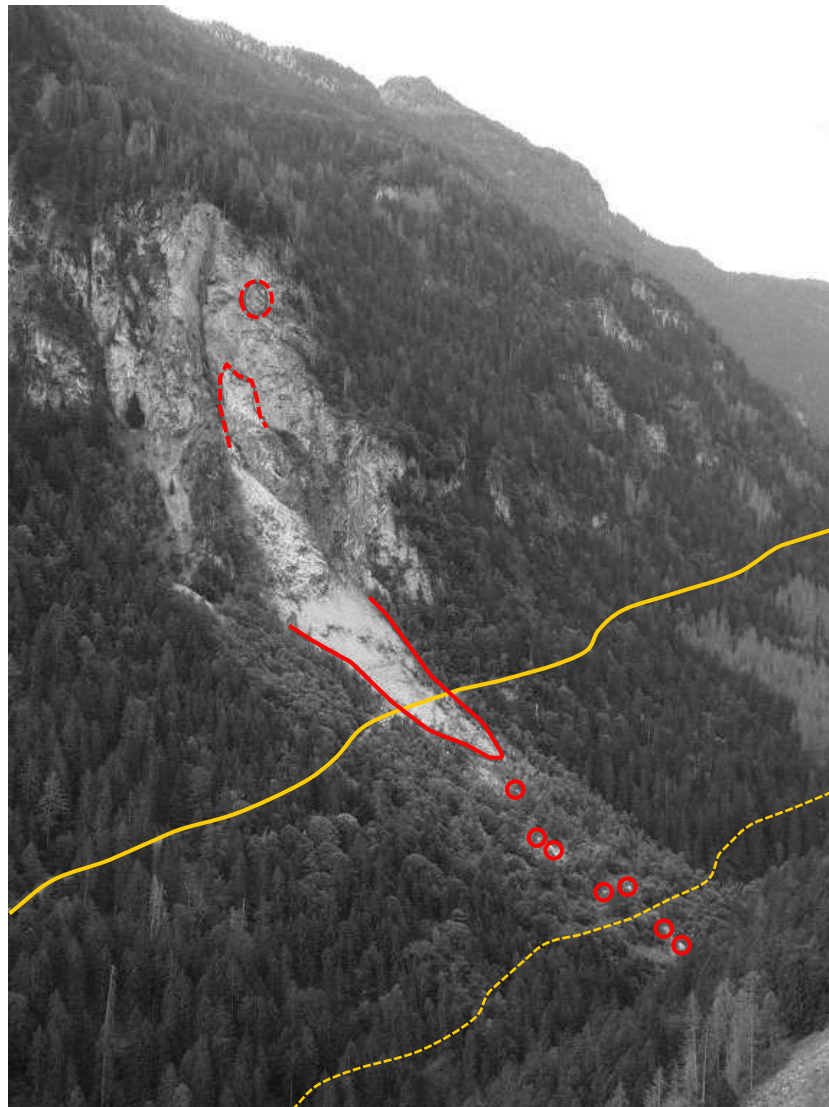


# Leitfaden

Zur Festlegung der räumlichen  
Auftrittswahrscheinlichkeit  $p(rA)$   
für die Prozesse Stein-/Blockschlag sowie Felssturz

Für Risikoanalysen mit EconoMe

---



August 2017

# Inhaltsverzeichnis

<b>1. Ausgangslage.....</b>	<b>3</b>
<b>2. Methodik .....</b>	<b>3</b>
2.1. Definition.....	3
2.2. Gefahrenbeurteilung.....	4
2.3. Herleitung p(rA) .....	5
2.4. Kommentar .....	7
<b>3. Anwendungsbeispiele .....</b>	<b>8</b>
3.1. Signal de Champex : Situation mit gut dokumentierten Ereignissen .....	8
3.2. Ganggi, Gondo: Situation mit ungenügender Dokumentation an Ereignissen.....	12
3.3. San Marco: Felssturz.....	17
<b>4. Quellen .....</b>	<b>20</b>

Redaktion:

ARGE Winkler Ingénieurs SA / wasser/schnee/lawinen Ingenieurbüro André Burkard AG

Randogne / Brig, 3. Mai 2017

Titelbild: Felssturz vom 02.07.2016 bei Gueuroz, Salvan (Abbruchvolumina von ca. 2500 m<sup>3</sup>; gestrichelte Linie). Die rote Linie zeigt die Ausdehnung des Prozessraums „Felssturz“ während rote Kreise einzelne Blöcke mit isolierten Trajektorien entsprechen (Prozessraum „Stein- und Blockschlag“). Die Waldstrasse (gelbe Linie) wird vom Felssturz, der Wanderweg (gestrichelte Linie) vom Blockschlag erfasst. Der rote, gestrichelte Kreis in der Felswand entspricht einem ähnlichen Felskompartiment wie jenes des Ereignisses.

## 1. Ausgangslage

Im Rahmen der Naturgefahren-Massnahmenplanung müssen Nachweise zur Kostenwirksamkeit der geprüften Massnahmen erbracht werden. Für diese Nachweise wird das BAFU-Instrument EconoMe eingesetzt. Dabei ist der Parameter *räumliche Auftretenswahrscheinlichkeit*  $p(rA)$  eine bedeutende Grösse, die es festzulegen gilt. Bisher gibt es kein klares und verbindliches Vorgehen zur Festlegung dieses Parameters.

Ziel des vorliegenden Leitfadens ist es, eine Methodik zu definieren, welche die einheitliche Festlegung der räumlichen Auftretenswahrscheinlichkeit der Gefahrenprozesse Stein- und Blockschlag sowie Felssturz im Kanton Wallis erlaubt.

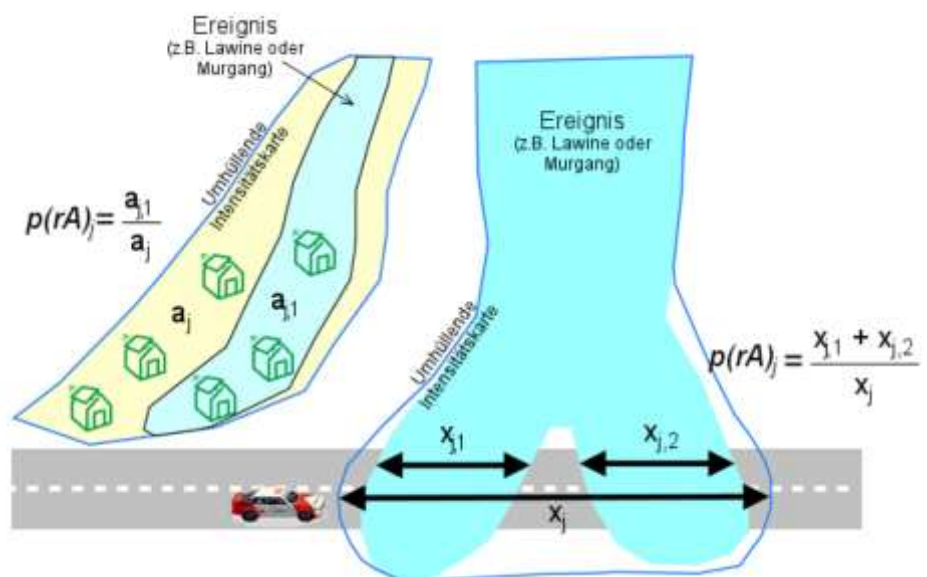
Der Leitfaden gilt als provisorischer Ansatz bis Empfehlungen oder Richtlinien auf nationaler Ebene erarbeitet sind. Die Anwendung des Leitfadens gilt für Schutzprojekte, die vom Kanton subventioniert werden und deren Kostenschätzungen über **CHF 200'000.-** liegen. Bei weniger kostspieligen Projekten soll die Definition der  $p(rA)$ -Werte im Voraus mit den Kantonsvertretern geklärt werden.

## 2. Methodik

### 2.1. Definition

In den Bundesdokumentationen [1], [2] ist die räumliche Auftretenswahrscheinlichkeit  $p(rA)$  wie folgt definiert.

EconoMe [1]: «Die räumliche Auftretenswahrscheinlichkeit  $p(rA)$  bezeichnet den Flächenanteil des Prozesses bezüglich des potentiell möglichen Prozessraumes für eine bestimmte Jährlichkeit. Dies ist in Abbildung 1 illustriert. In EconoMe sind Richtwerte in Abhängigkeit des Prozesses und der Jährlichkeit des Szenarios angegeben. Diese **MÜSSEN** jedoch durch hergeleitete  $p(rA)$  Werte ersetzt werden.»



**Abbildung 1:** Herleitung der räumlichen Auftretenswahrscheinlichkeit für flächige Betrachtungsräume und für linienförmige Elemente. Aus [1].

PLANAT [2]: «Die räumliche Auftretenswahrscheinlichkeit ist die Wahrscheinlichkeit, dass beim Eintritt eines Gefahrenprozesses dieser einen bestimmten Punkt im Untersuchungsperimeter erreicht. Dies berücksichtigt, dass ein einzelnes Ereignis oft nicht die gesamte Fläche eines Szenarios betrifft.»

Die Erfahrung zeigt, dass die bestehenden Definitionen unterschiedlich interpretiert werden, insbesondere für die Prozesse Stein-/Blockschlag sowie Felssturz. Aus diesem Grund wird im Folgenden das Vorgehen zur Herleitung der  $p(rA)$ -Werte im Detail beschrieben und mit Beispielen illustriert.

**Hinweis :**

Aktuell können in EconoMe für die verschiedenen Objekte keine individuellen räumlichen Auftretenswahrscheinlichkeiten definiert werden. Die räumliche Auftretenswahrscheinlichkeit wird daher pro Szenario bzw. Wiederkehrperiode für das exponierteste Objekt hergeleitet und verwendet. Im Zweifelsfall ist für die zu wählende  $p(rA)$  mit den Kantonsvertretern Rücksprache zu nehmen. In jedem Fall ist die Wahl des  $p(rA)$ -Wertes zu begründen und nachvollziehbar darzulegen.

## 2.2. Gefahrenbeurteilung

Während der Phase der Schutzmassnahmenplanung wird davon ausgegangen, dass die Gefahrenbeurteilung durchgeführt und Intensitätskarten erstellt wurden [3], [4].

Im Folgenden werden die zur Bestimmung der räumlichen Auftretenswahrscheinlichkeit wichtigen Aspekte in der Gefahrenbeurteilung nochmals erwähnt.

### Ereignisanalyse

Die dokumentierten Ereignisse bilden eine wichtige Grundlage in der Gefahrenbeurteilung und in der Bestimmung der  $p(rA)$ .

### Szenarien

Im Rahmen der Szenarienbildung werden die Gefahrenpotenziale im Detail beschrieben. Es wird das Abbruchvolumen mit der entsprechenden Abbruchwahrscheinlichkeit (Gefährlichkeit oder Mobilisierungswahrscheinlichkeit) bestimmt. In einem weiteren Schritt werden die massgebenden Blockgrössen für jede Wiederkehrperiode (z.B. 30, 100 und 300 Jahre) definiert und es wird abgeschätzt, wie viele Blöcke von jeder Blockgrösse abstürzen können. Zu beachten ist, dass Blöcke entlang der Sturzbahn in kleinere Blöcke zerfallen können. Für diese Blöcke wird die massgebende Kantenlänge<sup>1</sup> definiert. Dabei erfolgt die Festlegung in **Grössenklassen** wie z.B. 0.5 m, 1.0 m, 1.5 m, 2.0 m etc.

Die Wahl des Abbruchvolumens und dessen Unterteilung in Sturzblöcke muss gut überlegt sein, da dessen Einfluss auf die Trefferwahrscheinlichkeit und demnach auch auf die  $p(rA)$  sehr gross ist.

### Sturzbahnanalysen

Für die Gefahrenbeurteilung werden Sturzbahnanalysen bzw. -berechnungen durchgeführt. Diese können mit einem beliebigen Simulationsprogramm erfolgen. Hilfreich für die Bestimmung der  $p(rA)$  sind jedoch Programme, welche Informationen über die Anzahl Blöcke liefern, welche eine beliebig definierte Linie passieren (siehe Kapitel 3.2).

### Intensitätskarten

Die Intensitätskarten werden gemäss den Vorgaben des Bundes und des Kantons erarbeitet [3], [4].

### Trefferwahrscheinlichkeit

In diesem Schritt wird die Wahrscheinlichkeit bestimmt, mit der die definierten Blockgrössen eine Strasse, Bahn, ein Gebäude, ein Siedlungsgebiet, etc. erreichen.

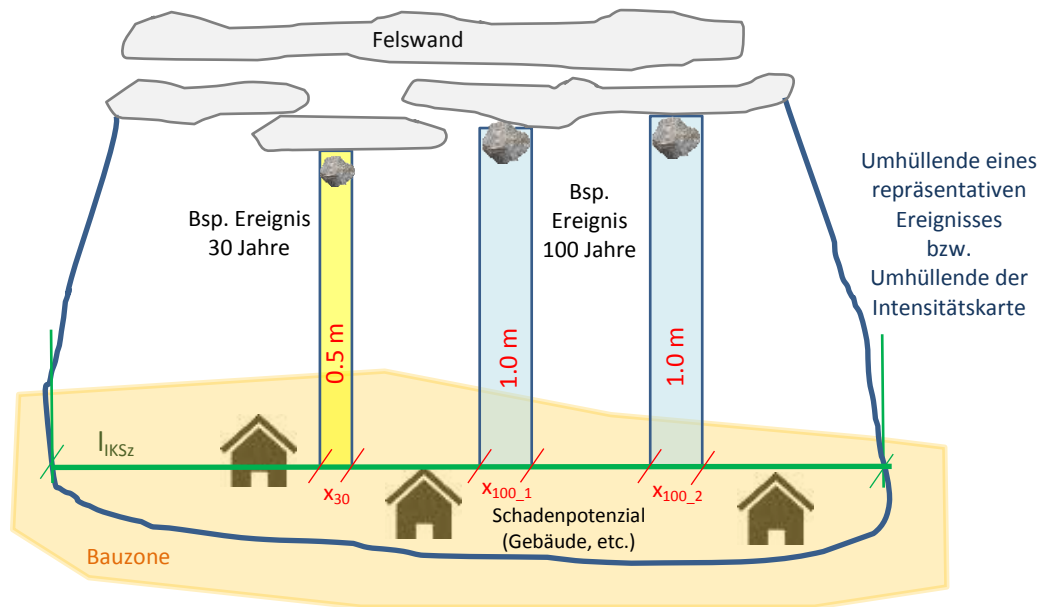
<sup>1</sup> Es soll die für den Sturzprozess relevante Kantenlänge gewählt werden. In der Regel entspricht dies der längsten der Hauptachsen (ausser z. B. für plattige Blöcke, wo die kürzeste der Hauptachsen massgebend ist).

### 2.3. Herleitung p(rA)

Die in der Gefahrenbeurteilung gewonnenen Erkenntnisse werden für die Festlegung der räumlichen Auftretenswahrscheinlichkeit p(rA) weiterverwendet. Im Folgenden wird das Vorgehen für Punkt-, Flächen- sowie für Linienobjekte beschrieben.

#### 2.3.1. Herleitung p(rA) für Punkt- und Flächenobjekte (Gebäude bzw. Bauzonen)

Im Bereich des bzw. der **exponiertesten Gebäude** (meist die obersten Gebäude der Bauzone) wird eine fiktive Linie parallel zum Hang gezogen und mit der Umhüllenden eines repräsentativen Ereignisses bzw. der Intensitätskarte verschnitten. So kann die massgebende Länge  $l_{IKSz}$  des definierten Betrachtungsperimeters bestimmt werden (grüne Linie in Abbildung 2). Entscheidend ist, welche Gefahrenbreite effektiv tangiert wird. Im Folgenden wird dieser bestrichene Bereich als «Einwirkungsbreite  $b_{Sz}$ » bezeichnet.



**Abbildung 2:** Betroffene Gefahrenbreite im Bereich des am meisten exponierten Schadenpotenzials (ist für jedes Szenario separat zu bestimmen).

Die Herleitung der p(rA) ergibt sich aus folgender Formel:

$$\text{Einwirkungsbreite } b_{Sz} = \sum (x_{iSz} \times B_{iSz} \times p_{iTrSz})$$

$$p(rA)_{Sz} = \frac{\text{Einwirkungsbreite } b_{Sz}}{\text{potenziell betroffene Abschnittslänge } l_{IKSz}} \leq 1.0$$

x: Kantenlänge [m]                      B: Anzahl Blöcke [1]                      p<sub>Tr</sub>: Trefferwahrscheinlichkeit [1]  
 i: pro relevante Blockgrösse              s<sub>z</sub>: pro Szenario                      l<sub>IKSz</sub>: potenziell betroffene Abschnittslänge [m]

Einwirkungsbreite  $b_{Sz}$ : Die Einwirkungsbreite [m] entspricht der durch ein repräsentatives Ereignis tangierten Ereignisbreite im Bereich der potenziell betroffenen Abschnittslänge  $l_{IKSz}$ . Diese definiert sich durch die effektive Blockgrösse bzw. dessen Kantenlänge, die Anzahl effektiver Blöcke und die Wahrscheinlichkeit, dass das Ereignis die betrachtete Abschnittslänge effektiv erreicht. Bei grösseren Ereignissen kann die Kantenlänge der einzelnen Blöcke variieren, es werden daher die einzelnen Kantenlängen zusammengezählt. Die Einwirkungsbreite  $b_{Sz}$  wird pro Szenario festgelegt.

Ereignisvolumen pro Szenario: Ausgehend von einem repräsentativen Gefahrenpotenzial wird dessen Ereignisvolumen bestimmt. Dabei werden die massgebenden Blockgrössen und deren entsprechende Anzahl definiert. Werden in einer grossflächigen Felswand mehrere gleichartige Gesteinspakete als Gefahrenpotenziale mit der gleichen Abbruchwahrscheinlichkeit ausgeschieden, so ist das gesamte Volumen als

	Ereignisvolumen pro Szenario festzulegen.
Kantenlänge $x_{Sz}$ :	Die massgebende Kantenlänge [m] der zu erwartenden Blöcke wird im Rahmen der Ereignisanalyse bzw. der Szenarienbildung pro Szenario definiert und in Grössenklassen festgelegt (0.5 m, 1.0 m, 1.5 m, 2.0 m etc.).
Anzahl Blöcke $B_{Sz}$ :	Entspricht der Anzahl zu erwartender bzw. effektiver Blöcke pro repräsentatives Ereignis pro Szenario.
Trefferwahrscheinlichkeit $p_{Tr}$ :	Die Trefferwahrscheinlichkeit zeigt auf, wie viele der simulierten Blöcke effektiv pro Szenario bis in den Betrachtungsbereich (grüne Linie in Abbildung 2) gelangen. Diese Wahrscheinlichkeit ist relevant bei durchgeführten Simulationen (s. Kapitel 3.2). Sind gut dokumentierte Ereignisse im Bereich der potenziell betroffenen Abschnittslänge bekannt, so ist $p_{Tr} = 1.0$ (das Vorgehen erfolgt gemäss Kap. 3.1).
Potenziell betroffene Abschnittslänge $l_{IKSz}$ :	Die potenziell betroffene Abschnittslänge [m] entspricht der maximalen Breite im Bereich des am meisten exponierten Schadenpotenzials. Dies entspricht bei einer guten Ereignisdokumentation (s. Kapitel 3.1) der Umhüllenden eines repräsentativen Ereignisses bzw. bei ungenügender Dokumentation (s. Kapitel 3.2) der Breite der Intensitätskarte pro Szenario in diesem Bereich.
Räumliche Auftretenswahrscheinlichkeit $p(rA)_{Sz}$ :	Wahrscheinlichkeit, dass beim Eintritt eines Gefahrenprozesses dieser einen bestimmten Punkt im Untersuchungsperimeter erreicht. Die $p(rA)$ wird pro Szenario festgelegt.

### Beispiel aus Abbildung 2:

Im 30-jährigen Szenario ist das massgebende Ereignis ein Block mit einer Kantenlänge von 0.5 m und im 100-jährigen ein Ereignis mit 2 Blöcken mit je einer Kantenlänge von 1.0 m. Die Breite der Intensitätskarte beträgt im Bereich der Gebäude 40 m im 30-jährigen und 50 m im 100-jährigen Szenario.

Die in Abbildung 2 dargestellten Beispiele ergeben für die jeweilige betrachtete Wiederkehrperiode folgende  $p(rA)$ -Werte:

$$p(rA)_{30} = \frac{(0.5 \text{ m} \times 1 \times 1.0)}{40 \text{ m}} = 0.013$$

$$p(rA)_{100} = \frac{(1.0 \text{ m} \times 2 \times 1.0)}{50 \text{ m}} = 0.040$$

Szenario 30:

Kantenlänge  $x_{30} = 0.5 \text{ m}$ ; Anzahl Blöcke  $B_{30} = 1$ ; Trefferwahrscheinlichkeit  $p_{Tr30} = 1.0$ ;

Die Einwirkungsbreite ergibt somit  $b_{30} = 0.5 \text{ m}$  ( $= x_{30} \times B_{30} \times p_{Tr30}$ ); bezogen auf die potenziell betroffene Abschnittslänge  $l_{IK30} = 40.0 \text{ m}$  ergibt dies eine räumliche Auftretenswahrscheinlichkeit  $p(rA)_{30} = 0.013$  ( $= b_{30} / l_{IK30}$ ).

Szenario 100:

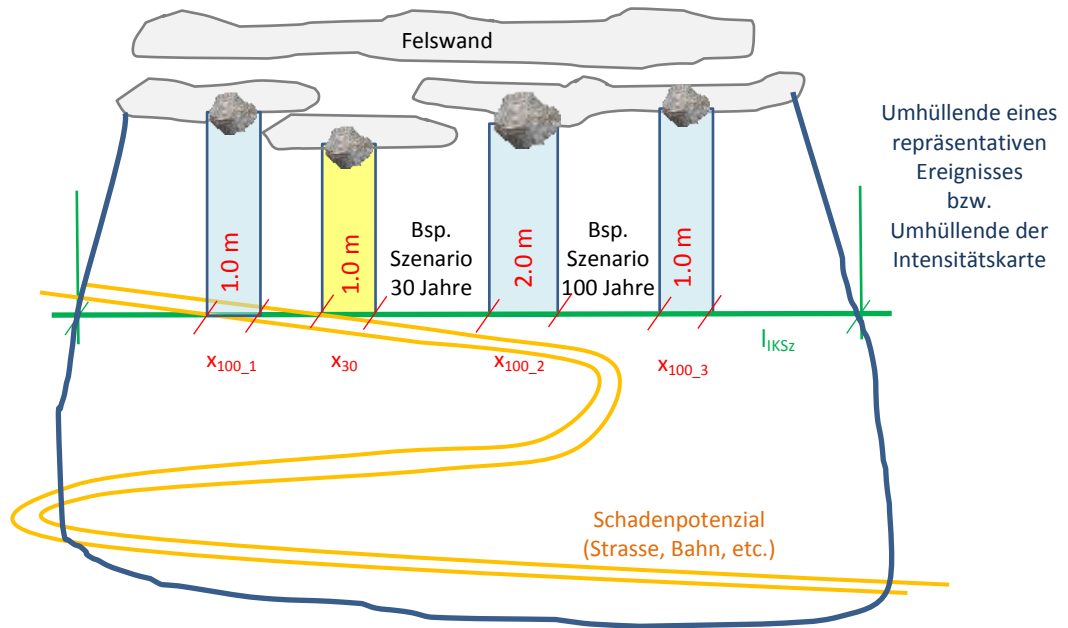
Kantenlänge  $x_{100} = 1.0 \text{ m}$ ; Anzahl Blöcke  $B_{100} = 2$ ; Trefferwahrscheinlichkeit  $p_{Tr100} = 1.0$ ;

Die Einwirkungsbreite ist  $b_{100} = 1.0 \text{ m} \times 2 \times 1.0 = 2.0 \text{ m}$  ( $= x_{100} \times B_{100} \times p_{Tr100}$ ); bezogen auf die potenziell betroffene Abschnittslänge  $l_{IK100} = 50.0 \text{ m}$  führt dies zu einer räumlichen Auftretenswahrscheinlichkeit  $p(rA)_{100} = 0.04$  ( $= b_{100} / l_{IK100}$ ).

### 2.3.2. Herleitung $p(rA)$ entlang von Linienobjekten (Strassen, Bahnen, etc.)

Wie für Punkt- oder Flächenobjekte soll die potentiell betroffene Abschnittslänge und die Einwirkungsbreite im am meisten exponierten Bereich der Strasse, Bahn oder anderer Linienobjekte bestimmt werden.

Die Ergebnisse aus der Gefahrenbeurteilung bilden die Grundlage für die Szenarienbildung und Definition der Blockgrößen und Blockzahl. In Abbildung 3 wird dies schematisch dargestellt.



**Abbildung 3:** Betroffene Gefahrenbreite im Bereich des Schadenpotenzials (ist für jedes Szenario zu bestimmen).

#### Beispiel aus Abbildung 3:

Im 30-jährigen Szenario ist das massgebende Ereignis ein Block mit einer Kantenlänge von 1.0 m und im 100-jährigen Ereignis zwei Blöcke mit je einer Kantenlänge von 1.0 m und ein Block mit einer Kantenlänge von 2.0 m.

Die Breite der Intensitätskarte ist im Bereich der Strasse 60 m im 30-jährigen und 80 m im 100-jährigen Szenario. Die in Abbildung 3 dargestellten Beispiele ergeben für die jeweilige betrachtete Wiederkehrperiode folgende  $p(rA)$ -Werte:

$$prA_{30} = \frac{(1.0 \text{ m} \times 1 \times 1.0)}{60 \text{ m}} = 0.017$$

$$prA_{100} = \frac{(1.0 \text{ m} \times 2 \times 1.0 + 2.0 \text{ m} \times 1 \times 1.0)}{80 \text{ m}} = 0.05$$

### 2.4. Kommentar

Wie aus den Herleitungen ersichtlich, beeinflusst die Szenarienbildung den  $p(rA)$ -Wert massgebend. Ein Block à 25 m<sup>3</sup> ergibt viel kleinere  $p(rA)$ -Werte im Vergleich zu demselben Block, welcher entlang der Sturzbahn in 25 Einzelblöcke à 1 m<sup>3</sup> zerfällt (bei einer vergleichbaren Trefferwahrscheinlichkeit). Dies ist auf die Berücksichtigung der Kantenlänge der Blöcke zurückzuführen, welche nicht linear mit dem Blockvolumen zunimmt. Im



Ereignisfall tangiert ein kubischer Block à  $25 \text{ m}^3$  lediglich 3 m der Strasse, während 25 Blöcke à  $1 \text{ m}^3$  insgesamt 25 m (=  $25 \times 1.0 \text{ m}$ ) der Strasse betreffen.

Die Szenarienbildung muss daher mit der entsprechenden Sorgfalt durchgeführt werden und ist entsprechend zu dokumentieren.

Die Anzahl Blöcken, die das Schadenpotential erreichen kann, steigt je näher und grösser die Gefahrenquelle ist. Somit ist es theoretisch möglich, dass die Berechnungen  $p(rA)$ -Werte  $>1$  ergeben (der Überlagerungseffekt von den Blöcken wird bei diesem Vorgehen nicht berücksichtigt). In solchen Fällen, soll die Ausgangslage überprüft werden. Es ist möglich, dass die Situation eher einem Felssturz entspricht (trotz Volumen  $<100 \text{ m}^3$ ) und es kann sinnvoller sein, die Richtwerte für Felssturz anzuwenden statt eine Berechnung anhand von Blockgrössen und Blockzahl durchzuführen (siehe Kap. 3.3).

### 3. Anwendungsbeispiele

Im Folgenden wird das oben definierte Vorgehen anhand von 3 Fallbeispielen erläutert. Die Beispiele decken dabei die folgenden drei Fälle ab:

- 1) Situation mit gut dokumentierten Ereignissen;
- 2) Situation mit ungenügender Dokumentation an Ereignissen;
- 3) Felssturz.

Im ersten Fall kann die  $p(rA)$  anhand von bestehenden Daten hergeleitet werden, während im zweiten Fall oft ergänzende Simulationen nötig sind. Beim Felssturz wird das Vorgehen von der Situation abhängen. Das Ziel der Methode ist, wenn immer möglich, die bestehenden Daten auszuschöpfen und weitere Untersuchungen erst unternehmen, wenn man keine Sinnvollen Rückschlüsse mit der Ereignisanalyse machen kann.

#### 3.1. Signal de Champex : Situation mit gut dokumentierten Ereignissen

##### Ausgangslage

Das Ausbruchgebiet bei Signal de Champex in der Gemeinde Orsières ist aktiv und gefährdet den Wanderweg, die Gemeindestrassen, diverse Gebäude und die Kantonsstrasse (siehe Abbildung 4, [5], [6]).



**Abbildung 4:** Blick auf das Ausbruchgebiet (gelb), die aktive Geröllschuttzone (rote Pfeile) und einen Teil der gefährdeten Objekte (blau). Aus [6].



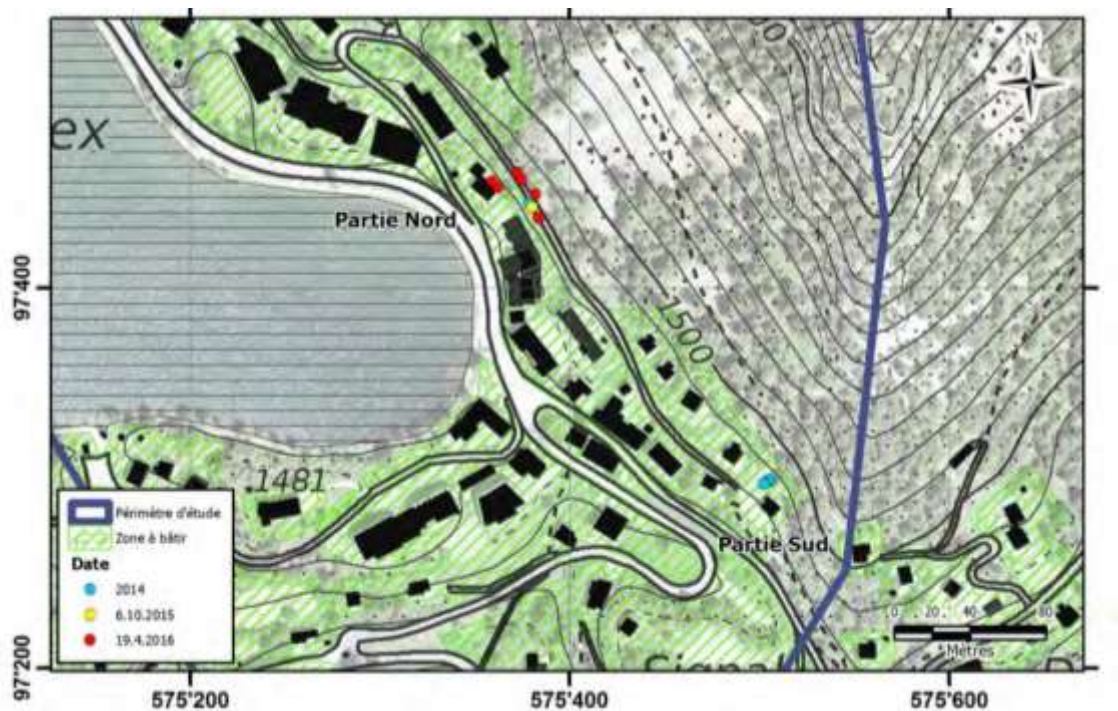
## Ereignisanalyse

Es sind folgende Ereignisse dokumentiert:

Im Jahr **2014** haben mehrere Ereignisse stattgefunden. Ein Block (ca. 50 Liter) stoppte auf der Strasse oberhalb des Gebäudes Mont Lac; weiter südlich blieben mehrere Blöcke (> 200 Liter) im Wald oberhalb der Bauzone liegen.

Am **6. Oktober 2015** wird ein 150 l Block oberhalb der Residenz Mont Lac durch das Gelände entlang der Strasse aufgehalten. Viele Blöcke blieben beim Ereignis in der Geröllhalde liegen oder wurden durch Bäume gestoppt.

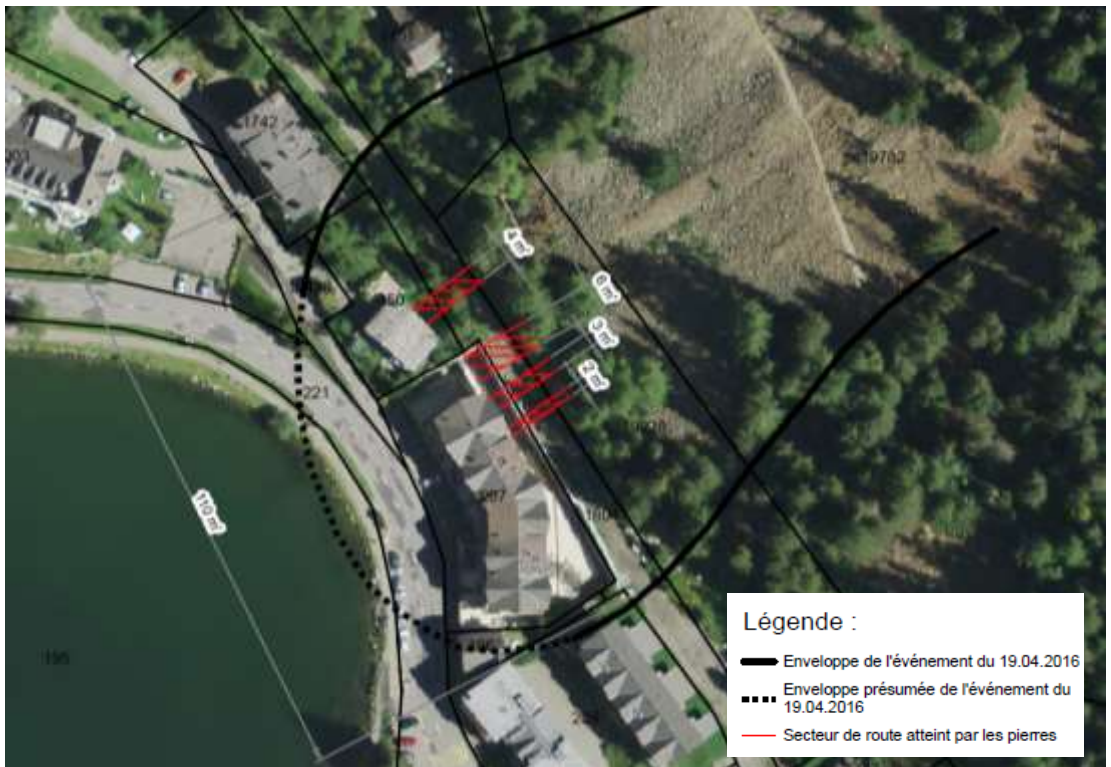
In der Nacht vom **19. April 2016** ereignete sich ein weiteres Steinschlagereignis bei der Residenz Mont Lac. Mehrere Blöcke verschiedener Grösse (der grösste  $0.8 \text{ m}^3$ ) landeten auf die Gemeindestrasse, einige prallten gegen eine Hauswand, ein anderer wird durch ein Solarpanel entlang der Strasse gestoppt. Weitere Blöcke blieben im Wald oder in der Geröllhalde liegen.



**Abbildung 5:** Dokumentierte und lokalisierte Ereignisse bis in die Bauzone seit 2012 gemäss [5].



**Abbildung 6:** Auswertung des Ereignisses vom 19. April 2016. Detailaufnahme im Sektor Mont Lac [7].

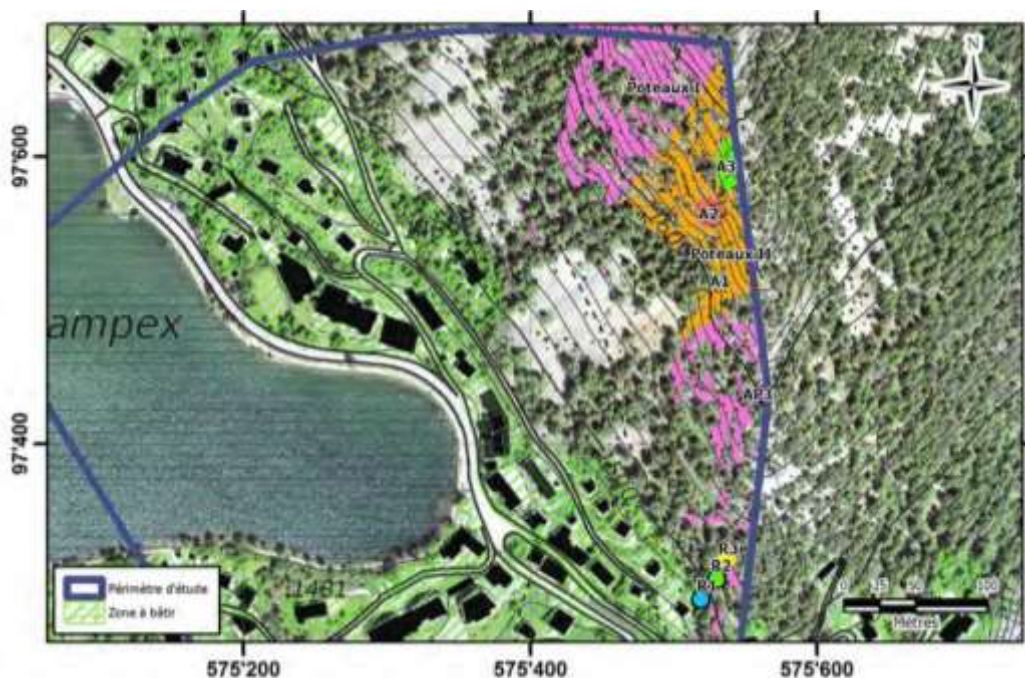


**Abbildung 7:** Ereignis vom 19.04.2016. In Rot die Sektoren mit Blöcken, welche die Strasse erreicht haben. In Schwarz die Umhüllende des Ereignisses (hier gutachterlich aufgrund der Ereignisanalyse erstellt). Dem Ereignis wurde eine Häufigkeit von 30 Jahren zugeordnet. Aus [6].



## Szenarienbildung

Im Rahmen der Gefahrenbeurteilung [5] wurden die massgebenden Gefahrenpotenziale ausgeschieden und beschrieben. Ebenfalls wurden die für die Szenarienbildung relevanten Blockgrössen und Anzahl Blöcke definiert und beurteilt.



**Abbildung 8:** Situationsplan mit den ausgeschiedenen Gefahrenpotenzialen. Aus [5].

- > Die gewonnenen Informationen aus der Szenarienbildung und der Ereignisanalyse helfen nun zu bestimmen, welches das massgebende Ereignis pro Szenario im betrachteten Bereich ist.
- > Sind allenfalls mehrere Gefahrenpotenziale für das Szenario massgebend, werden deren jeweiligen Einwirkungsbreiten zu einer Gesamteinwirkungsbreite pro Szenario aufsummiert.
- > Diese Gesamteinwirkungsbreiten pro Szenario werden mit der relevanten Gefahrenbreite zur  $p(rA)$  umgerechnet.
- > Für die Szenarien, für welche keine Ereignisse dokumentiert sind, wird die  $p(rA)$  aufgrund der bereits bestimmten  $p(rA)$ -Werte und der Analyse der Gefahrenpotenziale gutachterlich hergeleitet.

## Massgebende $p(rA)$

### 30-jährliches Szenario

Infolge der Dokumentationen im Ereigniskataster und der Gefahrenbeurteilung [5] wird das Ereignis vom 19.04.2016 als massgebend resp. repräsentativ für das 30-jährliche Szenario erachtet.

Anhand der Blöcke die bei diesem Ereignis im Betrachtungsperimeter (in unserem Fall ist die Strasse hinter dem Gebäude Mont Lac das exponierteste Objekt) abgelagert wurden, wird die Einwirkungsbreite des Ereignisses bestimmt. In Abbildung 6 ist die Detailanalyse nach dem Ereignis ersichtlich. Aufgrund der abgelagerten Blöcke und Steine werden die effektiv tangierten Einwirkungssektoren mit der entsprechenden Breite bestimmt. Aus der Umhüllenden des Ereignisses kann die potentiell betroffene Abschnittslänge ( $l_{IK30}$ ) im Betrachtungsperimeter bestimmt werden. In Abbildung 7 ist die Ereignisbreite des analysierten Ereignisses noch aus der Vogelperspektive ersichtlich. Mit diesen Angaben kann die räumliche Auftretenswahrscheinlichkeit wie folgt bestimmt werden.

$$p(rA)_{Sz} = \frac{\text{Einwirkungsbreite } b_{Sz}}{\text{potenziell betroffene Abschnittslänge } l_{IKSz}}$$

$$p(rA)_{30} = \frac{4 + 6 + 3 + 2 \text{ m}}{110 \text{ m}} = \frac{15 \text{ m}}{110 \text{ m}} = 0.14$$

Aus dem 30-jährlichen Ereignis werden die p(rA)-Werte für die restlichen Szenarien abgeleitet.

- > *Szenario 10 Jahre:* Für ein 10-jährliches Ereignis wurden folgenden Annahmen getroffen: Ereignis mit einer Einwirkungsbreite von 0.5 m (1 Block ca. 150 l) bezogen auf eine potenziell betroffene Abschnittslänge von 50 m.
- > *Szenario 100 Jahre:* Für das 100-jährliche Ereignis wurden folgende Annahmen getroffen: Ereignisvolumen und somit Einwirkungsbreite rund 6 x höher als in Sz30 (ca. 90m). Die potenziell betroffene Abschnittslänge ist ebenfalls rund 3 x länger (ca. 360m).
- > *Szenario 300 Jahre:* Identisch mit dem Szenario 100 Jahre

In der Tabelle 1 sind die verwendeten p(rA) aufgelistet.

	<b>Sz10</b>	<b>Sz30</b>	<b>Sz100</b>	<b>Sz300</b>
<b>p(rA)</b>	0.01	0.14	0.25	0.25
Bemerkungen	1 Block 150 l erreicht die Strasse 0.5 m / 50 m	Ausgewertetes Ereignis 2016 15 m / 110 m (siehe oben)	Extrapolation aus Sz30 90 m / 360 m	Identisch mit Sz100

**Tabelle 1:** Festlegung der p(rA) Werte für die verschiedenen Szenarien ausgehend vom ausgewerteten Ereignis 2016 und der Analyse der Gefahrenpotentiale.

### 3.2. Ganggi, Gondo: Situation mit ungenügender Dokumentation an Ereignissen

Im Folgenden wird ein Beispiel beschrieben, welches nicht über eine gute Ereignisdokumentation verfügt und die räumliche Auftretenswahrscheinlichkeit daher über Simulationen hergeleitet werden muss.

#### Ausgangslage

Die rund 350 m hohe Felswand liegt 100-200 m von der Simplon-Passstrasse entfernt. Es gibt zahlreiche instabile Blöcke und Felskompartimente. Am Hangfuss zeugt ein grobblockiger Schuttfächer von reger Aktivität. Rund alle 10 Jahre kommt es zu Ereignissen bis in den Strassenbereich. Die beobachteten Blöcke im Strassenbereich weisen eine Grösse von rund 0.5 – 1.5 m<sup>3</sup> auf. Die häufigeren Steinschläge bleiben oft auf dem Schuttfächer liegen. So stürzten im Januar 2016 rund 5 m<sup>3</sup> Felsmaterial zu Tal, der grösste Block (1.25 m<sup>3</sup>) blieb im unteren Teil des Schuttfächers liegen.

Die strukturelle Analyse der Felswand hat gezeigt, dass das Gestein relativ stark zerklüftet ist. Deshalb sind Gefahrenpotenziale mit einem Einzelblockvolumen > 5 m<sup>3</sup> eher unwahrscheinlich. Hingegen können aufgrund der Zerklüftung durchaus mehrere solche Einzelblockkompartimente abbrechen [8].



**Abbildung 9:** Blick in die Felswand Ganggi

### Szenarienbildung

- > *10-jährliches Szenario:* Anhand der beobachteten Ereignisse wird ein  $0.75 \text{ m}^3$  Block als massgebend definiert. Es wird davon ausgegangen, dass sich im 10-jährlichen Szenario 5 solcher Blöcke mobilisieren können.
- > *30-jährliches Szenario:* Anhand der beobachteten Ereignisse sind  $0.75 \text{ m}^3$  und  $1.25 \text{ m}^3$  Blöcke die massgebenden Blockgrößen. In der Felswand wurden 2 Gesteinspakete mit einem Volumen von je  $9 \text{ m}^3$  ( $3 \times 1.25 \text{ m}^3$  und  $7 \times 0.75 \text{ m}^3$  Blöcke) als Gefahrenpotenziale der gleichen Abbruchwahrscheinlichkeit ausgeschieden. Das massgebende Ereignisvolumen des 30-jährlichen Szenarios ist somit  $18 \text{ m}^3$ , das sich in  $6 \times 1.25 \text{ m}^3$  und  $14 \times 0.75 \text{ m}^3$  Blöcke aufteilt.
- > *100-jährliches Szenario:* Aufgrund der vorhandenen Disposition in der Felswand wurden drei Felskompartimente à je  $25 \text{ m}^3$  ( $3 \times 2.5 \text{ m}^3$ ,  $5 \times 1.25 \text{ m}^3$  und  $15 \times 0.75 \text{ m}^3$  Blöcke) als massgebende Gefahrenpotenziale definiert. Das massgebende Ereignisvolumen des 100-jährlichen Szenarios ist somit  $75 \text{ m}^3$ , das sich in  $9 \times 2.5 \text{ m}^3$ ,  $15 \times 1.25 \text{ m}^3$  und  $45 \times 0.75 \text{ m}^3$  Blöcke aufteilt.
- > *300-jährliches Szenario:* Aufgrund der Disposition in der Felswand wurden für das 300-jährliche Szenario vier Felskompartimente mit je einem Volumen von  $80 \text{ m}^3$  ( $3 \times 5.0 \text{ m}^3$ ;  $8 \times 2.5 \text{ m}^3$ ,  $12 \times 1.25 \text{ m}^3$  und  $40 \times 0.75 \text{ m}^3$  Blöcke) als massgebende Gefahrenpotenziale ausgeschieden. Das massgebende Ereignisvolumen des 300-jährlichen Szenarios ist  $320 \text{ m}^3$ , das sich in  $12 \times 5.0 \text{ m}^3$ ;  $32 \times 2.5 \text{ m}^3$ ,  $48 \times 1.25 \text{ m}^3$  und  $160 \times 0.75 \text{ m}^3$  Blöcke aufteilt.

Tabelle 2 fasst die zu betrachtenden Szenarien zusammen:

Blockgrösse [m <sup>3</sup> ]	Kantenlänge [m]	Anzahl Blöcke / Szenario			
		10 J (3.75 m <sup>3</sup> )	30 J (2 x 9 m <sup>3</sup> )	100 J (3 x 25 m <sup>3</sup> )	300 J (4 x 80 m <sup>3</sup> )
0.75 (1.1 x 1.0 x 0.7)	1.0	5	14	45	160
1.25 (1.7 x 1.0 x 0.75)	1.5	-	6	15	48
2.5 (2.3 x 1.4 x 0.8)	2.0	-	-	9	32
5.0 (2.8 x 1.8 x 1.0)	2.5	-	-	0	12
<b>Total</b>		<b>5</b>	<b>20</b>	<b>69</b>	<b>252</b>

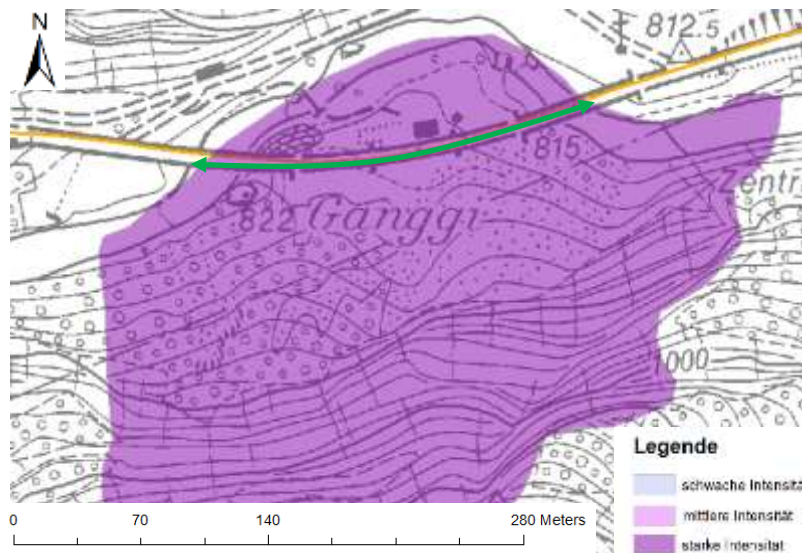
**Tabelle 2:** Zusammenstellung der möglichen Sturzblöcke anhand der Szenarien.

### Hinweis :

Die Wahl der Blockgrösse muss sehr gut überlegt sein, da der Einfluss auf die Trefferwahrscheinlichkeit und somit auch auf die  $p(rA)$  sehr gross ist.

### Intensitätskarten

Die Intensitätskarten wurden im Rahmen der Gefahrenbeurteilung erstellt. Als Beispiel ist in Abbildung 10 die Intensitätskarte 30 Jahre ersichtlich. Die potenziell betroffene Abschnittslänge  $I_{IK30}$  im Bereich der Strasse ergibt sich aus der Umhüllenden.



**Abbildung 10:**  $I_{IK30}$  mit der potentiell betroffenen Abschnittslänge von 230 m (grün).

### Trefferwahrscheinlichkeit

Sobald keine gute Ereignisdokumentation zu Verfügung steht, muss mit Trefferwahrscheinlichkeiten gearbeitet werden, da man nicht sagen kann, wieviel von den angenommenen Blöcken den Beobachtungspereimeter (Strasse, Bahn, Bauzone, etc.) effektiv erreichen können.

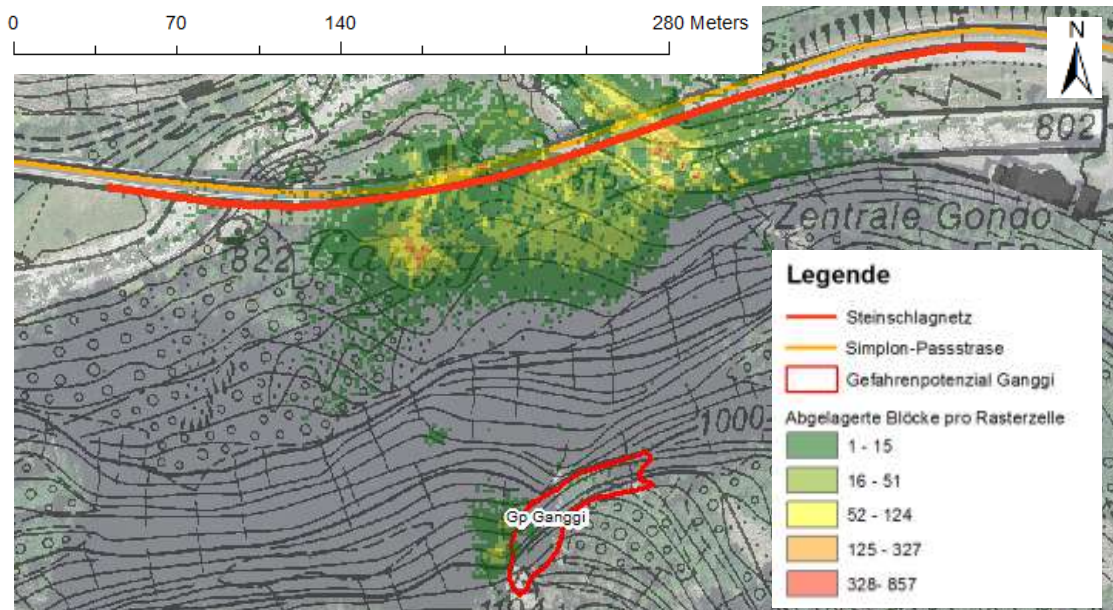
Die Herleitung der Trefferwahrscheinlichkeit kann für die massgebende Blockgrösse aus der Gefahrenanalyse oder mittels Steinschlag-Simulationsprogramme erfolgen.

Im nachfolgenden Beispiel wurde das Programm Rockyfor3D benutzt. Mit Hilfe von rund 100'000 Simulationen wurde der Anteil Blöcke, welcher den bergseitigen Rand der Strasse passierten, bestimmt. Dazu wird eine Kontrollschnittstelle in diesem Bereich eingefügt. Die Ergebnisse sind in Abbildung 11 ersichtlich.

Aus dem in Rockyfor3D generierten Textfile ist ersichtlich, dass für den  $0.75 \text{ m}^3$  Block rund 20'600 von den 103'000 simulierten Blöcken die Strasse erreichen. Beim  $1.25 \text{ m}^3$  Block erreichen rund 21'650 von den 103'000 simulierter Blöcke die Strasse. Die Trefferwahrscheinlichkeit im Bereich der Strasse beträgt somit für den  $0.75 \text{ m}^3$  Block 20 % (=  $20'600 / 103'000$ ) und für den  $1.25 \text{ m}^3$  Block 21.0 % (=  $21'650 / 103'000$ ).

Dies wird nun für den  $2.5 \text{ m}^3$  und den  $5.0 \text{ m}^3$  Block wiederholt. Für den  $2.5 \text{ m}^3$  Block beträgt die Trefferwahrscheinlichkeit 25.0 % und für den  $5.0 \text{ m}^3$  Block 30.0 %. Abbildung 11 zeigt die abgelagerten Blöcke aus der Simulation mit dem  $1.25 \text{ m}^3$  Block.





**Abbildung 11:** Simulation der Felswand Ganggi, Blockgrösse  $1.25 \text{ m}^3$ .

### Berechnung der räumlichen Auftretenswahrscheinlichkeit $p(rA)$

Die Herleitung der  $p(rA)$  erfolgt nach dem oben erwähnten Verfahren indem die Einwirkungsbreite im Bereich der betroffenen Abschnittslänge für jede Blockgrösse aufsummiert wird. Die Einwirkungsbreite wird aus der Kantenlänge, der Anzahl Blöcke und der Trefferwahrscheinlichkeit hergeleitet. Die betroffene Abschnittslänge ergibt sich aus der Umhüllenden der Intensitätskarte.

#### Szenario 10 Jahre:

Pot. betroffene Abschnittslänge [m]			200			
Mob. Volumen [m <sup>3</sup> ]	Relevante Block-grösse [m <sup>3</sup> ]	Kantenlänge [m]	Anzahl. Blöcke	Trefferwahrscheinlichkeit Strasse	Einwirkungsbreite [m]	$p(rA)$
$3.75 \text{ m}^3$	$0.75 \text{ m}^3$ ( $1.1 \times 1.0 \times 0.7$ )	1.0	5	0.2	1.0 = $(1.0 \text{ m} \times 5 \text{ Blöcke} \times 0.20)$	0.005 = $1.0 \text{ m} / 200 \text{ m}$

**Tabelle 3:** Herleitung der Einwirkungsbreite und Berechnung der  $p(rA)$  für das 10-jährliche Szenario.

#### Szenario 30 Jahre:

Pot. betroffene Abschnittslänge [m]			230			
Mob. Volumen [m <sup>3</sup> ]	Relevante Block-grösse [m <sup>3</sup> ]	Kantenlänge [m]	Anzahl. Blöcke	Trefferwahrscheinlichkeit Strasse	Einwirkungsbreite [m]	$p(rA)$
$18.0 \text{ m}^3$	$0.75 \text{ m}^3$ ( $1.1 \times 1.0 \times 0.7$ )	1.0	14	0.2	4.69 = $(1.0 \text{ m} \times 14 \text{ Blöcke} \times 0.20 + 1.5 \text{ m} \times 6 \text{ Blöcke} \times 0.21)$	0.020 = $4.69 \text{ m} / 230 \text{ m}$
	$1.25 \text{ m}^3$ ( $1.7 \times 1.0 \times 0.75$ )	1.5	6	0.21		

**Tabelle 4:** Herleitung der Einwirkungsbreite und Berechnung der  $p(rA)$  für das 30-jährliche Szenario.

Szenario 100 Jahre:

Pot. betroffene Abschnittslänge [m]		250				
Mob. Volumen [m <sup>3</sup> ]	Relevante Block-grösse [m <sup>3</sup> ]	Kantenlänge [m]	Anzahl. Blöcke	Trefferwahrscheinlichkeit Strasse	Einwirkungsbreite [m]	p(rA)
75 m <sup>3</sup>	0.75 m <sup>3</sup> (1.1 x 1.0 x 0.7)	1.0	45	0.2	18.23 = 1.0 m x 45 Blöcke x 0.20 + 1.5 m x 15 Blöcke x 0.21 + 2.0 m x 9 Blöcke x 0.25)	0.073 =18.23 m / 250 m
	1.25 m <sup>3</sup> (1.7 x 1.0 x 0.75)	1.5	15	0.21		
	2.50 m <sup>3</sup> (2.3 x 1.4 x 0.8)	2.0	9	0.25		

**Tabelle 5:** Herleitung der Einwirkungsbreite und Berechnung der p(rA) für das 100-jährliche Szenario.

Szenario 300 Jahre:

Pot. betroffene Abschnittslänge [m]		270				
Mob. Volumen [m <sup>3</sup> ]	Relevante Block-grösse [m <sup>3</sup> ]	Kantenlänge [m]	Anzahl. Blöcke	Trefferwahrscheinlichkeit Strasse	Einwirkungsbreite [m]	p(rA)
320 m <sup>3</sup>	0.75 m <sup>3</sup> (1.1 x 1.0 x 0.7)	1.0	160	0.20	72.12 = (1.0 m x 160 Blöcke x 0.20 + 1.5 m x 48 Blöcke x 0.21 + 2.0 m x 32 Blöcke x 0.25 + 2.5 m x 12 Blöcke x 0.3)	0.267 =72.12 m / 270 m
	1.25 m <sup>3</sup> (1.7 x 1.0 x 0.75)	1.5	48	0.21		
	2.50 m <sup>3</sup> (2.3 x 1.4 x 0.8)	2.0	32	0.25		
	5.00 m <sup>3</sup> (2.8 x 1.8 x 1.0)	2.5	12	0.30		

**Tabelle 6:** Herleitung der Einwirkungsbreite und Berechnung der p(rA) für das 300-jährliche Szenario.

### 3.3. San Marco: Felssturz

#### Ausgangslage

Im Gebiet San Marco befindet sich ein ca. 1'000 m<sup>3</sup> mächtiges, relativ stark geschiefertes Felspaket in einer 80 m hohen Felswand. Dieses ist rund 125 m von der Simplonpassstrasse entfernt. Am Fusse der Felswand befindet sich ein bewaldeter Schuttfächer, welcher bis knapp an die Strasse reicht. Es sind keine Ereignisse aus diesem Gefahrenpotenzial bekannt [9].



Abbildung 12: Gefahrenpotenzial San Marco [9].

#### Hinweis:

Grundsätzlich muss zuerst die Frage gestellt werden, in welchem Bereich das betrachtete Objekt, in unserem Fall die Strasse, den Prozessraum quert. Liegt das Objekt eindeutig noch im Bereich, in dem die Sturzblöcke den Prozessraum flächendeckend überstreichen („Blocklawine“), können die p(rA)-Werte gemäss Tabelle 7 verwendet werden (EconoMe-Richtwerte). Befindet sich das Objekt jedoch im Einflussbereich von Einzelblöcken so müssen die p(rA)-Werte hergeleitet werden.

	< 30-jährlich	30-jährlich	100-jährlich	300-jährlich	Extremereignisse
p(rA)	0.8	0.8	0.7	0.9	1

Tabelle 7: Richtwerte der p(rA) für den Prozess Felssturz.

Im Beispiel San Marco befindet sich die betrachtete Strasse bereits im Auslaufbereich von Einzelblöcken, daher erfolgt die Bestimmung der p(rA) nach dem nachfolgend beschriebenen Vorgehen.

#### Szenarienbildung

Anhand einer detaillierten Feldaufnahme wurden Abbruchvolumen, Abbruchwahrscheinlichkeit sowie die relevanten Blockgrössen bei einem Abbruch definiert. In San Marco wurden das Volumen auf 1'000 m<sup>3</sup> geschätzt und die Abbruchwahrscheinlichkeit einem Szenario 100 Jahre zugeordnet. Da die Kluftabstände relativ gross sind und der Fels

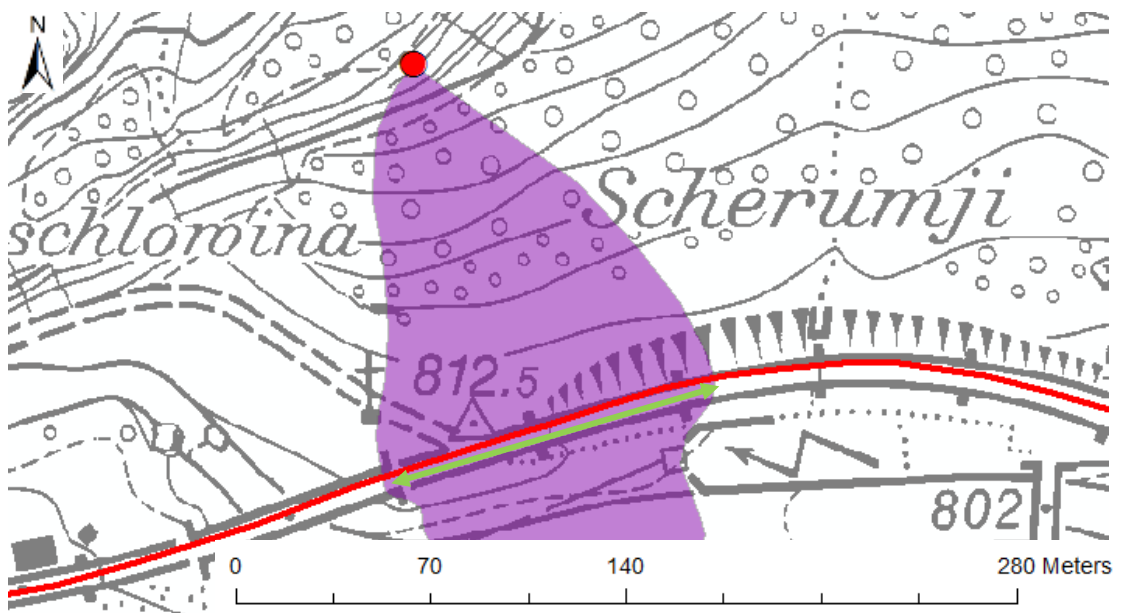
praktisch nicht verschiefert ist, sind relativ grosse Blockgrößen möglich. Im Feld konnten mehrere solche grossen Einzelblöcke innerhalb des Gefahrenpotenzials identifiziert werden (s. Tabelle 8).

Ereignisvolumen [m <sup>3</sup> ]	Blockgrösse [m <sup>3</sup> ]	Kantenlänge [m]	Anz. Blöcke	Volumen [m <sup>3</sup> ]
1'000 m <sup>3</sup>	25.0 (4.6 x 3.0 x 1.8)	4.0	8	200
	10.0 (3.5 x 2.0 x 1.5)	3.0	20	200
	5.0 (2.5 x 1.8 x 1.1)	2.0	40	200
	1.0 (1.3 x 1.0 x 0.8)	1.0	200	200
	0.5 (1.0 x 0.8 x 0.6)	1.0	400	200
	<b>Total</b>			<b>668</b>

**Tabelle 8:** Relevante Blockgrößen und Anzahl Blöcke - Beispiel San Marco.

### Erarbeiten der Intensitätskarten

Die Intensitätskarte wurde für das 100-jährliche Szenario ausgearbeitet. Sie ist in Abbildung 13 dargestellt.

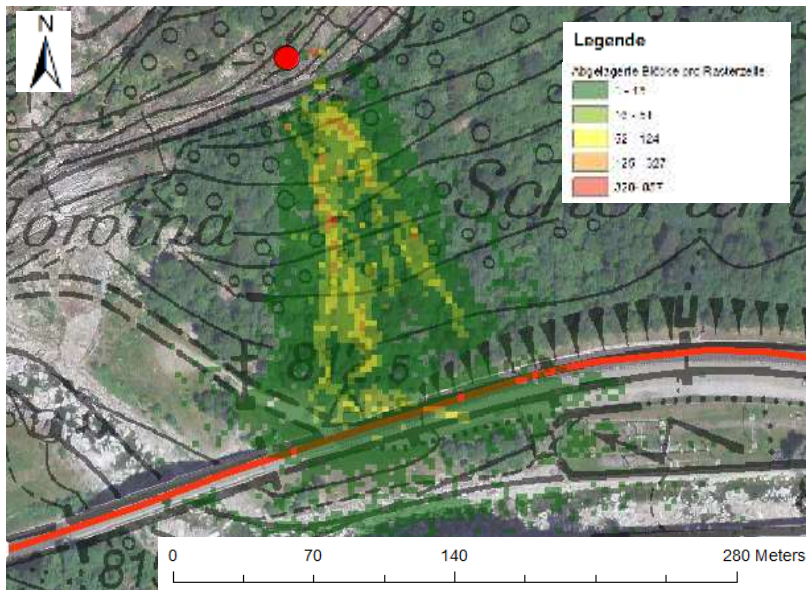


**Abbildung 13:** Intensitätskarte 100 Jahre – Felssturz San Marco. Die betroffene Abschnittslänge beträgt 120 m (grüner Pfeil).

### Trefferwahrscheinlichkeit

Das zu erwartende Ereignis kann nicht mit einem Standardblock definiert bzw. beschrieben werden. Die Trefferwahrscheinlichkeit bis in den Betrachtungsperimeter (Strasse) wird daher für jede definierte Blockgrösse separat bestimmt (analog zu Fallbeispiel 3.2). In Abbildung 14 sind die Simulationsresultate für den 1 m<sup>3</sup> Block dargestellt. Die Resultate für die anderen simulierten Sturzblöcke (0.5 m<sup>3</sup>, 5 m<sup>3</sup>, 10 m<sup>3</sup> und 25 m<sup>3</sup>) sind nicht dargestellt.





**Abbildung 14:** Simulation des 1 m<sup>3</sup> Blocks, Ablagerungen pro Rasterzelle.

Im vorliegenden Beispiel erreichen 9'260 Blöcke, d.h. 8.25 % der insgesamt 112'000 simulierten 1 m<sup>3</sup> Blöcke den Betrachtungsperimeter. Im massgebenden 100-jährlichen Szenario beträgt die betroffene Abschnittslänge 120 m (Abbildung 13). In Tabelle 9 sind die Einwirkungsbreite und die p(rA) für das Felssturzereignis in San Marco hergeleitet.

Erwartetes Volumen pro Szenario [m <sup>3</sup> ]	Relevante Blockgrösse(n) [m <sup>3</sup> ]	Kantenlänge [m]	Anzahl. Blöcke pro Szenario	Trefferwahrscheinlichkeit Strasse	Einwirkungsbreite des Szenarios [m]	p(rA)
1'000 m <sup>3</sup>	0.50 m <sup>3</sup> (1.0 x 0.8 x 0.6)	1.0	400	0.01	40.28 (1.0 m x 400 Blöcke x 0.01 + 1.0 m x 200 Blöcke x 0.08 + 2.0 m x 40 Blöcke x 0.12 + 3.0 m x 20 Blöcke x 0.13 + 4.0 m x 8 Blöcke x 0.09)	0.336 =40.28 m / 120 m
	1.0 m <sup>3</sup> (1.3 x 1.0 x 0.8)	1.0	200	0.08		
	5.0 m <sup>3</sup> (2.5 x 1.8 x 1.1)	2.0	40	0.12		
	10.0 m <sup>3</sup> (3.5 x 2.0 x 1.5)	3.0	20	0.13		
	25.0 m <sup>3</sup> (4.6 x 3.0 x 1.8)	4.0	8	0.09		

**Tabelle 9:** Herleitung Einwirkungsbreite und Berechnung der p(rA) für das 100-jährliche Szenario - Felssturz San Marco

## 4. Quellen

- [1] BAFU. Glossar EconoMe. Version 6.1, Juni 2010.
- [2] PLANAT Glossar. Risikokzept für Naturgefahren – Leitfaden. Version: 26. Februar 2009.
- [3] Dienststelle für Wald, Flussbau und Landschaft. Kanton Wallis. Pflichtenheft für die Beurteilung der Prozesse und Erstellung der Gefahrenkarten.
- [4] 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.
- [5] Bureau d'ingénieurs et géologues Tissières SA. Versant Sud-Ouest du Signal à Champex-Lac. Mise à jour de la carte de danger "chute de pierres" du versant Sud-Ouest du Signal et proposition de mesures de protection. Martigny, 16 juin 2016.
- [6] Nivalp SA. Signal - Champex. Commune d'Orsières. Projet de défense contre les chutes de pierres. Etude préliminaire. Rapport technique. Le Châble, août 2016
- [7] Dienststelle für Wald, Flussbau und Landschaft, Dienststelle für Mobilität. Diverse Fotos und Informationen. Sion Februar 2017.
- [8] Burchard GmbH. Steinschlagschutz Ganggi - San Marco, Gondo-Zwischbergen. Arbeitssicherheit Damm Ganggi. Brig-Glis, 08. März 2016
- [9] Burchard GmbH. Steinschlagschutz San Marco, Gondo-Zwischbergen. Gefahrenpotenziale A5 und A6. Brig-Glis, 29 August 2016.