

**BERÜCKSICHTIGUNG DER WIRKUNG VON  
SCHUTZMASSNAHMEN IN GEFAHRENKARTEN:  
VORGEHEN IN DER SCHWEIZ**

**CONSIDERATION OF THE EFFECT OF PROTECTION MEASURES  
IN HAZARD MAPS: THE SWISS APPROACH**

Stefan Margreth<sup>1</sup>, Hans Romang<sup>1</sup>

**ZUSAMMENFASSUNG**

Die Beurteilung der Wirkung von Schutzmassnahmen gegen Naturgefahren gewinnt zunehmend an Bedeutung. Deshalb hat eine Expertengruppe im Auftrag der PLANAT ein generelles Vorgehen entwickelt, welches die vergleichbare und nachvollziehbare Beurteilung von Schutzmassnahmen im Rahmen von Gefahrenbeurteilungen ermöglicht. Zuerst wurden allgemeine Grundsätze formuliert, die eine Schutzmassnahme erfüllen soll. Das eigentliche Vorgehen besteht aus vier Schritten. Im ersten Schritt, der Grobbeurteilung, wird aufgrund der bereits vorhandenen Kenntnisse zu den Prozessen und den Schutzmassnahmen eine erste Einschätzung vorgenommen. Im zweiten Schritt, der Massnahmenbeurteilung, wird die Zuverlässigkeit und daraus die Versagenswahrscheinlichkeit einer Massnahme bestimmt. Diese wird im dritten Schritt, der Wirkungsbeurteilung, verwendet, um die massgebenden Szenarien für die Gefahrenbeurteilung festzulegen. Im abschliessenden vierten Schritt werden Empfehlungen zur raumplanerischen Umsetzung erarbeitet. Das Vorgehen wird am Beispiel einer Stützverbaung erläutert.

**Keywords:** Schutzmassnahmen, Lawine, Gefahrenkarte, Umzonung

**ABSTRACT**

The assessment of the effect of protection measures against natural hazards becomes more and more important. Therefore the PLANAT charged an expert group to elaborate a procedure that allows the assessment of the effect of protection measures in the scope of hazard mapping in a comparable and comprehensible way. At first, general rules were formulated which a protection measure should fulfil. Then the procedure is based on four steps. Step 1 contains a rough evaluation of the available information on the process and the protection measure. In step 2 the measure is evaluated by determining its reliability and failure probability. Step 3 contains the assessment of the effect of the measure where the failure probability is the basis used to fix the determining scenarios for the hazard assessment. In the final step 4 recommendations are prepared for the implementation of the hazard map in land use planning. The procedure is explained with the example of snow supporting structures.

**Keywords:** protection measure, avalanche, hazard map, rezoning

---

<sup>1</sup> WSL Swiss Federal Institute for Snow and Avalanche Research (SLF), Flüelastrasse 11, CH 7260 Davos, Switzerland, (Tel.: +41-81-417-0254; Fax: +41-81-417-0110; e-mail: margreth@slf.ch)

## EINFÜHRUNG

In einem dicht bevölkerten Land wie der Schweiz können Konflikte zwischen Naturgefahren und dem Lebensraum des Menschen nicht verhindert werden. Zentrale Elemente des Risikomanagements, welches ein Leben mit vertretbaren Risiken ermöglichen soll, sind u.a. Gefahrenkarten und Schutzmassnahmen. Gefahrenkarten zeigen einerseits, wo sichere Lebensräume bestehen und andererseits, wo es Schutzdefizite gibt. Jährlich werden in der Schweiz rund 2.9 Milliarden Franken für Massnahmen zum Schutze gegen Naturgefahren aufgewendet (Wegmann et al. 2007). Diese Summe umfasst alle Ausgabe von Privaten und der öffentlichen Hand, alle verschiedenen Prozesse vom Sturm bis zum Erdbeben und alle Massnahmen von der Gefahrenkarte bis zum baulichen Schutz. Für den baulichen Lawinenschutz wurden beispielsweise seit dem Lawinenwinter 1951 „nur“ rund 1.5 Milliarden Franken eingesetzt. Da diese Investitionen sehr gross sind und sichere Lebensräume immer knapper werden ist es verständlich, dass der Druck steigt, die realisierten Schutzmassnahmen in den Gefahrenkarten zu berücksichtigen. Für die einheitliche Umsetzung dieser Forderung fehlen aber die Grundlagen weitgehend. Da die Erstellung von Gefahrenkarten in den letzten Jahren stark vorangetrieben wurde, ist der Handlungsbedarf gross. Zu beachten ist, dass die Raumnutzung sehr langfristig erfolgt. Die Besiedlung eines Gebietes dauert viel länger als die Lebensdauer von technischen Schutzmassnahmen beträgt. Die Berücksichtigung von Schutzmassnahmen in der Raumplanung muss deshalb sorgfältig und massgeschneidert gehandhabt werden, um einen angemessenen Sicherheitsstandard nachhaltig gewährleisten zu können und um neue Planungsfehler durch eine unbedachte intensivierte Nutzung gesicherter Gefahrenggebiete zu verhindern.

Im Jahre 2002 wurde in Bad Ragaz von den Fachleuten Naturgefahren Schweiz (FAN) ein Workshop zur Thematik durchgeführt (Romang et al. 2003). Die Diskussionen zeigten, dass zwar grosse Erfahrungen im Umgang mit Schutzmassnahmen bestehen, dass aber klare Unterschiede in der Berücksichtigung von Schutzmassnahmen bei Gefahrenbeurteilungen zwischen den verschiedenen Prozessen und Massnahmen vorhanden sind. Weiter fehlte ein systematisches Vorgehen. Aufbauend auf den Resultaten des Workshops wurde die Thematik von der Plattform Naturgefahren (PLANAT) aufgegriffen. In einem ersten Schritt wurde 2006 eine Expertengruppe beauftragt ein generelles Vorgehen zu entwickeln, welches eine vergleichbare und nachvollziehbare Beurteilung von Schutzmassnahmen im Rahmen der Gefahrenbeurteilung ermöglichen soll (Romang und Margreth 2007a). Im folgenden wird das erarbeitete Vorgehen vorgestellt.

## GRUNDSÄTZLICHES

Der vorliegende Artikel befasst sich speziell mit den technischen Massnahmen, welche auf den Gefahrenprozess Einfluss nehmen. Die vorgestellte Methodik kann für alle Prozesse angewendet werden, wobei hier exemplarisch werden Beispiele aus dem Lawinenverbau verwendet werden. Bei der Wirkungsbeurteilung von Verbauungen ist die enge Verbindung von Prozess und Bauwerk typisch. Die korrekte Bemessung basiert einerseits auf der Prozessanalyse und andererseits findet eine Interaktion zwischen Prozess und Bauwerk statt. Ein Bauwerk beeinflusst die Häufigkeit und/oder die Intensität des Prozesses und der Prozess belastet das Bauwerk (Einwirkung, Schädigung). Für die Berücksichtigung von Schutzmassnahmen können zunächst allgemeine Grundsätze formuliert werden, die in jedem Fall gelten sollen, damit die Wirkung einer Schutzmassnahme bei Gefahrenbeurteilungen berücksichtigt werden kann (Tab. 1).

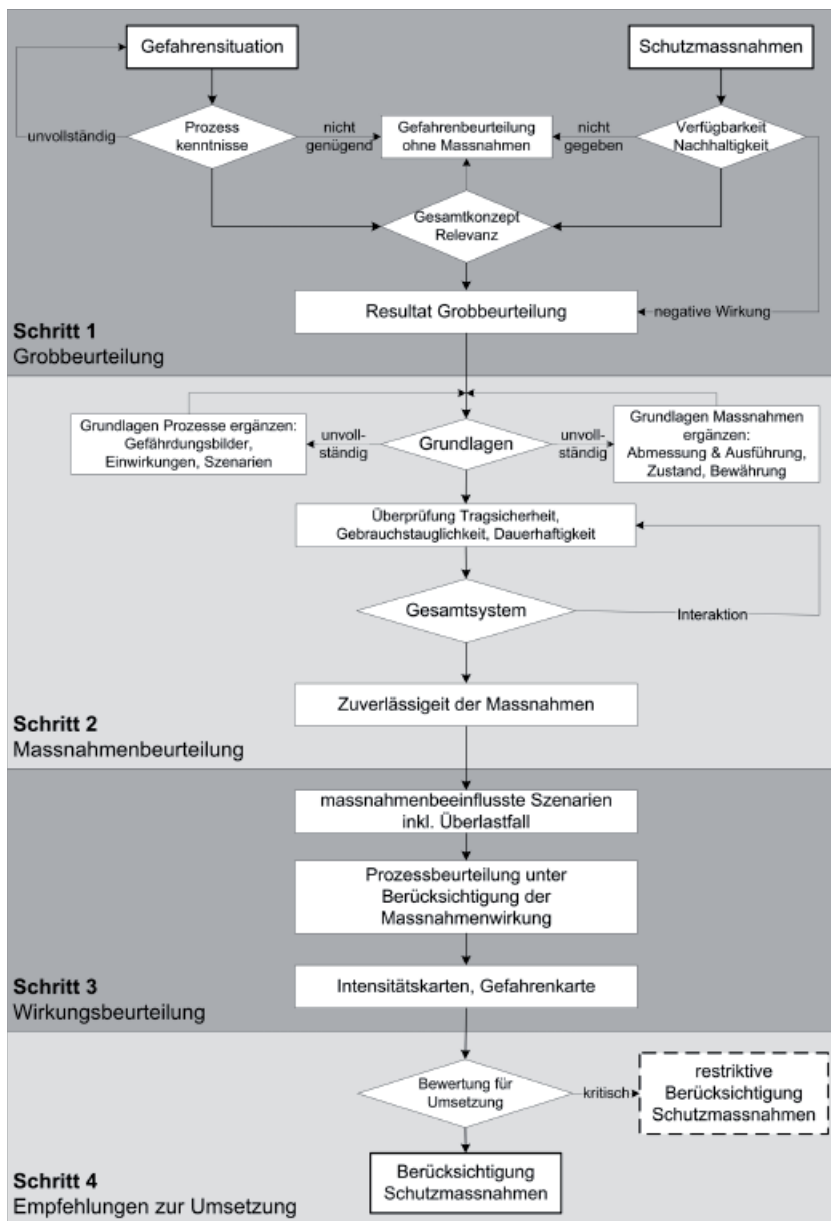
**Tab. 1:** Grundsätze zur Berücksichtigung von Schutzmassnahmen (Romang und Margreth 2007a)

**Tab. 1:** Requirements that a protection measure can be considered in a hazard map (Romang and Margreth 2007a)

<b>Intensität und Wahrscheinlichkeit</b>	Schutzmassnahmen werden berücksichtigt, indem ihre Auswirkungen auf die Wahrscheinlichkeit und Intensität eines Prozesses beurteilt wird. Damit die Massnahme überhaupt beurteilt werden kann, muss sie eine erkennbare beziehungsweise bestimmbare Wirkung auf den Prozess ausüben.
<b>Unsicherheiten</b>	Ist die Auswirkung der Massnahme auf den Prozess kleiner als die Unsicherheiten bei der Prozessbeurteilung, wird sie nicht berücksichtigt.
<b>Permanent verfügbar</b>	Eine Schutzmassnahme muss – damit sie berücksichtigt werden kann – permanent verfügbar sein und ihre Dauerhaftigkeit soll mit üblichem Unterhalt mindestens 50 Jahre betragen.
<b>Temporäre Massnahmen</b>	Generell werden temporäre Massnahmen wie die künstliche Lawinenauslösung oder der mobile Hochwasserschutz nicht berücksichtigt. Ausnahmen sind nur dann möglich, wenn eine hohe Zuverlässigkeit und eine relevante Wirkung nachgewiesen werden kann. Dies setzt unter anderem Dauerhaftigkeit und weitgehende Unabhängigkeit von menschlichen Eingriffen voraus.
<b>Abgenommene Werke</b>	Schutzmassnahmen werden in der Regel erst nach erfolgter Bauabnahme berücksichtigt.
<b>Gesamtsystem</b>	Die Massnahme ist sowohl als Einzelsystem als auch in Bezug auf das Gesamtsystem zu betrachten.
<b>Szenarien</b>	Die Beurteilung der Schutzmassnahme basiert auf den in der Schweiz bei Gefahrenbeurteilungen üblichen Szenarien mit hoher (bis 30 Jahre), mittlerer (30 bis 100 Jahre) und geringer Eintretenswahrscheinlichkeit (100 bis 300 Jahre) sowie der Betrachtung eines extremen Ereignisses mit sehr geringer Eintretenswahrscheinlichkeit (über 300 Jahren), welches eine bedeutende Mehrbelastung für das zu untersuchende System darstellt (Überlastfall).
<b>Zeit</b>	Da sich sowohl die Massnahmen als auch die Prozesse zeitlich verändern, müssen sie periodisch neu beurteilt werden. Diese zeitlichen Veränderungen erfordern auch eine vorsichtige Berücksichtigung in der Raumnutzung.

## METHODIK

Die Methodik wurde mit dem Ziel entwickelt, eine vergleichbare und nachvollziehbare Beurteilung von Schutzmassnahmen im Rahmen von Gefahrenbeurteilungen zu ermöglichen. Sie basiert auf den in der Schweiz verwendeten Bundesempfehlungen über die Berücksichtigung der Lawinengefahren (BFF-SLF 1984), Massenbewegungsgefahren (BUWAL 1997) und Hochwassergefahren (BWW 1997) bei raumwirksamen Tätigkeiten. Weiter wurden die in den Baunormen des SIA (SIA 2003) gebrauchten Begriffe wie Tragsicherheit, Gebrauchstauglichkeit und Dauerhaftigkeit verwendet. Die Methodik wurde so ausgelegt, dass die Wirkung sowohl für bestehende Massnahmen, wo sich insbesondere die Frage der Beurteilung des Zustandes stellt, wie auch für neu projektierte Massnahmen, wo in der Regel eine Gefahrenkarte ohne Massnahme vorliegt, angewendet werden kann. Das Kernstück der Vorgehensweise stellt ein Flussdiagramm dar (Abb.1). Das strukturierte Vorgehen ermöglicht Unsicherheiten zu erfassen und im Hinblick auf die raumplanerische Umsetzung zu bewerten. Die Beurteilung der Wirkung von Schutzmassnahmen kann in vier Schritte zusammengefasst werden.



**Abb. 1:** Generelles Vorgehen zur Berücksichtigung von Schutzmassnahmen (Romang und Margreth 2007a)  
**Fig. 1:** Procedure for the consideration of the effect of protection measures (Romang and Margreth 2007a)

## Schritt 1 : Grobbeurteilung

Aufgrund von bestehenden Unterlagen über die Gefahrensituation und die Schutzmassnahme, sowie dem allgemeinen Fachwissen wird eine erste Einschätzung vorgenommen. Es werden die vorliegenden Prozesskenntnisse, sowie die Verfügbarkeit und Nachhaltigkeit der Massnahmen untersucht. Aufgrund dieser Faktoren sowie der Relevanz der betrachteten Massnahme wird entschieden, ob ihre Wirkung vertieft geprüft werden soll. Sind die Unsicherheiten bei den Prozesskenntnissen z.B. wegen ungenügender Datenlage oder methodischen Defiziten zu gross oder kann die permanente Verfügbarkeit der Massnahme nicht gewährleistet werden, wird eine Gefahrenbeurteilung ohne Massnahme durchgeführt. In der Expertengruppe war man sich einig, dass nicht fest vor Ort installierte Massnahmen wie z.B. mobile Hochwasserschutzsysteme oder Massnahmen wie die künstliche Auslösung von Lawinen, deren Funktionsfähigkeit stark vom menschlichen Eingreifen abhängt, auszuschliessen sind. Wichtig ist, dass das Gesamtkonzept, in das die Schutzmassnahme eingebunden ist, u.a. auf Grund der lokalen Eigenheiten des Standortes beurteilt wird. Kann aufgrund der Grobbeurteilung von einem wirkungsvollen Gesamtkonzept und damit relevanten Schutzmassnahmen ausgegangen werden, welche permanent über längere Zeit verfügbar sind und nach heutigem Stand des Wissens quantitativ und mit vertretbaren Unsicherheiten zu beurteilen sind, wird die Detailbeurteilung der Massnahme durchgeführt. Muss auf Grund einer sehr schlechten Verbauungswirkung erwartet werden, dass gegenüber dem natürlichen Zustand eine Verschärfung der Gefährdung auftreten kann, muss die Detailbeurteilung mit der Massnahme ebenfalls durchgeführt werden.

## Schritt 2: Massnahmenbeurteilung

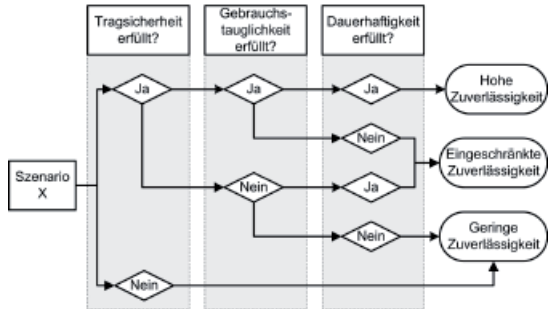
Zunächst gilt es sicherzustellen, dass die Grundlagen sowohl zu den Prozessen (z.B. Gefährdungsbilder, Einwirkungen, Szenarien) als auch zu den Massnahmen (z.B. Ausführung, Bemessung, Zustand) vollständig sind. Dann werden Tragsicherheit, Gebrauchstauglichkeit und Dauerhaftigkeit beurteilt. Eine Betrachtung des Gesamtsystems (z.B. Untersuchung, ob das Einsturz einer einzelnen Sperre zum Versagen der gesamten Sperrtreppe führen kann) ist integraler Teil dieses Schrittes.

- Bei der Beurteilung der Tragsicherheit wird das Verhalten eines Bauwerkes hinsichtlich Stabilität und Tragwiderstand bei einer bestimmten Einwirkung untersucht. Eine pauschale Beurteilung wurde von der Expertengruppe als genügend erachtet, wenn z.B. wie bei einem Lawinenauffangdamm bezüglich der Tragsicherheit grosse Reserven bestehen oder der Tragwiderstand durch eine Typenprüfung (z.B. homologierte Steinschlagschutznetze oder Lawinenstützwerke) bekannt ist. Eine quantitative Überprüfung der Tragsicherheit ist bei Bauwerken wie z.B. Hochwasserschutzdämmen angezeigt, wo die Funktionsfähigkeit der Massnahme vom Tragwiderstand dominiert wird.
- Die Gebrauchstauglichkeit beschreibt die Fähigkeit eines Bauwerkes die Funktionstüchtigkeit in Bezug auf die festgelegten Nutzungsanforderungen zu gewährleisten. Mangelhafte Gebrauchstauglichkeit zeigt sich in der Regel in einer Abnahme der Wirkung auf den Prozess. Die Wirkungshöhe eines Steinschlagnetzes kann z.B. infolge von aufgefangenen Blöcken reduziert sein. Diese Beurteilungen können qualitativ wie auch quantitativ durchgeführt werden.
- Die Überprüfung der Dauerhaftigkeit erfolgt in der Regel qualitativ. Befinden sich beispielsweise verankerte Lawinenstützwerke in einem Kriechhang, der sich in 10 Jahren um rund 80 cm verschoben hat, ist die Dauerhaftigkeit infolge der hohen Kriechraten sehr fraglich (Abb. 2).

- Am Schluss von Schritt 2 wird auf Grundlage der Tragsicherheit, Gebrauchstauglichkeit und Dauerhaftigkeit die Zuverlässigkeit der Massnahme bestimmt (Abb. 3). Bei einer geringen Zuverlässigkeit muss mit einer grossen Versagenswahrscheinlichkeit gerechnet werden. Eine geringe Zuverlässigkeit ist z.B. erreicht, wenn zwar die Tragfähigkeit, jedoch nicht die Gebrauchstauglichkeit und Dauerhaftigkeit erfüllt sind. In der folgenden Wirkungsbeurteilung zeigt eine solche Massnahme keine Wirkung.



**Abb. 2:** Stützverbauungen in einem Kriechhang mit Deformationen von mehr als 1.0 m. Wisse Schijen Randa.  
**Fig. 2:** Supporting structures built on a slope with creep deformations of more than 1.0 m. Wisse Schijen Randa.



**Abb. 3:** Bestimmung der Zuverlässigkeit aufgrund von Tragsicherheit, Gebrauchstauglichkeit und Dauerhaftigkeit.  
**Fig. 3:** Determination of the reliability based on the structural safety, serviceability and durability.

### Schritt 3: Wirkungsbeurteilung

Die Einschätzung der Zuverlässigkeit beziehungsweise der Versagenswahrscheinlichkeit erlaubt nun zusammen mit den Prozesskenntnissen die Szenarien unter Berücksichtigung der Wirkung der Massnahmen zu bestimmen. Mit den bekannten Methoden der Prozessbeurteilung wird der Einfluss der Massnahme auf den Prozessablauf quantifiziert. Bei einer Stützverbauung stehen z.B. die Szenarien Lawinenanbruch neben der Verbauung, Lawinenanbruch im Verbau und der Anbruch von Oberlawinen im Vordergrund (Romang und Margreth 2007b). Um die Intensität des Prozesses für ein bestimmtes Szenario unter Berücksichtigung der Massnahme zu bestimmen, können z.B. bei Hochwasserdämmen die Massnahmen direkt in das Geländemodell integriert und eine Überflutung simuliert werden. Dagegen ist bei einem Lawinenauffangdamm die Wirkung zwischen Prozess und Massnahme sehr komplex. Es empfiehlt sich die Wirkung indirekt zu berücksichtigen, indem eine spezifische Lawinsimulation mit dem infolge der abbremsenden Wirkung des Dammes reduzierten Szenario durchgeführt wird. Es sind immer auch Extremszenarien zu berücksichtigen, wo das Verhalten einer Massnahme bei einem Szenario untersucht wird, das das Bemessungsszenario übertrifft (Überlastfall). Die Prozessbeurteilung ist vom Prozess- und Massnahmentyp abhängig. Um die Interaktion zwischen Prozess und Massnahme bestimmen zu können, muss eine abgestützte Methodik für die Wirkungsbeurteilung bestehen. Es resultieren Intensitäten und Wahrscheinlichkeiten je Szenario und somit die Grundlagen für die Gefahrenkarten.

#### Schritt 4: Empfehlungen zur Umsetzung

Im Hinblick auf die raumplanerische Umsetzung wird empfohlen neben der in Schritt 3 erarbeiteten Gefahrenkarte auch „weiche Faktoren“ etwa hinsichtlich Nachhaltigkeit oder Unsicherheit der Schutzmassnahme zu bewerten. Daraus ergibt sich eine abschliessende Empfehlung für die raumplanerische Umsetzung. Die Expertengruppe war sich einig, dass Gefahrenkarten ausschliesslich nach wissenschaftlichen Kriterien zu erstellen sind und keine Umsetzungsaspekte beinhalten dürfen. Daran wird auch im Zusammenhang mit Schutzmassnahmen festgehalten, denn Gefahrenkarten bilden nicht nur eine Grundlage für die Raumnutzung, sondern auch für Interventionskarten oder temporäre Massnahmen. Der Verfasser einer Gefahrenkarte soll im technischen Bericht eine Bewertung der Gesamtsituation im Hinblick auf die mögliche Umsetzung vornehmen. Dabei sind die wissenschaftlichen und umsetzungstechnischen Aspekte nachvollziehbar aufzuzeigen. Grundlage dazu bilden die in Tabelle 2 aufgeführten Förder- und Hemmfaktoren. Die Umsetzung soll von der Behörde in Zusammenarbeit mit dem Gefahrenexperten durchgeführt werden. Wenn eine Massnahme die Intensität und Wahrscheinlichkeit des Prozesses zwar positiv beeinflusst, aber die Gesamtsituation hinsichtlich der Umsetzung als ungünstig bewertet wird, ist eine restriktive Berücksichtigung angezeigt. Dies kann bedeuten, dass beispielsweise keine Neueinzonungen erfolgen oder dass Bauten nur mit Objektschutzmassnahmen zugelassen werden.

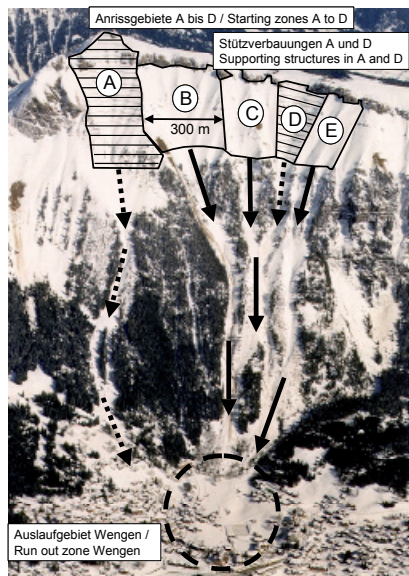
**Tab. 2:** Faktoren für die Bewertung hinsichtlich der Umsetzung der Gefahrenkarte

**Tab. 2:** Factors for the evaluation in regard of the conversion of hazard maps

<b>Förderfaktoren</b>	<b>Hemmfaktoren</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>+ Die Massnahme zeichnet sich durch eine hohe Zuverlässigkeit aus.</li> <li>+ Nach einem Versagen oder ungenügendem Funktionieren der Massnahme kann sie einfach ersetzt, erweitert oder verstärkt werden.</li> <li>+ Es bestehen Pufferzonen oder Reserven: Falls die Massnahme nicht wunschgemäss funktioniert, besteht beispielsweise eine vorhandene Auslaufstrecke, wo die Prozessintensität schnell abnimmt.</li> <li>+ Redundanzen der Massnahme: Ein Versagen der Massnahme hat keine unmittelbaren Konsequenzen auf den Prozessablauf oder ein Versagen bahnt sich an und die Konsequenzen können mit weiteren beispielsweise temporären Massnahmen reduziert werden.</li> <li>+ Erfahrungen mit der Massnahme. So gibt es etwa bei Lawinen mehr Erfahrungen über die Wirkung von Stützwerken als von Auffangdämmen.</li> <li>+ Gute Prozesskenntnisse (z.B. zahlreiche dokumentierte Ereignisse im Ereigniskataster) und klarer Prozessablauf.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Unterschiedliche Prozesse können auftreten und sich u. U. gegenseitig negativ beeinflussen (z.B. Steinschlagnetz in einem Lawinenauslaufgebiet).</li> <li>- Allgemeine Veränderungen des Gebietes (z.B. Geländeverschiebungen oder Rutschgebiete).</li> <li>- Klimasensitivität (z.B. mobilisierbare Geröllmassen in Permafrostzonen)</li> <li>- Faktor Mensch: Massnahme funktioniert nicht automatisch oder kann im Katastrophenfall nur schwierig überwacht werden (Bsp. Zugänglichkeit der Massnahme schwierig).</li> <li>- Unsicherheiten beim Prozess (z.B. tiefgründige Rutschungen) und bei der Wirkung der Massnahme.</li> <li>- Potenzielle Widersprüche zu den Grundsätzen gem. Tab. 1.</li> </ul>

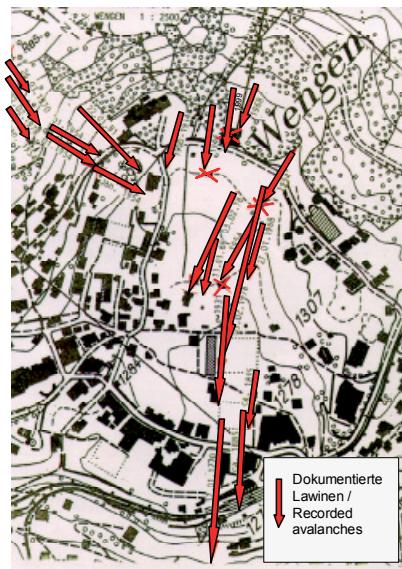
## ANWENDUNGSBEISPIEL EGGIGRABENLAWINE, WENGEN (BE)

Mit dem Beispiel der Eggigrabenlawine in Wengen wird das generelle Vorgehen zur Berücksichtigung von Schutzmassnahmen bei Gefahrenbeurteilungen am Beispiel einer Stützverbauung erläutert. 1974 wurde für Wengen eine erste Lawinengefahrenkarte erstellt. Anschliessend wurde das breite Anrissgebiet durch den Verbau einer Geländekammer unterteilt. 1991 wurde die Gefahrenkarte auf Grund der erstellten Verbauung angepasst. Nach dem Lawinenwinter 1999 wurde die Gefahrenkarte erneut überprüft, wobei sich keine Änderungen ergaben (Abb. 6).



**Abb. 4:** Übersicht über die Westflanke des Männlichen mit der Eggigrabenlawine und Wengen.

**Fig. 4:** Overview on the West face of Männlichen with the Eggigraben avalanche and the village of Wengen.



**Abb. 5:** Ereigniskataster Eggigrabenlawine (Quelle: KAWA, Abt. Naturgefahren, Interlaken).

**Fig. 5:** Recorded avalanches of the Eggigraben avalanche (Source: KAWA, Natural hazard department, Interlaken).

### Schritt 1: Grob beurteilung

**Gefahrensituation:** Das rund 39° steile und 1 km breite Anrissgebiet der Eggigrabenlawine liegt in der Westflanke des Männlichen zwischen rund 2200 und 2000m (Abb. 4). Das über 40 ha grosse Anbruchgebiet wird durch markante Kreten in verschiedene Teilgebiete unterteilt, die zum Teil über eigene Sturzbahnen verfügen. Ein gleichzeitiges Anbrechen der ganzen Flanke kann als eher unwahrscheinlich beurteilt werden. Unterhalb von 1450 m vereinigen sich die verschiedenen Sturzbahnen, bevor das flachere Auslaufgebiet von Wengen, das sich auf der Geländeterrasse hoch über dem Lauterbrunnental befindet, erreicht wird. Mit zahlreichen Beobachtungen ist das Lawinengeschehen der Eggigrabenlawine sehr gut dokumentiert. 1770 durchfloss die Eggigrabenlawine die Geländeterrasse von Wengen und hatte 8 Todesopfer zur Folge (Abb. 5). Diese Lawine soll auf der gesamten Breite (Anrissgebiete B+C+D+E; Abb. 4) angebrochen sein. 1885 drang eine Lawine bis zum



Bahnhof von Wengen vor. Die Wiederkehrdauer einer Lawine für das Erreichen des Siedlungsgebietes beträgt rund 25 Jahre. Die Lawinengefahrenkarte (Abb. 6) wurde auf der Grundlage von Lawinenkataster, Geländebeobachtungen und lawinentechnischen Berechnungen erstellt, wobei dem Lawinenkataster die grösste Bedeutung beigegeben wurde. Bei den lawinentechnischen Berechnungen für die Erarbeitung der Gefahrenkarte wurde vom Szenario ausgegangen, dass die 3 Teilanrissgebiete C+D+E mit einer Breite von rund 550 m gleichzeitig anbrechen (Tab. 3). Das rote Gefahrenggebiet erstreckt sich bis zur Dorfstrasse, das blaue Gebiet bis zum Bahnhof von Wengen. Im roten Gefahrenggebiet betragen beim 300-jährlichen Lawineneignis die Drücke mehr als  $30 \text{ kN/m}^2$  (BFF-SLF 1984). Im blauen Gefahrenggebiet sind beim 300-jährlichen Lawineneignis die Drücke kleiner als  $30 \text{ kN/m}^2$ . Zusätzlich wurde ein gelbes Gebiet angeführt, das sich über die gesamte Geländeterrasse von Wengen erstreckt. Mit der gelben Zone wurde die Restgefährdung bezeichnet, die vom theoretisch möglichen Anbruch des gesamten Anrissgebietes ausgeht. 20 Gebäude befinden sich im roten und 19 Gebäude im blauen Gefahrenggebiet.

**Schutzmassnahmen:** Ein Vollverbau der Eggigrabenlawine würde rund 16 km Stützwerke benötigen, die Bauzeit wurde auf rund 30 Jahre geschätzt. Wegen den grossen Aufwendungen wurde zwischen 1979 und 1986 schliesslich nur das rund 4 ha grosse Teilanrissgebiet der mittleren Eggigrabenlawine (Anrissgebiet D) mit rund 1870 m Stahlschneebrücken permanent verbaut. Die Verbauung wurde richtliniengemäss erstellt. Die Baukosten für diese sogenannte Verbauung Gratlücke betragen 3.8 Mio. Franken. Zusätzlich wurde aufgeforstet. Das Hauptziel der Verbauung besteht darin, einen für das Siedlungsgebiet von Wengen katastrophalen Absturz der Eggigrabenlawine auf maximaler Breite zu verhindern.

In der vorliegenden Situation ergibt die Grobbeurteilung, dass von einem wirkungsvollen Gesamtkonzept ausgegangen werden kann. Es kann eine relevanten Wirkung erwartet werden. Von der als massgebend angesehenen Anbruchfläche C+D+E wurde mit der Fläche D rund 30% verbaut, dadurch konnten die Anrissflächen C und E voneinander getrennt werden, was sich in bedeutend kleineren Lawinenkubaturen äussert.

## **Schritt 2: Massnahmenbeurteilung**

Das Lawinenverbaungs- und Aufforstungsprojekt ist gut dokumentiert. Die wichtigsten Unterlagen sind der technische Bericht, der Werkdispositionsplan und der nachgeführte Verbaukataster. Bei den eingebauten Stützwerken handelt es sich um typengeprüfte permanente Stahlschneebrücken des Fabrikats Voest-Alpine und Fromm. Die Werkanordnung entspricht den Richtlinien für den Lawinenverbau im Anbruchgebiet (Margreth 2007). Als Fundationen wurden Betonsockel sowie Mikropfähle und Anker eingebaut. Der Zustand der Verbauung wird jährlich visuell geprüft.

Die Tragsicherheit der eingebauten Stützwerke ist erfüllt. Es handelt sich um homologierte Standardwerktypen. Der Tragwiderstand ist für eine Überlast mit einer 0.5 m mächtigen Schneedecke ausreichend. Nach den Wintern 1995 und 1999 traten infolge Bodenbewegungen in der Verbauung Gratlücke rund 30 Ankerbrüche auf. Diese Schäden wurden saniert und haben zu keiner Zeit die Wirksamkeit der Verbauung als Gesamtsystem beeinträchtigt.

Bei der Gebrauchstauglichkeit steht bei Stützwerken insbesondere die wirksame Werkhöhe im Vordergrund. Die vorhandenen Rosthöhe von 3.5 m deckt eine Schneehöhe von rund 4.5 m ab. In der Verbauung muss mit einer extremen Schneehöhe von rund 4.0 m bei einer Wiederkehrdauer von 100 Jahren gerechnet werden. Die Wahrscheinlichkeit für eine grossflächige Überschneigung der Verbauung schätzen wir auf weniger als 1/300. Seit ihrer Erstellung hat sich die Verbauung bewährt und eine gute Wirkung gezeigt. Winterbeobachtungen zeigten keine bedeutenden Schneebewegungen in der

Verbauungsfläche. Auch im schneereichen Lawinenwinter 1999 hat sich die Werkhöhe als genügend gross erwiesen. Die Gebrauchstauglichkeit ist erfüllt. Die Verbauung steht in stabilem Baugrund, ist nicht durch Felssturz, oder Lawineneinwirkungen gefährdet. Der Verbauungszustand kann heute als gut eingestuft werden. In der vorliegenden Situation erwarten wir eine Nutzungsdauer von mindestens 50 Jahren. Die Dauerhaftigkeit ist erfüllt und folglich kann gemäss Abb. 3 von einer hohen Zuverlässigkeit der Massnahme ausgegangen werden.

### Schritt 3: Wirkungsbeurteilung

Die Szenarienbildung ist für die Wirkungsbeurteilung zentral. In der vorliegenden Situation, wo verbaute und unverbaute Anrissgebiete direkt nebeneinander liegen und die extreme Schneehöhe durch die Stützwerke abgedeckt wird, steht ein Lawinenanbruch neben der verbauten Fläche im Vordergrund (Romang und Margreth 2007b). Zusätzlich kann ein Anbruch in den verbauten Flächen nicht ausgeschlossen werden. Dies erachten wir jedoch als unwahrscheinlicher als ein Anbruch neben der Verbauung.

**Tab. 3:** Anbruchszenarien Eggigrabenlawine mit und ohne Verbauung (vgl. Abb. 4)

**Tab. 3:** Scenarios for the fracture area of the Eggigraben avalanche with and without the effect of snow supporting structures (see Fig. 4)

Ohne Verbauung				Mit Verbauung Gratlücke (Anrissgebiet D)			
Szenario	Anrissfläche	Bewertung	Wahrscheinlichkeit	Szenario	Anrissfläche	Bewertung	Wahrscheinlichkeit
B	10 ha	Nicht massgebend	1/300	B	10 ha	massgebend	1/300
C+D+E	15 ha	massgebend	1/300	C+0.5D	8 ha	Nicht massgebend	<1/300
B+C+D+E	25 ha	Restgefährdung	<1/300	B+C	17 ha	Restgefährdung	<1/300

Das im Ausgangszustand als massgebend erachtete Szenario eines gleichzeitigen Lawinenanbruches in den Flächen C+D+E ist nicht mehr massgebend. Als massgebend wurde ein Anbruch in der Fläche B betrachtet. Der gleichzeitige Anbruch der Flächen B+C wurde wiederum als Restgefährdung betrachtet (Wahrscheinlichkeit <1/300).

Fünf Jahre nach der Fertigstellung der Verbauung wurde die Lawinengefahrenkarte Wengen überarbeitet (Abb. 6). Mit lawinentechnischen Berechnungen können die reduzierten Gefahrenggebiete quantifiziert werden. Infolge der kleineren Lawinenkubaturen ergeben sich kürzere Auslaufstrecken. Die Anbruchkubatur reduzierte sich mit dem Verbau vom Gebiet D von rund 175'000 m<sup>3</sup> auf rund 115'000 m<sup>3</sup>, was bei der Berechnung mit dem Lawinenmodell AVAL-1D (SLF 1999) eine rund 80 m kürzere Auslaufstrecke ergibt. Die in der Schweiz für die Abgrenzung des roten Gefahrenggebietes verwendete 30 kN/m<sup>2</sup> Grenze verschiebt sich um rund 90 m. Die Resultate wurden in einer Gefahrenkarte dargestellt. Wegen den bestehenden Unsicherheiten in der Szenarienwahl wurde ehemaliges rotes und blaues Gebiet nicht mit weiss sondern mit gelb bezeichnet. Im Begleitschreiben zur Lawinengefahrenkarte an die Gemeinde Lauterbrunnen wurde darauf hingewiesen, dass die überarbeitete Lawinengefahrenkarte nur unter der Voraussetzung gilt, sofern sich die Verbauung in einem funktionstüchtigem Zustand befindet. Die Gemeinde bestätigte im Rahmen der Bauerklärung, die Verbauung in gutem Zustand zu erhalten.

### Schritt 4: Empfehlungen zur Umsetzung

In der vorliegenden Situation können die folgenden Punkte als positiv für die Umsetzung eingestuft werden:

- Richtliniengemäss eingebaute Stützverbauungen sind eine verlässliche Massnahme.
- Das Auslaufgebiet ist flach, Lawinen bremsen ab.
- Bei einem nicht wunschgemässen Funktionieren kann die Verbauung problemlos ausgebaut werden (z.B. Verbau einer weiteren Geländekammer).

Die grössten Unsicherheiten bestehen in der Wahl des massgebenden Anbruchszenarios. Zu beachten ist jedoch, dass diese Unsicherheiten auch im Ausgangszustand ohne Verbauung bestanden. Diese Unsicherheiten stufen wir im Vergleich zur Unsicherheit bei der Wirkung der Verbauung als bedeutend grösser ein. Deshalb erscheint eine relativ restriktive Umsetzung der Lawinengefahrenkarte insbesondere wegen den bestehenden Unsicherheiten in der Szenarienwahl angezeigt zu sein. Im Überbauungsplan von 1996 wurde nach der Überarbeitung der Lawinengefahrenkarte im alten roten Lawinengefahrenggebiet keine Einzonungen vorgenommen. Der grosse Teil des alten roten und neu blauen Gefahrenggebietes wurde nicht als Bauzone sondern als Zone für öffentliche Nutzung ausgeschieden.

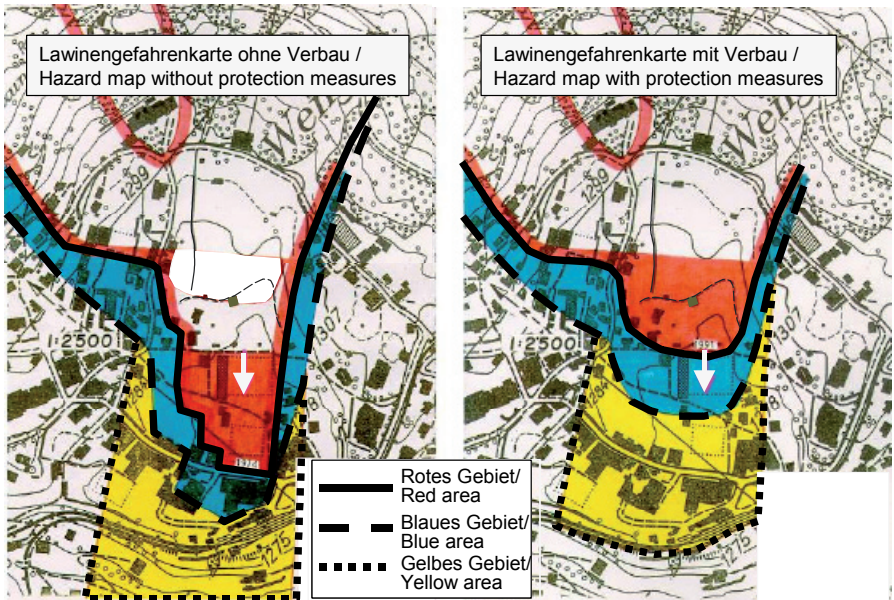


Abb. 6: Lawinengefahrenkarte mit und ohne Verbauung (Quelle: KAWA, Abt. Naturgefahren, Interlaken)

Fig. 6: Avalanche hazard map with and without protection measures (Source: KAWA, Natural hazard department, Interlaken).

## AUSBLICK

Das entwickelte Vorgehen erfüllt die Anforderungen an eine generelle, prozess- und massnahmenübergreifende Methodik, um die Wirkung von Schutzmassnahmen gegen Naturgefahren einheitlich beurteilen zu können. In einem nächsten Schritt werden für die wichtigsten Massnahmen pro Prozess Arbeitshilfen ausgearbeitet, um die konkrete Anwendung der Vorgehensweise zu erleichtern. In dieser zweiten Phase sollen auch die

Aspekte zur angemessenen raumplanerischen Umsetzung einer angepassten Gefahrenkarte vertieft werden. Diese kann Fragen zur Darstellung von angepassten Gefahrenkarten beinhalten oder auch konkrete Umsetzungsregeln wie beispielsweise, dass bei einer restriktiven Umsetzung zwar Neueinzonungen möglich sein sollen, Bauten jedoch nur mit Objektschutzmassnahmen erstellt werden dürfen. Die grössten Lücken bestehen unseres Erachtens in der Wirkungsbeurteilung, in der Einschätzung der Tragsicherheit von alten Bauwerken und in der Szenarienbildung. Oft liegen nur grobe methodische Modelle zur Prozessbeurteilung vor und die Szenarienbildung hängt stark von den vorhandenen Beobachtungen und der Erfahrung des Gutachters ab. Die vorgestellte Methodik ermöglicht dies zu berücksichtigen, indem nicht nur die Gefahrenkarte sondern auch die Gesamtsituation hinsichtlich der Umsetzung bewertet wird.

## LITERATUR

- BFF, SLF, 1984. Richtlinie zur Berücksichtigung der Lawinengefahr bei raumwirksamen Tätigkeiten. Eidg. Institut für Schnee- und Lawinenforschung, Bundesamt für Forstwesen, EDMZ, Bern.
- BWW, BUWAL, 1997. Empfehlungen Berücksichtigung der Hochwassergefahren bei raumwirksamen Tätigkeiten. Bundesamt für Wasserwirtschaft/Bundesamt für Raumplanung/Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, EDMZ, Bern.
- BWW, BUWAL, 1997. Empfehlungen Berücksichtigung der Massenbewegungsgefahren bei raumwirksamen Tätigkeiten. Bundesamt für Wasserwirtschaft/Bundesamt für Raumplanung/Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, EDMZ, Bern.
- Margreth S., 2007. Technische Richtlinie für den Lawinenverbau im Anbruchgebiet. Umweltwissen. Bundesamt für Umwelt, Bern, WSL Eidg. Institut für Schnee- und Lawinenforschung Davos, 134 S.
- Romang H., Margreth S., 2007a: Beurteilung der Wirkung von Schutzmassnahmen gegen Naturgefahren als Grundlage für ihre Berücksichtigung in der Raumplanung. Umsetzung der Strategie Naturgefahren Schweiz: Projekt A 3. Nationale Plattform Naturgefahren PLANAT, Bern, 19 S.
- Romang H., Margreth S., 2007b: Wirkung von Schutzmassnahmen gegen Naturgefahren. Wildbach- und Lawinenverbau. 71. Jg., Heft Nr. 155; 18-29.
- Romang H., Margreth S., Kienholz, H. und A. Böll, 2003. Berücksichtigung von Schutzmassnahmen bei der Gefahrenbeurteilung. Workshop der Fachleute Naturgefahren Schweiz (FAN) in Bad Ragaz.
- SIA, 2003. Einwirkungen auf Tragwerke. SIA Norm 260. Schweizerischer Ingenieur- und Architekten Verein, Zürich.
- SLF, 1999. Neue Berechnungsmethoden in der Lawinengefahrenkartierung – Unterlagen zum Berechnungsmodell AVAL-1D. Eidg. Institut für Schnee- und Lawinenforschung Davos.
- Wegmann, M., Merz, H. und K. Meierhans Steiner, 2007. Jährliche Aufwendungen für den Schutz vor Naturgefahren in der Schweiz. Umsetzung der Strategie Naturgefahren Schweiz: Projekt B 1. Nationale Plattform Naturgefahren PLANAT, Bern, 25 S.