen	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>
Schieneverkehr	50 649 CHF / 108 843 CHF <b>159 492 CHF</b>	49 985 CHF / 108 804 CHF <b>158 789 CHF</b>	224 094 CHF / 236 389 CHF <b>460 483 CHF</b>	267 286 CHF / 490 906 CHF <b>758 192 CHF</b>	6 928 CHF / 13 007 CHF <b>19 935 CHF</b>
Sonderobjekte Schieneverkehr	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>	0 CHF / 0 CHF <b>0 CHF</b>
<b>Personen</b>	0.01013 Tf	0.01 Tf	0.04482 Tf	0.05346 Tf	0.00139 Tf
<b>Personen (monetarisiert)</b>	50 649 CHF	49 985 CHF	224 094 CHF	267 286 CHF	6 928 CHF
<b>Sachwerte</b>	108 843 CHF	108 804 CHF	236 389 CHF	490 906 CHF	13 007 CHF
<b>Summe</b>	159 492 CHF	158 789 CHF	460 483 CHF	758 192 CHF	19 935 CHF

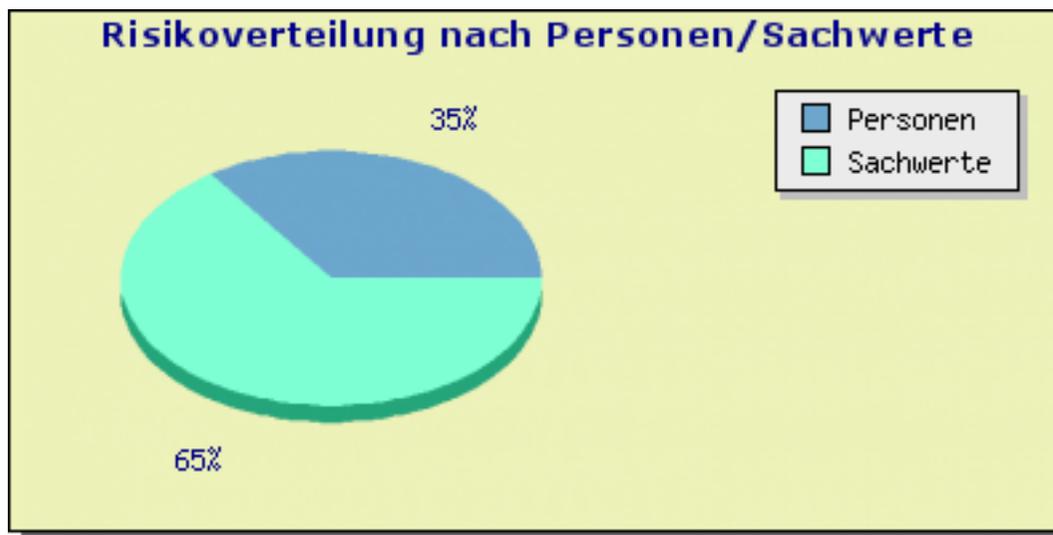
## Hangmure / Rutschung spontan Hangmure / Rutschung spontang - Risikoverteilung nach Objektkategorien - Alle Szenarien



## Hangmure / Rutschung spontan Hangmure / Rutschung spontang - Risikoverteilung nach Szenarien



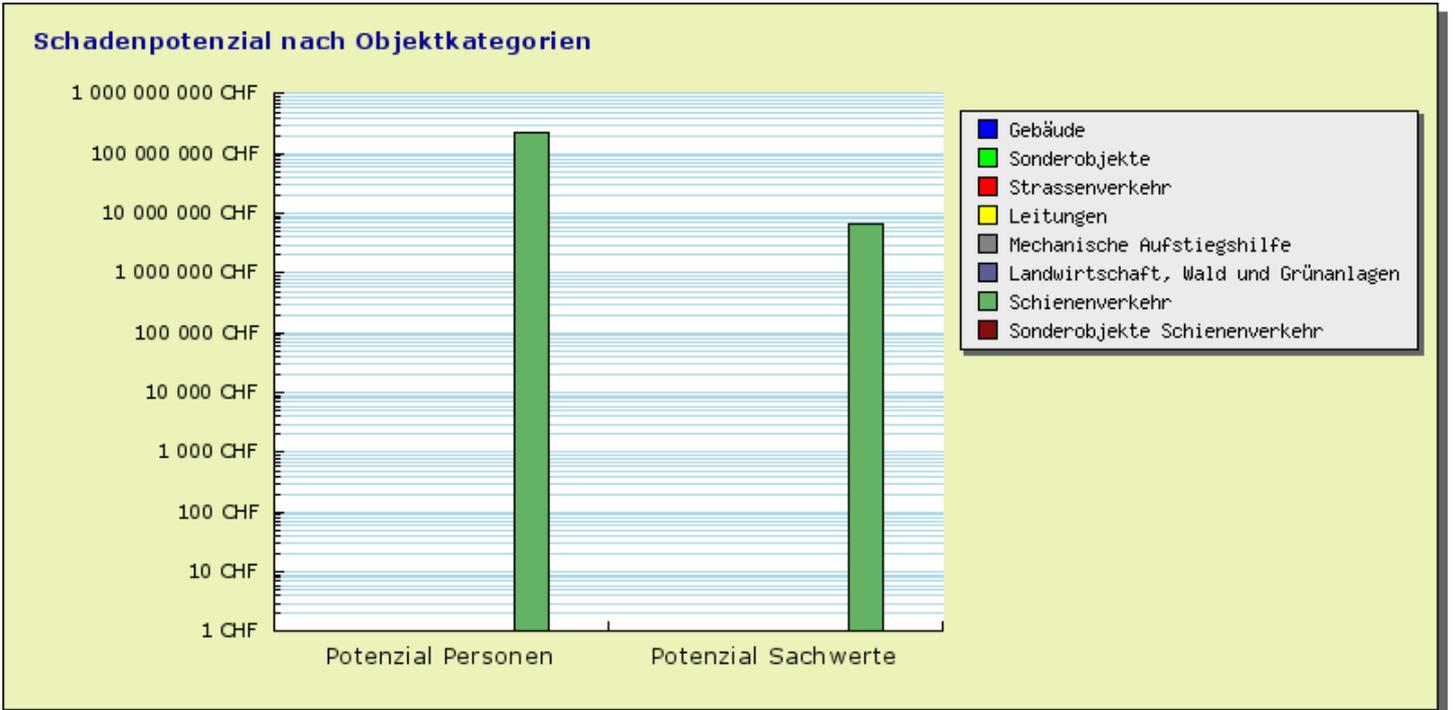
## Hangmure / Rutschung spontan Hangmure / Rutschung spontang - Risikoverteilung nach Personen/Sachwerte



**C Schächliwald: Wirkung Schutzwald an Reduktion Risiko auf Bahnanlagen und -betrieb SBB**

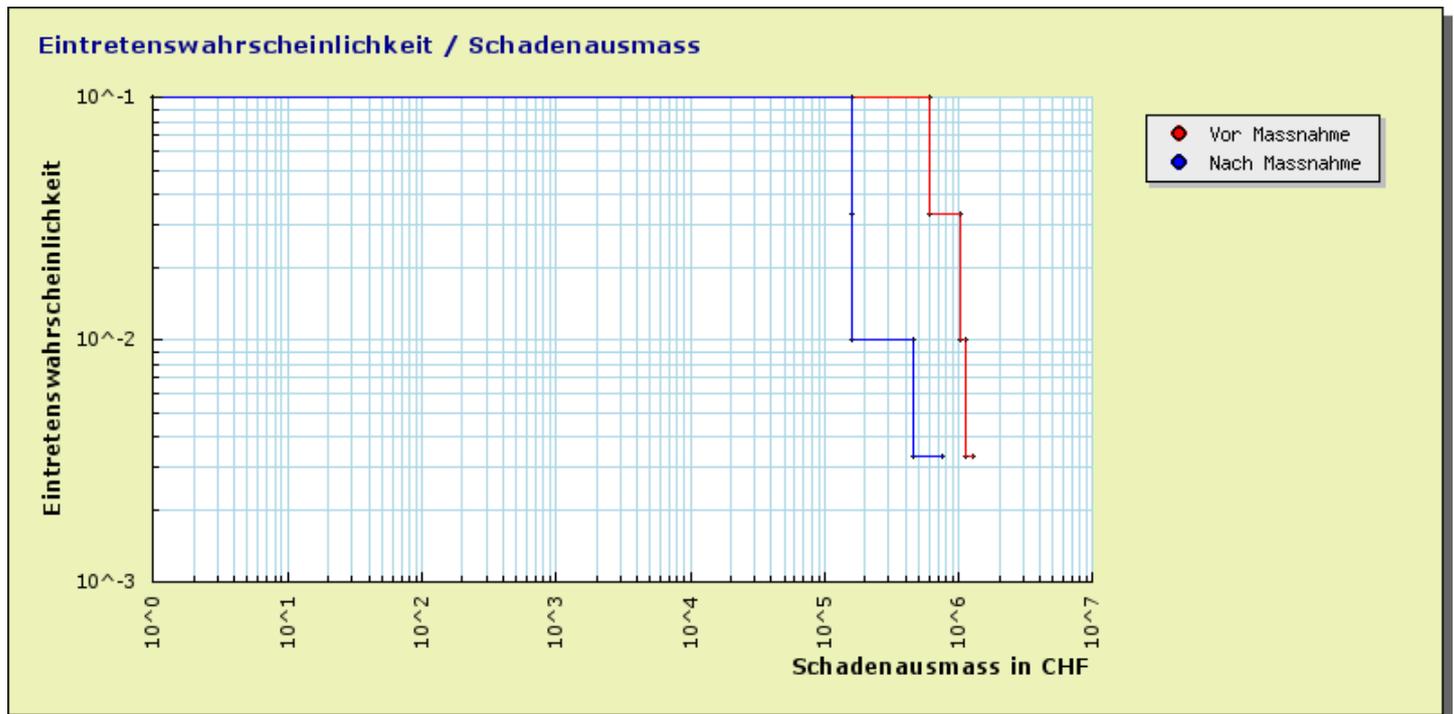
**Übersicht Schadenpotenzial**

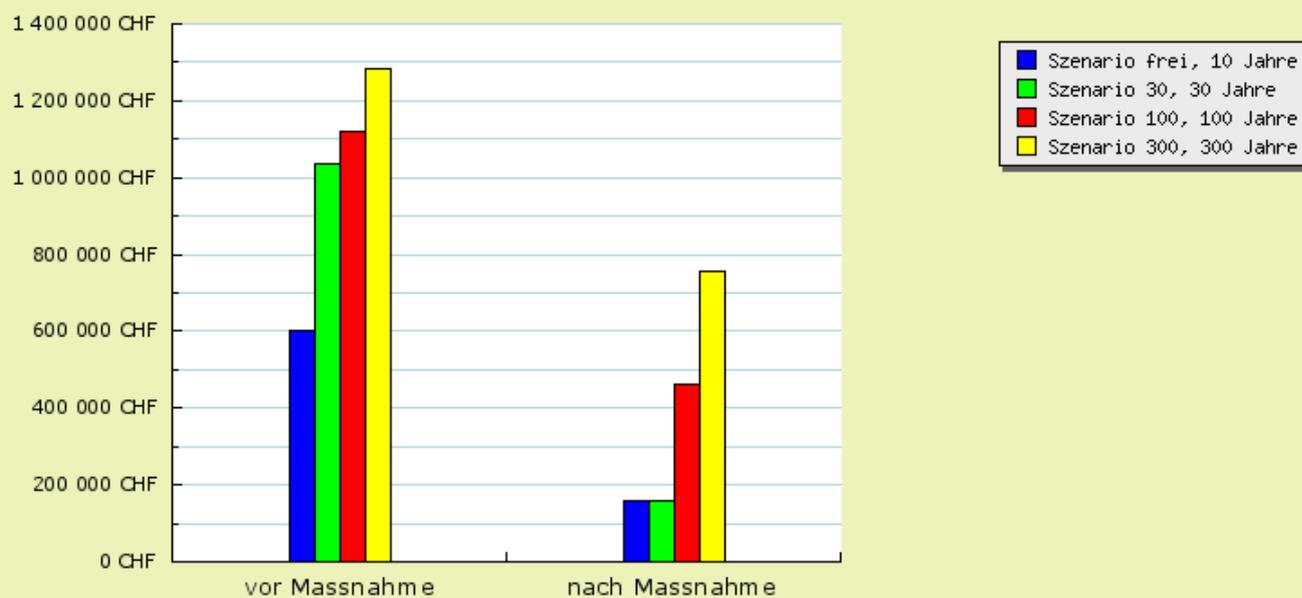
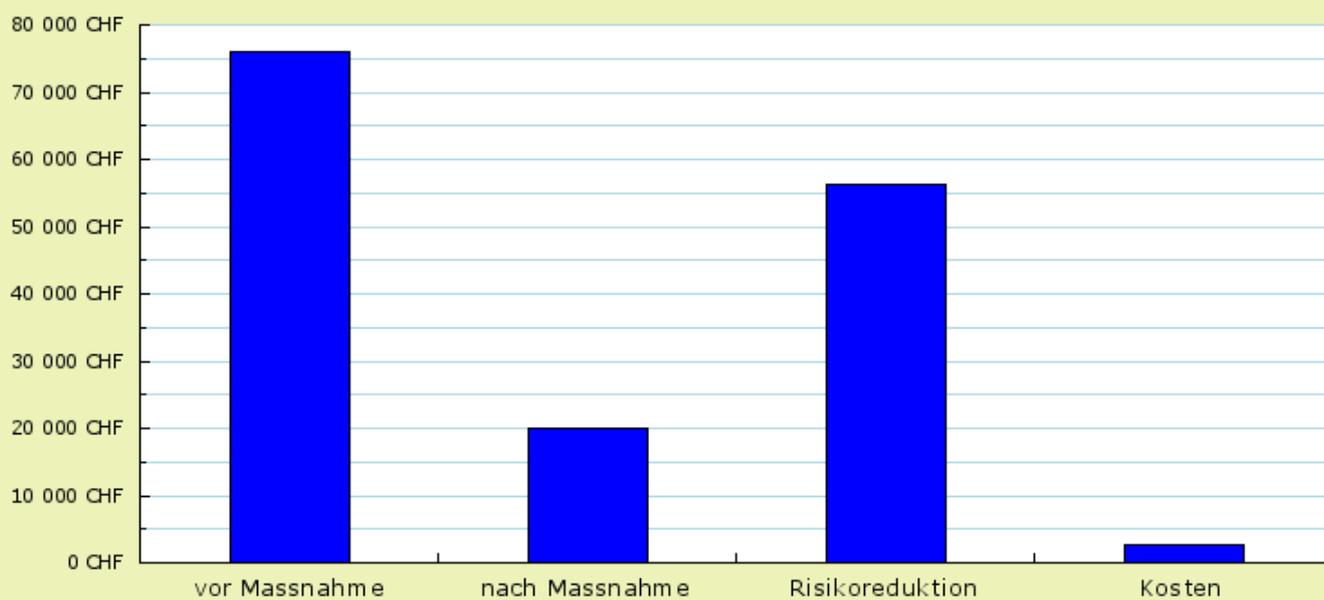
Schadenpotenzial Anzahl Personen	44.37
Schadenpotenzial Personen (monetarisiert)	221 850 000 CHF
Schadenpotenzial Sachwerte	6 524 600 CHF
<b>Schadenpotenzial Gesamt</b>	<b>228 374 600 CHF</b>

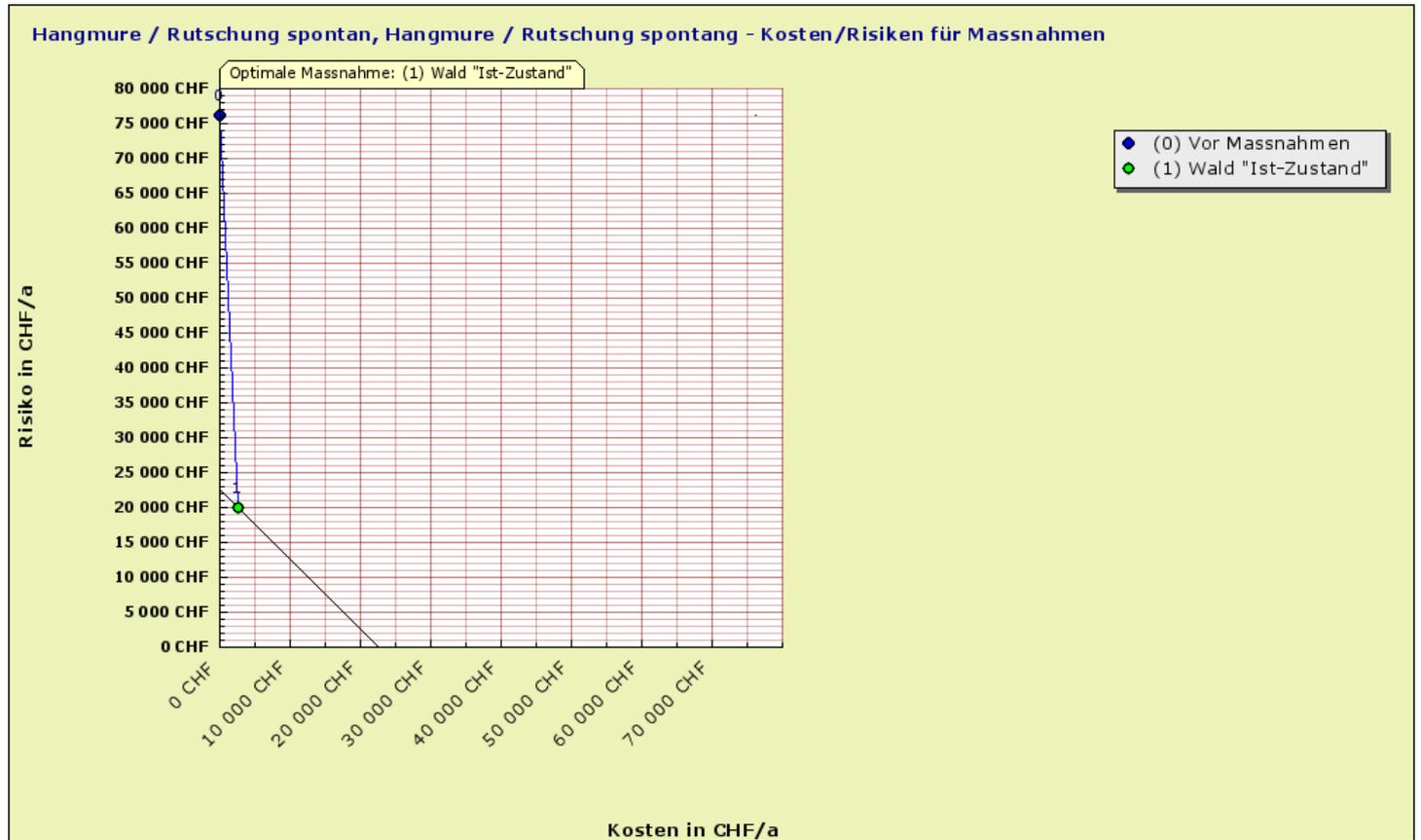


### Hangmure / Rutschung spontan - Hangmure / Rutschung spontang

Risiken und Kosten der Massnahme Wald "Ist-Zustand"			
	Vor Massnahme	Nach Massnahme	Risikoreduktion (Nutzen) CHF/a
Risikobeitrag Szenario frei (10 Jahre, 0.0667)	40 202	10 633	29 569
Risikobeitrag Szenario 30 (30 Jahre, 0.0233)	24 187	3 705	20 482
Risikobeitrag Szenario 100 (100 Jahre, 0.0067)	7 455	3 070	4 385
Risikobeitrag Szenario 300 (300 Jahre, 0.0033)	4 271	2 527	1 744
<b>Gesamtrisiko</b>	<b>76 115</b>	<b>19 935</b>	<b>56 180</b>
	Investitionskosten		0 CHF
	Jährliche Unterhaltskosten		2 580 CHF/a
	Jährliche Betriebskosten		0 CHF/a
	<b>Massnahmekosten pro Jahr</b>		<b>2 580 CHF/a</b>
	<b>Nutzen/Kosten Verhältnis</b>		<b>21,8 CHF/a</b>



**Schadenausmass nach Szenarien (vor und nach Massnahme)****Risiken, Risikoreduktion und Kosten in CHF/Jahr**





29.04.19, 16:12:10

C Schächliwald: Wirkung Schutzwald an Reduktion Risiko auf Bahnanlagen und -betrieb SBB - Individuelles Tod

Hangmure / Rutschung spontan Hangmure / Rutschung spontang

Individuelles Risiko (Anzahl betroffener Objekte)

Vor Massnahme	1	0	0
Nach Massnahme Wald "Ist-Zustand"	1	0	0

Vor Massnahme

111	Einspur	0.000176057
-----	---------	-------------

Nach Massnahme Wald "Ist-Zustand"

111	Einspur	0.0000607587
-----	---------	--------------