



# Strategie Naturgefahren Schweiz

Umsetzung des Aktionsplans PLANAT 2005 - 2008

Projekt A 3

## Beurteilung der Wirkung von Schutzmassnahmen gegen Naturgefahren als Grundlage für ihre Berücksichtigung in der Raumplanung



Schlussbericht Phase 1  
Mai 2007





Nationale Plattform Naturgefahren  
Plate-forme nationale «Dangers naturels»  
Piattaforma nazionale «Pericoli naturali»  
National Platform for Natural Hazards

# **Strategie Naturgefahren Schweiz**

**Umsetzung des Aktionsplanes PLANAT 2005-2008**

Projekt A 3

## **Beurteilung der Wirkung von Schutzmassnahmen gegen Naturgefahren als Grundlage für ihre Berücksichtigung in der Raumplanung**

Schlussbericht Phase 1

Mai 2007

## Impressum

### Auftraggeber

Nationale Plattform Naturgefahren PLANAT  
c/o Abteilung Gefahrenprävention  
Bundesamt für Umwelt BAFU  
3003 Bern  
Telefon: 031 324 17 81  
Fax: 031 324 78 66  
[planat@bafu.admin.ch](mailto:planat@bafu.admin.ch)  
[www.planat.ch](http://www.planat.ch)

Bundesamt für Umwelt BAFU  
Abteilung Gefahrenprävention  
3003 Bern  
Telefon: 031 324 10 47  
Fax: 031 324 78 66  
[gefahrenpraevention@bafu.admin.ch](mailto:gefahrenpraevention@bafu.admin.ch)  
[www.bafu.admin.ch](http://www.bafu.admin.ch)

### Projektsteuerung (Gesamtprojekt)

Andreas Götz, BAFU, Präsident PLANAT (Leitung)  
Dr. Walter Ammann, SLF, PLANAT  
Dr. Pierre Ecoffey, ECAB, PLANAT  
Bruno Hostettler, BABS, PLANAT  
Dr. Hans Rudolf Keusen, Geotest AG, PLANAT  
Thomas Rageth, Abt. Wald Kanton Glarus, PLANAT

### Projektbetreuung (Gesamtprojekt)

Dr. Thomas Egli, Egli Engineering (Leitung)  
Dörte Aller, Aller Risk Management  
Christoph Werner, BABS  
Cornelia Winkler, Glenz, Walter & Winkler AG

### Projektleitung Projekt A 3

Dr. Thomas Egli, Egli Engineering

### Autoren Projekt A 3

Dr. H. Romang, WSL/SLF  
S. Margreth, WSL/SLF

### Auftragnehmer Projekt A3

Eidgenössische Forschungsanstalt für  
Wald, Schnee- und Landschaft WSL  
Zürcherstrasse 111  
8903 Birmensdorf  
Telefon: 044 739 21 11  
Fax: 044 739 22 15  
[wslinfo@wsl.ch](mailto:wslinfo@wsl.ch)  
[www.wsl.ch](http://www.wsl.ch)

### Kerngruppe Projekt A 3

Dr. G.R. Bezzola, BAFU  
A. Böll, WSL  
C. Bonnard, EPFL  
Dr. Ch. Hegg, WSL  
Dr. H.R. Keusen, Geotest AG, PLANAT  
Prof. Dr. H. Kienholz, GIUB  
A. Koschni, WSL

### Begleitung Projekt A 3

W. Eyer, Kanton Freiburg  
Dr. M. Frehner, Forstingenieurbüro, PLANAT  
C. Guggisberg, ARE, PLANAT

### Hinweis

Reproduktion, auch auszugsweise, ist nur mit schriftlicher Genehmigung der Nationalen Plattform Naturgefahren PLANAT gestattet.  
Der besseren Lesbarkeit wegen wird in dieser Publikation die männliche Form verwendet. Selbstverständlich ist jeweils die weibliche Form mitgemeint.

## Vorwort

Angeregt durch die Motion Danioth (1999) hat der Bundesrat der Nationalen Plattform Naturgefahren PLANAT den Auftrag erteilt, eine übergeordnete und vernetzte Strategie zur Verbesserung der Sicherheit vor Naturereignissen auszuarbeiten. Der Bundesrat betonte, dass der Schutz vor Naturgefahren nicht nur für die Bevölkerung im Alpenraum zu gewährleisten sei, sondern für die Bevölkerung in der ganzen Schweiz. Zudem wolle er im Sinn eines umfassenden Risikomanagements einen gesamtschweizerisch vergleichbaren Sicherheitsstandard erreichen. Ziel ist dabei der Schutz des Menschen und seiner natürlichen Lebensgrundlagen sowie der Schutz von erheblichen Sachwerten.

Bisher hat die PLANAT in einer ersten Etappe eine übergeordnete und vernetzte Strategie für die Sicherheit von Naturgefahren\*<sup>1</sup> erarbeitet. Die von der PLANAT erarbeitete Strategie entspricht der vom Bundesrat verfolgten Politik der Nachhaltigkeit und den in der Strategie des Eidgenössischen Departements für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK) verankerten Grundsätzen der einheitlichen Sicherheitsphilosophie. In der zweiten Etappe hat die PLANAT die heutige Situation im Bereich Naturgefahren analysiert\*<sup>2</sup> und einen Aktionsplan mit Massnahmen vorgeschlagen, welche 2005 bis 2008 in einer dritten Etappe umgesetzt werden.

Andreas Götz  
Präsident PLANAT

Ittigen, Mai 2007

### **Publikationen:**

\*<sup>1</sup> PLANAT (2004): Sicherheit vor Naturgefahren - Vision und Strategie.

\*<sup>2</sup> PLANAT (2005): Strategie Naturgefahren Schweiz (2005). Synthesebericht.



## Nationale Plattform Naturgefahren PLANAT

Umsetzung der Strategie Naturgefahren Schweiz:

Einzelprojekt A 3: Beurteilung der Wirkung von Schutzmassnahmen gegen Naturgefahren als Grundlage für ihre Berücksichtigung in der Raumplanung

Schlussfassung, 7. Mai 2007

### **Vorbemerkung**

**Der vorliegende Bericht dokumentiert die Ergebnisse der ersten Projektphase. Diese hatte zum Ziel ein generelles Vorgehen zu entwickeln, welches die vergleichbare und nachvollziehbare Beurteilung von Schutzmassnahmen im Rahmen der Gefahrenbeurteilung ermöglicht.**

**Im Rahmen der zweiten Projektphase 2007/08 wird dieses generelle Vorgehen in Form von Arbeitsanleitungen auf die einzelnen Prozesse und Massnahmen umgesetzt.**

**Es muss deshalb betont werden, dass das vorliegende Dokument als Entwurf und als Zwischenbericht aus einem laufenden Projekt zu verstehen ist. Ergänzungen und Anpassungen sind wahrscheinlich.**

**Die Projektbeteiligten nehmen gerne inhaltliche Anregungen entgegen.**



## Zusammenfassung

Die Beurteilung der Wirkung von Schutzmassnahmen gegen Naturgefahren ist eine wichtige Aufgabe. Deshalb hat die PLANAT im Rahmen ihres Aktionsplanes das Projekt A3 initiiert. Im Rahmen der ersten Phase dieses Projektes wurde ein generelles Vorgehen entwickelt, welches die vergleichbare und nachvollziehbare Beurteilung von Schutzmassnahmen im Rahmen der Gefahrenbeurteilung ermöglicht. Es wird im vorliegenden Bericht vorgestellt.

Für die Berücksichtigung von Schutzmassnahmen können zunächst allgemeine Grundsätze formuliert werden. Es wurden zehn Regeln aufgestellt, die in jedem Fall gelten sollen. Sie sprechen verschiedene Punkte wie die Quantifizierung von Intensität und Wahrscheinlichkeit, Unsicherheiten, Verfügbarkeit der Massnahme, zu berücksichtigenden Szenarien, Versagenswahrscheinlichkeiten oder die zeitliche Entwicklungen an.

Für die Beurteilung des konkreten Falles wurde eine Vorgehensweise bestehend aus vier Schritten entwickelt. Im ersten Schritt, der Grobbeurteilung, wird aufgrund der bereits vorhandenen Kenntnisse zu den Prozessen und den Schutzmassnahmen eine erste Einschätzung vorgenommen. Die entscheidenden Kriterien leiten sich im Wesentlichen aus den allgemeinen Grundsätzen ab. Im zweiten Schritt, der Massnahmenbeurteilung, wird die Zuverlässigkeit der Massnahme bestimmt. Basis dazu ist eine Einschätzung von Tragsicherheit, Gebrauchstauglichkeit und Dauerhaftigkeit sowohl für die Einzelmassnahme als auch für das Gesamtsystem. Aus der Beurteilung der Zuverlässigkeit lässt sich direkt die Versagenswahrscheinlichkeit ableiten. Diese wird im dritten Schritt, der Wirkungsbeurteilung, verwendet, um die massgebenden Szenarien festzulegen. Die Gefahrenbeurteilung unter Berücksichtigung der Massnahmenwirkung erfolgt dann mit den jeweiligen Methoden der Prozessbeurteilung. Im abschliessenden vierten Schritt werden Empfehlungen zur raumplanerischen Umsetzung erarbeitet. Hier geht es insbesondere darum, das Resultat der Gefahrenbeurteilung mit Schutzmassnahmen zu bewerten. Weiche Faktoren wie Unsicherheiten, Erfahrungen, räumliche Voraussetzungen im Wirkungsgebiet, etc. spielen hier eine wesentliche Rolle.

Das entwickelte Vorgehen erfüllt die Anforderungen an ein generelles, prozess- und massnahmenübergreifendes Projekt. Für die konkrete Anwendung ist aber eine massnahmen-spezifische Ausgestaltung in Form von Arbeitshilfen notwendig. Diese Arbeiten wurden bereits zu Projektbeginn für die zweite Projektphase vorgesehen. In diesem Rahmen sollen dann auch die im Bericht angeschnittenen Aspekte zur angemessenen raumplanerischen Umsetzung weiter vertieft werden.



**Inhalt**

<b>1. Einleitung</b>	<b>1</b>
<b>2. Grundsätze zur Berücksichtigung von Schutzmassnahmen</b>	<b>2</b>
<b>3. Allgemeine Vorgehensweise</b>	<b>4</b>
<b>4. Schritt 1: Grobbeurteilung</b>	<b>6</b>
<b>5. Schritt 2: Massnahmenbeurteilung</b>	<b>9</b>
<b>6. Schritt 3: Wirkungsbeurteilung</b>	<b>15</b>
<b>7. Schritt 4: Empfehlungen zur Umsetzung</b>	<b>17</b>
<b>8. Schluss und Ausblick</b>	<b>19</b>

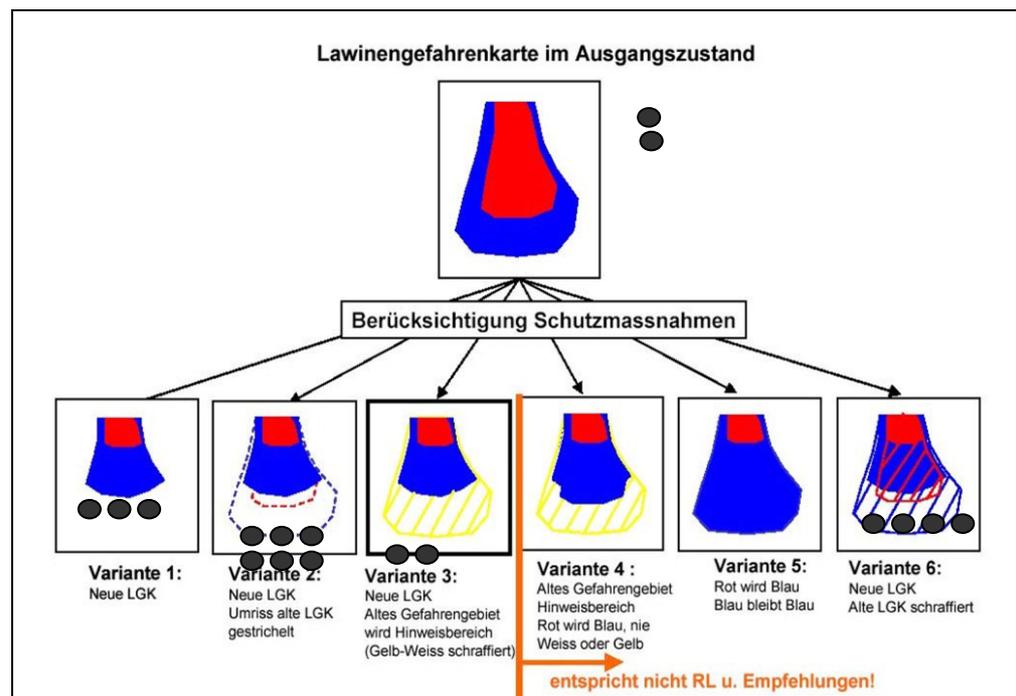
Entwurf



## 1. Einleitung

**Ausgangslage** Die Praxis steht vor dem Problem, wie Schutzmassnahmen in Gefahrenkarten berücksichtigt und darauf basierend Gefahrenzonen und vergleichbare, rechtsrelevante Grundlagen angepasst werden können.

Grundsätzlich bestehen viele Erfahrungen im Umgang mit Schutzmassnahmen. Allerdings werden die Fragestellungen nicht einheitlich angegangen. Es bestehen klare Unterschiede zwischen Prozessen und Massnahmen, aber auch zwischen BearbeiterInnen und Kantonen, vertretend für die Seite der Auftraggeber (Abbildung 1).



*Abbildung 1: Unterschiedliche Darstellungen einer Lawinen-Gefahrenkarte nach der Realisierung eines Verbaus. Auf die Frage, welche Darstellung bevorzugt würde, wurden im Rahmen einer Gruppenarbeit im FAN-Workshop 2002 durch die Teilnehmer die schwarz hervorgehobenen Punkte vergeben.*

### Problemstellung

Die Berücksichtigung von Schutzmassnahmen in der Gefahrenbeurteilung setzt voraus, dass die massgebenden Zusammenhänge und Parameter bekannt sind und quantifiziert werden können. Dazu gehören auch die Beurteilung bei einer möglichen Überlastung der Massnahme und der Umgang mit den vorhandenen Unsicherheiten.

Die Praxis orientiert sich zwar an den Farben der Gefahrenkarte, ist sich aber auch bewusst, dass der Weg dazu ebenso wichtig ist. Deshalb würde eine systematische Vorgehensweise begrüsst werden. Dazu gehört die Verbesserung von Methoden zur Bestimmung von Intensität und Wahrscheinlichkeit unter dem Einfluss von Massnahmen, die Definition allgemeingültiger Kriterien bis hin zur Festlegung der zu berücksichtigenden Massnahmen.

Fragen etwa im Zusammenhang mit der zeitlichen Entwicklung wurden erkannt aber noch nicht gelöst. Allgemein könnte hier auch vom Umgang mit Unsicherheiten gesprochen werden. Alle Faktoren können nur innerhalb einer gewissen Bandbreite erfasst oder abgeschätzt werden. Diese Variabilität spielt beim Umgang mit Schutzmassnahmen eine wichtige Rolle.

- Zielsetzung** Es wird ein generelles Vorgehen entwickelt, welches die vergleichbare und nachvollziehbare Beurteilung von Schutzmassnahmen im Rahmen der Gefahrenbeurteilung ermöglicht. Es baut auf bestehenden Grundlagen wie den Bundesempfehlungen oder den SIA-Normen, den Regeln der Kunst und der aktuellen Praxis auf und soll für alle angesprochenen Prozesse und Massnahmen anwendbar sein. Neben der fachlichen Korrektheit ist die Praktikabilität des Verfahrens wesentlich, was sich in Vereinfachungen und Konventionen äussern kann.
- Abgrenzung** Das Projekt ist auf die Entwicklung einer Wirksamkeitsbeurteilung von Massnahmen bei Lawinen, Stein- / Blockschlag / Felssturz, Rutschungen, Hochwasser und Murgängen ausgerichtet. Es stehen jene Massnahmen im Vordergrund, welche Intensität und Wahrscheinlichkeit der Gefahrenprozesse beeinflussen können. Damit sind vor allem technische und biologische Massnahmen angesprochen. Die Ergebnisse sollen insbesondere die raumplanerische Umsetzung unterstützen. Prozess- und massnahmenspezifische Vertiefungen sind nicht Teil der Arbeit. Dafür wird auf die vorgesehene zweite Projektphase verwiesen.
- Bearbeitung** Die PLANAT (Plattform Naturgefahren Schweiz) beauftragte mit Vertrag vom Mai 2006 eine Kerngruppe mit der Bearbeitung des Projektes. Die Kerngruppe ihrerseits bestimmte aus ihrer Mitte ein Autorenteam. Unterstützend wirkte das wissenschaftliche Sekretariat. Den Abschluss bildete ein ganztägiger Workshop unter Einbezug weiterer Fachleute.

## 2. Grundsätze zur Berücksichtigung von Schutzmassnahmen

- Grundsätze** Für die Berücksichtigung von Schutzmassnahmen können allgemeine Grundsätze formuliert werden, die in jedem Fall erfüllt sein müssen. Die Beurteilung im konkreten Fall erfolgt dann innerhalb dieses Rahmens gemäss dem in Kapitel 3ff aufgezeigten Vorgehen.
- 1. Intensität und Wahrscheinlichkeit** 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.
- 2. Unsicherheiten** Ist die Auswirkung der Massnahme auf den Prozess kleiner als die Unsicherheiten bei der Prozessbeurteilung, wird sie nicht berücksichtigt.

- 3. permanent verfügbar** Eine Schutzmassnahme muss – damit sie berücksichtigt werden kann – permanent verfügbar sein und ihre Dauerhaftigkeit soll mit üblichem Unterhalt mindestens 50 Jahre betragen.
- 4. temporäre Massnahmen** 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.
- 5. abgenommene Werke** Schutzmassnahmen werden in der Regel erst nach erfolgter Bauabnahme berücksichtigt.
- 6. Gesamtsystem** Die Massnahme ist sowohl als Einzelsystem als auch in Bezug auf das Gesamtsystem zu betrachten.
- 7. Szenarien** Die Beurteilung der Schutzmassnahme basiert auf den bei Gefahrenbeurteilungen üblichen Szenarien mit hoher, mittlerer und geringer Eintretenswahrscheinlichkeit<sup>1</sup> sowie der Betrachtung eines extremen Ereignisses mit sehr geringer Eintretenswahrscheinlichkeit, welches eine bedeutende Mehrbelastung für das zu untersuchende System darstellt (Überlastfall).
- 8. einheitliches Verfahren** Die Beurteilung erfolgt nach dem Verfahren in Kapitel 3ff mit den Schritten Grobbeurteilung, Massnahmenbeurteilung, Wirkungsbeurteilung und Umsetzungsempfehlungen.
- 9. Versagenswahrscheinlichkeit** Die Zuverlässigkeit der Schutzmassnahmen wird für die verschiedenen Szenarien durch eine Versagenswahrscheinlichkeit eingeschätzt.
- 10. Zeit** 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.

---

<sup>1</sup>

- hohe Wahrscheinlichkeit: häufige Ereignisse mit Wiederkehrperioden bis 30 Jahren
- mittlere Wahrscheinlichkeit: mittlere Ereignisse mit Wiederkehrperioden zwischen 30 und 100 Jahren
- geringe Wahrscheinlichkeit: seltene Ereignisse mit Wiederkehrperioden zwischen 100 und 300 Jahren
- sehr geringe Wahrscheinlichkeit: extreme Ereignisse mit Wiederkehrperioden (deutlich) über 300 Jahren

### 3. Allgemeine Vorgehensweise

- vier Schritte** Die Beurteilung der Wirkung von Schutzmassnahmen wird in vier Schritte gegliedert (Abbildung 2). Diese werden in den folgenden Kapiteln näher spezifiziert.
1. Grobbeurteilung: Aufgrund der vorliegenden Unterlagen und dem allgemeinen Fachwissen wird eine erste Einschätzung vorgenommen. Es werden die Prozesskenntnisse und die Verfügbarkeit der Massnahmen (Nachhaltigkeit) angesprochen. Aufgrund dieser Faktoren sowie der Relevanz der betrachteten Massnahmen wird entschieden, ob die Wirkung der Massnahme vertieft geprüft werden soll. Wenn ja, dient die integrale Betrachtung auch als wichtige Orientierungshilfe.
  2. Massnahmenbeurteilung: Zunächst gilt es sicherzustellen, dass die Grundlagen sowohl zu den Prozessen als auch zu den Massnahmen vollständig sind. Dann werden Tragsicherheit, Gebrauchstauglichkeit und Dauerhaftigkeit und darauf basierend die Zuverlässigkeit beurteilt. Eine Betrachtung des Gesamtsystems (z.B. gegenseitige Beeinflussung von Schutzmassnahmen) ist integraler Teil dieses Schrittes.
  3. Wirkungsbeurteilung: Die Einschätzung der Zuverlässigkeit beziehungsweise der Versagenswahrscheinlichkeit erlaubt nun zusammen mit den Prozesskenntnissen die Szenarien unter Berücksichtigung der Massnahmenwirkung zu bestimmen. Die Prozessbeurteilung ist von Prozess- und Massnahmentyp abhängig. Es resultieren Intensitäten und Wahrscheinlichkeiten je Szenario und somit die Grundlagen für die Gefahrenkarten.
  4. Im Hinblick auf die Raumplanung werden neben der Gefahrenkarte auch „weiche Faktoren“ etwa hinsichtlich Langfristigkeit oder Unsicherheiten bewertet. Daraus ergibt sich eine abschliessende Empfehlung für die raumplanerische Umsetzung.
- bestehende und projektierte Massnahmen** Aus praktischer Sicht kann zwischen der Beurteilung bereits bestehender Massnahmen etwa im Rahmen der Gefahrenkartierung und der Beurteilung neu projektierte Massnahmen (Wirkungsnachweis) unterschieden werden. Beide Fälle haben ihre Besonderheiten. So liegt bei projektierten Massnahmen in der Regel bereits eine Gefahrenkarte ohne Massnahmen vor. Bei bestehenden Massnahmen spielt die Beurteilung des Zustandes eine wichtige Rolle. Unterschiede ergeben sich auch bei der Umsetzung. Die grundsätzliche Struktur des Vorgehens ist aber identisch und kann in beiden Fällen verwendet werden.
- Unsicherheiten** Der Umgang mit Unsicherheiten ist eine generelle Herausforderung bei der Beurteilung von Naturgefahren. Im vorliegenden Kontext wird ihnen mit einem gut strukturierten Vorgehen, den gebotenen Möglichkeiten zur Abbildung unsicherer Einschätzungen (wie Wahrscheinlichkeitsbetrachtungen, Szenarienbildung, Überlastfall) und ihrer expliziten Bewertung im Hinblick auf die raumplanerische Umsetzung begegnet.

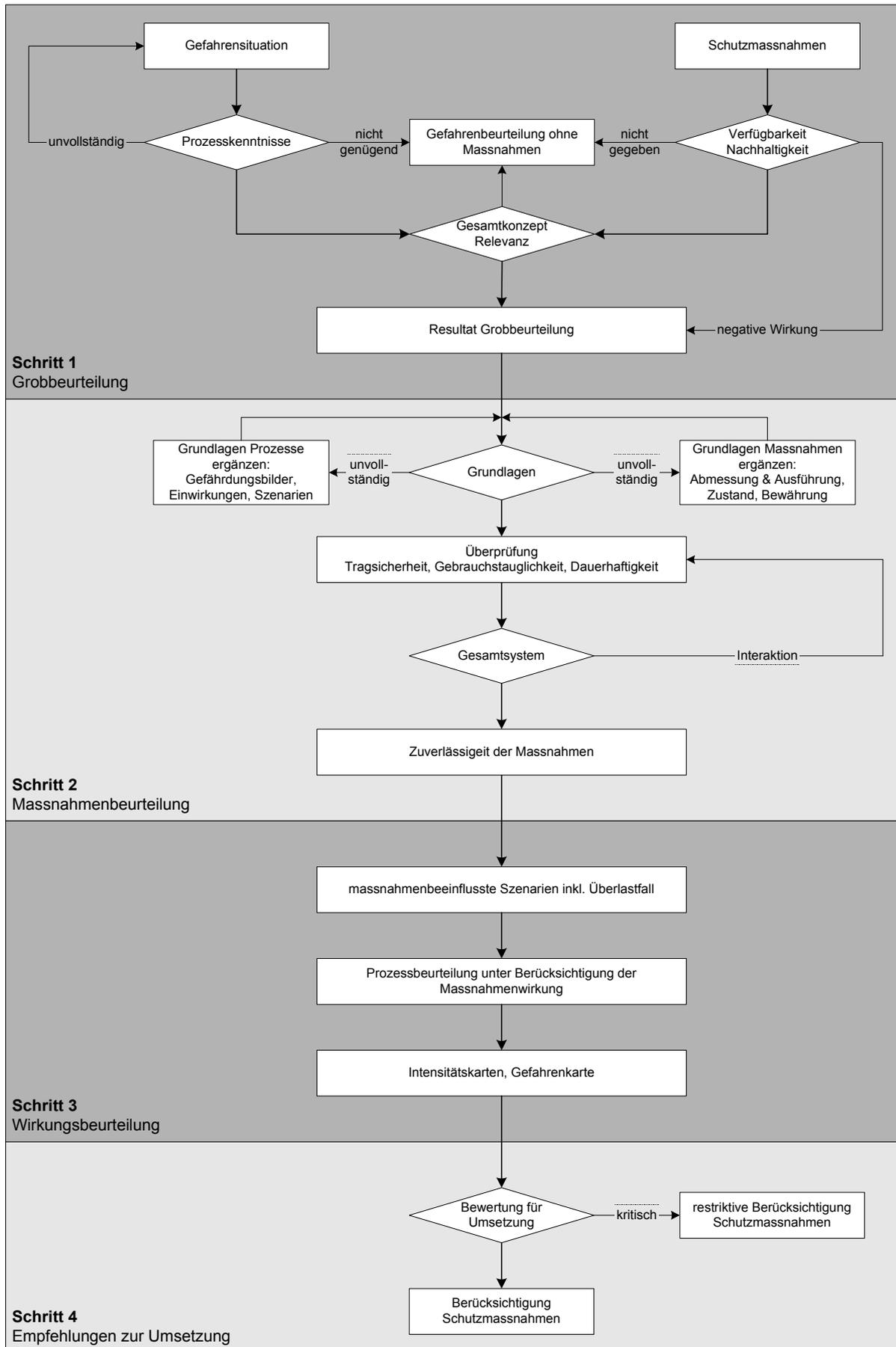


Abbildung 2: Generelles Vorgehen zur Berücksichtigung von Schutzmassnahmen.

## 4. Schritt 1: Grobbeurteilung

<b>Zweck</b>	Die Grobbeurteilung liefert einen ersten Überblick über die Situation. Sie umfasst die Zusammenstellung der vorhandenen Grundlagen, beschreibt die Situation und beinhaltet eine erste grobe Einschätzung. Sie erlaubt in bestimmten Fällen den Abbruch vor der vertieften Bearbeitung, spezifiziert ansonsten die folgenden Schritte genauer und bereitet nicht zuletzt die Einordnung der Resultate und deren Umsetzung vor.
<b>Grundlagen</b>	Grundsätzlich werden jene Grundlagen verwendet, welche bereits vorhanden sind, mit geringem Aufwand beschafft werden können, oder aber – bei grösserem Aufwand – im weiteren Verlauf ohnehin benötigt werden. Zur Gefahrensituation können beispielhaft Ereigniskataster, bereits bestehende Gefahrenkarten oder Luftbilder genannt werden. Hinsichtlich der Schutzmassnahmen stellen Projektdossiers, Schutzbautenkataster oder allfällige Dokumente über den Werkszustand wichtige Informationsquellen dar.
<b>Gefahrensituation und Prozesskenntnisse</b>	<p>Die Prozesskenntnisse müssen an dieser Stelle mindestens soweit erarbeitet werden, dass</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ die Grobbeurteilung durchgeführt werden kann sowie</li> <li>▪ abgeschätzt werden kann, ob der Grundsatz 1 (vgl. Kap. 2) erfüllt ist.</li> </ul> <p>Im Hinblick auf die benötigten Prozessangaben für die Massnahmenbeurteilung in Schritt 2 (Abbildung 2) ist es sinnvoll, bereits an dieser Stelle weitergehende Abklärungen zu treffen, als zwingend notwendig sind. So liegt bei der Beurteilung projektierter Massnahmen in der Regel ohnehin bereits eine Gefahrenkarte vor. Bei der Beurteilung bestehender Massnahmen macht es je nach Situation ebenfalls Sinn, bereits hier umfassende Detailabklärungen im Sinn einer Gefahrenbeurteilung zu machen.</p> <p>Können die Prozesskenntnisse auch durch Zusatzaufwand nicht in der benötigten Detaillierung erarbeitet werden beziehungsweise sind die verbleibenden Unsicherheiten etwa wegen eines komplexen Prozessumfeldes, einer ungenügenden Datenlage oder methodischen Defiziten zu gross, muss auf die Beurteilung der Massnahmenwirkung verzichtet werden.</p>
<b>Schutzmassnahmen und Verfügbarkeit</b>	<p>Gerade im Hinblick auf die raumplanerische Umsetzung sind nachhaltige Lösungen wichtig. Daraus leitet sich die Notwendigkeit einer permanenten Verfügbarkeit ab. Dieses Kriterium (vgl. Grundsätze 3 bis 5) schliesst die Berücksichtigung von Massnahmen bei der Gefahrenbeurteilung aus<sup>2</sup>, die</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ nicht fest vor Ort installiert sind,  <ul style="list-style-type: none"> <li>Beispiel: Mobile Massnahmen für den Hochwasserschutz</li> </ul> </li> <li>▪ deren Funktionsfähigkeit bereits in kurzen Zeiträumen stark von der menschlichen Einflussnahme abhängt und</li> </ul>

<sup>2</sup> Damit ist nicht gesagt, dass alle diese Massnahmen à priori wirkungslos sind. Sie haben nach wie vor ihre Berechtigung, weil sie helfen die Restrisiken wirkungsvoll zu mindern. Für die langfristige Raumnutzung müssen aber hohe Ansprüche an die Zuverlässigkeit gestellt werden, weshalb das Kriterium der permanenten Verfügbarkeit als Ausschlusskriterium gilt.

Beispiel: Einrichtungen zur künstlichen Auslösung (v. a. Lawinen) oder maschinelle Eingriffe während der Ereignisphase (z.B. Räumung von Lawinenauffangdämmen, Geschiebeentnahmen in einem künstlichen Gerinne während Ereignissen).

- auf absehbare Zeit ihre Wirkung nicht mehr erfüllen können<sup>3</sup>.

Beispiel: Alte Werke in bekanntermassen schlechtem Zustand, bei welchen keine unmittelbare Absicht zur Sanierung besteht.

#### **negative Wirkung**

Zu beachten ist, dass bei Mängeln auch eine zusätzliche gefahrenverschärfende Wirkung möglich ist, gerade in Fällen mit nicht unterhaltenen oder alten Massnahmen (z.B. Hangverbau oder Steinschlag aus zerfallenden Stützmauern). In diesen Fällen sind die nachfolgenden Schritte ebenfalls zu bearbeiten, wobei der Fokus dann auf der Wirkungsbeurteilung (Schritt 3) mit Versagensszenarien liegt.

**Gesamtkonzept** Jede Schutzmassnahme ist in ein Gesamtkonzept eingebunden. Die Einordnung ins Gesamtbild ist sowohl bei der Projektierung einer Massnahme wie auch bei der hier diskutierten Beurteilung der Wirkung wesentlich (Grundsatz 6). Jede Situation ist individuell zu beurteilen. Deshalb sind das entsprechende Fachwissen und Erfahrungen besonders wichtig. Ohne Anspruch auf Vollständigkeit zu erheben, können folgende Punkte genannt werden:

- **Prozessraum:** Der Blick richtet sich immer auf den ganzen Prozessraum und auf alle relevanten Prozesse (Bsp. Interaktion Steinschlag – Lawinerverbau). Häufig ist es auch angebracht Nachbargebiete einzubeziehen (Bsp. Lawinerverbau in benachbarten Prozessräumen).
- **Schutzziel der Massnahme:** Ist bekannt oder kann vermutet werden, welcher Schutz mit den Massnahmen überhaupt abgestrebt wurde? Die Kenntnis dieser Grösse erleichtert die weitere Einschätzung.
- **Standort:** Die Wirkung einer Schutzbaute wird von ihrem Standort beeinflusst. Wie ist der Ort hinsichtlich Prozessablauf (z.B. Dynamik) oder lokalen Bedingungen (z.B. Geotechnik) zu bewerten? Je nach Standort kann sich die Gewichtung der Schlüsselgrössen verändern.
- **Interaktion:** Mögliche Interaktionen zwischen Massnahmen sind für die weitere Beurteilung wesentlich (z.B. Gerinneverbau und Hangverbau).
- **Ausdehnung:** Bei linienförmigen oder flächigen Massnahmen stellt sich die Frage nach der Ausdehnung im Vergleich zur Gesamtgrösse beziehungsweise im Vergleich zu den speziell prozessrelevanten Bereichen (z.B. Länge eines mit Sperrern verbauten Abschnittes im Vergleich zur gesamten Erosionsstrecke).
- **Welche Erfahrungen wurden mit Massnahmen dieses Typs in ähnlichem Umfeld gemacht? Welche Erfahrungen wurden vor Ort gesammelt? Liegen vertiefte Kenntnisse etwa aus Typenprüfungen oder Modellversuchen vor? Solche Angaben sind gerade wegen den mit Unsicherheiten behafteten Grössen und dem teilweise qualitativen Charakter der Abschätzung wichtig.**

<sup>3</sup> Damit sind zum einen Massnahmen angesprochen, welche nicht auf längerfristige Wirkung ausgelegt sind, zum andern werden implizit Lebensdauer, Alterung und Unterhalt angeschnitten.

**Relevanz** Damit eine weitergehende Prüfung der Massnahme Sinn macht, muss eine relevante Wirkung vermutet werden dürfen. Relevant heisst, dass die Massnahme den Prozess stärker beeinflusst als die Unsicherheiten in dessen Beurteilung sind (Grundsatz 2).

Die Überlegungen zum Gesamtkonzept bilden die Basis für den Entscheid über die Relevanz. Folgende Punkte können beispielhaft erwähnt werden:

- **Räumliche Abgrenzung:** Prozess- und Wirkungsraum, Ort und Ausdehnung der Massnahmen

Beispiel: Drei Sperren zur lokalen Gerinnesicherung bei einer Wasserfassung werden die Geschiebefracht nicht entscheidend beeinflussen (keine relevante Veränderung von Intensität und Wahrscheinlichkeit) und müssen nicht detailliert beurteilt werden.

- **Prozess:** Art und vermutete Grössenordnung, Ereignisse

Beispiel: In einem Steinschlaggebiet, wo der Absturz von Blöcken bis 1 Kubikmeter dokumentiert ist, entfalten die im steilen Transitgebiet vorhandenen alten Holzbohlenwände keine relevante Bremswirkung.

- **Massnahme:** Art, Grösse (Abmessungen, Bemessung) und vermuteter Zustand, Erfahrungen / Bewährung

Beispiel: Ein altes Hangentwässerungssystem, welches nicht unterhalten wird und offensichtlich nicht mehr funktionstüchtig ist, reduziert die Hangbewegungen nicht.

Die Frage nach der Relevanz ist ein Abbruchkriterium, welches eingeführt wird, um insbesondere bei bestehenden Massnahmen eine Triage vornehmen und den Aufwand in Grenzen halten zu können. Die Relevanz wird aber anhand relativ grober Angaben rein gutachtlich beurteilt. Entsprechend vorsichtig muss das Abbruchkriterium gehandhabt werden. Im Zweifelsfall soll die genaue Beurteilung durchgeführt werden. Dies gilt speziell im Zusammenhang mit der erwähnten möglichen negativen Wirkung von nicht mehr funktionstüchtigen Werken.

**Fazit** 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. Dasselbe gilt für jene Fälle, wo aufgrund der schlechten Verbauungswirkung eine zusätzliche beziehungsweise gegenüber der natürlichen Situation veränderte Gefährdung möglich scheint. In den übrigen Fällen wird das Resultat der Grobbeurteilung festgehalten und die weitere Beurteilung der Massnahme an dieser Stelle abgebrochen. Je nach Aufgabenstellung schliesst aber eine Gefahrenbeurteilung ohne Berücksichtigung der Schutzmassnahmen an.

## 5. Schritt 2: Massnahmenbeurteilung

<b>Zweck</b>	Die Zuverlässigkeit der einzelne Massnahme und des Gesamtsystem wird im Hinblick auf die Wirkung auf den Prozess (Schritt 3) beurteilt. Zuerst müssen die erforderlichen Grundlagen für die Beurteilung der Massnahme zusammengestellt oder falls erforderlich erarbeitet beziehungsweise ergänzt werden. Die zu wählende Bearbeitungstiefe ist vom Massnahmentyp und der Situation abhängig. Dann erfolgt die Beurteilung der Zuverlässigkeit aufgrund von Tragsicherheit, Gebrauchstauglichkeit und Dauerhaftigkeit in Abhängigkeit der vorher erstellten Szenarien (SIA Normen 260 und 261, 2003).
<b>Grundlagen Prozesse – Allgemeines</b>	<p>Je nach den geleisteten Vorarbeiten in Schritt 1 müssen die Prozessangaben für die Massnahmenbeurteilung ergänzt werden. Da sie auch für die Wirkungsbeurteilung (Schritt 3) grundlegend sind, gehen die Abklärungen in der Regel weiter, als es hier streng genommen notwendig wäre.</p> <p>Wichtig ist, dass als Resultat die Variabilität der möglichen Prozesswirkungen auf die Massnahmen aufgezeigt wird. Es soll im Rahmen der Massnahmenbeurteilung nicht nur eine Situation sondern ein angemessenes Spektrum an Möglichkeiten beurteilt werden. Je konkreter und beispielsweise geordnet nach Wahrscheinlichkeiten diese Angaben ausfallen, desto zuverlässiger respektive variantenreicher kann auch die Massnahmenbeurteilung durchgeführt werden.</p>
<b>Grundlagen Prozesse – Bearbeitungstiefe</b>	<p>In Abhängigkeit des Prozesses und des Massnahmentyps sind verschiedene Bearbeitungstiefen möglich:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <b>Qualitativ:</b> Bezeichnend für qualitative Bearbeitungen sind Methoden wie gutachtliche Einschätzungen, Beurteilungen im Gelände, Wertungen aus Erfahrung, Instrumente wie Karten der Phänomene, etc. Ungeachtet ihrer geringeren Bearbeitungstiefe sind sie für das Gesamtverständnis wichtig (analog Schritt 1) und genügen in vielen Fällen für die Massnahmenbeurteilung, sofern diese auch qualitativ vorgenommen wird. Das typische Resultat einer qualitativen Prozessbeurteilung hinsichtlich Schutzmassnahmen sind Gefährdungsbilder<sup>4</sup>.</li> <li>▪ <b>Punktuell-quantitativ:</b> Typisch für eine punktuell vertiefte Bearbeitung sind messtechnische Untersuchungen oder Berechnungen. Diese Bearbeitungstiefe ist dann angebracht, wenn sich die Massnahmenbeurteilung speziell auf quantitative Betrachtungen einzelner Parameter stützt. Dies ist nicht notwendigerweise gleichbedeutend mit einer quantitativen Massnahmenüberprüfung im Sinne der Tragwerksbemessung. Entsprechend der Vorgehensweise resultieren Zahlenwerte, welche hier als Einwirkungen<sup>5</sup> bezeichnet werden.</li> </ul>

<sup>4</sup> Die Gefährdungsbilder stellen eine systematische Sammlung aller möglichen Prozesseinwirkungen auf die Bauwerke dar. Der Begriff „Bild“ widerspiegelt die Tatsache, dass sich die massgebenden Einwirkungen häufig schlecht quantitativ festlegen lassen und die integrale Betrachtung des gesamten Ereignisverlaufes relevant ist.

<sup>5</sup> Unter dem Begriff Einwirkungen werden alle quantitativ hergeleiteten Prozessgrössen zusammengefasst. Entsprechend kann es sich dabei etwa um Schneehöhen (Stützverbau), Energien (Steinschlagnetze) oder Wasserstände (Hochwasserdamm) handeln.

- **Umfassend-quantitativ:** Eine umfassende Bearbeitung ist im vorliegenden Kontext gleichbedeutend mit einer Gefahrenbeurteilung, wie sie heute für Gefahrenkarten durchgeführt wird. Sie schliesst sowohl qualitative Aspekte (z.B. Kartierungen) als auch quantitativ bestimmte Werte (z.B. Prozessmodellierungen) ein. Resultate dieser Beurteilung sind die bekannten nach Wahrscheinlichkeit unterschiedenen Szenarien.

#### Grundlagen Prozesse – Extremereignis (Überlastfall)

Die Analyse von Extremereignissen (Überlastfällen) ist im Zusammenhang mit Schutzmassnahmen zwingend. Unter dem Begriff Extremereignis können „unerwartete“ respektive „unwahrscheinliche“ Situationen zusammengefasst werden, wozu auch die Kombination verschiedener Ereignisse gehört. Solche Ereignisse übertreffen das Bemessungsereignis deutlich und führen zu einer Überlastung der Massnahmen, bzw. der Systeme.

Unabhängig von der Bearbeitungstiefe können folgende Überlegungen zu diesen Ereignissen vorgenommen werden:

- Bei der qualitativen Bearbeitung geht es darum, die Analyse der Gefährdungsbilder umfassend vorzunehmen und auch „unwahrscheinliche“ Varianten nicht à priori auszuschliessen.
- Bei der punktuell-quantitativen Beurteilung können die bestimmten Zahlenwerte unter Umständen über Faktoren pauschal erhöht oder für diese ausserordentlichen Ereignisse explizit bestimmt werden.
- Bei der umfassend-quantitativen Beurteilung (Szenarien Gefahrenkarte) gehört die Bestimmung von Extremszenarien ohnehin dazu. Hier können sowohl quantitative Ansätze wie oben beschrieben als auch qualitative Betrachtungen (Prozessverlauf, Einfluss von Schwachstellen) eine Rolle spielen.

#### Grundlagen Massnahmen

Um die Massnahmenbeurteilung durchführen zu können, müssen die wichtigsten Informationen über die Schutzmassnahme wie Abmessungen und Ausführung, Zustand sowie ihre Bewährung vorhanden sein. Weiter sind, wenn vorhanden, Angaben zum Schutzziel und zur Bemessung hilfreich.

Gerade bei älteren Massnahmen ist die Aktenlage unterschiedlich. Oft ist sie lückenhaft und Angaben zur Bemessung fehlen. Meistens müssen die fehlenden Informationen zusammengetragen oder im Feld zu erheben werden.

Bei neuen oder projektierten Massnahmen dürften die notwendigen Dokumente vorliegen.

Beispiel notwendige Grundlagen bei einem Steinschlagschutznetz: Abmessungen (Werkgrösse, Länge Werkreihen), Ausführung (Werktyp mit Energieaufnahmekapazität, Baujahr, exakter Standort, Bauwerksakten mit Ankerlängen, Typenprüfung), Zustand (Aufnahmen am Bauwerk, z.B. Tragwerk, Bauteile, Schäden), Bewährung (beobachtete Ereignisse, Einwirkungen).

#### Überprüfung Tragsicherheit

Die Tragsicherheit ist die Fähigkeit eines Bauwerkes respektive des Gesamtsystems, für die anzunehmenden Einwirkungen einen ausreichenden Tragwiderstand zu gewährleisten. Das heisst bei einer bestimmten Belastung darf kein Versagen des Bauwerkes selbst auftreten. Bei der Überprüfung der Tragsicherheit wird das Verhalten eines Bauwerkes hinsichtlich Stabilität und Tragwiderstand bei einer bestimmten Einwirkung beurteilt.

Die Tragsicherheit gilt als erfüllt, wenn diese Einwirkungen vom Bauwerk unter Berücksichtigung der erforderlichen Sicherheiten, z.B. gemäss den SIA Normen, aufgenommen werden können.

Die Überprüfung der Tragsicherheit kann je nach Massnahme und Situation in einem unterschiedlichen Detaillierungsgrad erfolgen.

Eine **pauschale Beurteilung** ist gerechtfertigt:

- wenn die Belastung deutlich kleiner ist als der Tragwiderstand, das heisst wenn die Einwirkungen die Tragsicherheit nur unwesentlich beeinflussen respektive grosse Sicherheitsreserven bestehen (z.B. Lawinenauffangdamm, wo die Einwirkungen einen vernachlässigbaren Einfluss auf die Tragsicherheit haben),
- wenn der Tragwiderstand bekannt ist, das heisst wenn der Tragsicherheitsnachweis in den Bauwerksakten enthalten ist beziehungsweise es sich um typengeprüfte Bauwerke handelt (z.B. homologierte Steinschlagnetzwerke oder Lawinenstützwerke).

Die pauschale Beurteilung beschränkt sich meist auf einen Ja/Nein Entscheid respektive einen Vergleich der vorhandenen Einwirkungen mit den der Typenprüfung zu Grunde gelegten Einwirkungen. Sehr wichtig ist aber, dass der Zustand des Bauwerkes im Hinblick auf eine mögliche Reduktion der Tragsicherheit kritisch beurteilt wird.

Eine **qualitative Beurteilung** steht im Vordergrund, wenn die exakte Überprüfung der Tragsicherheit unverhältnismässig ist oder gar nicht durchgeführt werden kann (z.B. Wildbachsperre älteren Baujahres). Qualitative Beurteilungen dürften bei vielen Massnahmen für eine Überprüfung der Tragsicherheit genügen. Im Vergleich zur pauschalen Beurteilung muss der Tragwiderstand abgeschätzt werden. Der Tragwiderstand einer Massnahme mit einer robusten und bekannten Konstruktionsweise kann oft durch eine visuelle Beurteilung von Verformungen und Rissen abgeschätzt werden.

Bei der qualitativen Beurteilung der Tragsicherheit ist darauf zu achten, dass

- mit der erkennbaren, vermuteten oder absehbaren Alterung des Bauwerkes der Tragwiderstand abnehmen kann,
- sich die spezielle Bedeutung verborgener und nicht kontrollierbarer Tragwerksteile erst im Schadensfall zeigen kann und
- die massgebende Einwirkung unter Umständen noch gar nicht aufgetreten ist.

Die Tragsicherheit kann im Allgemeinen als erfüllt angenommen werden, wenn die Überprüfung des Bauwerkes vor Ort keine verdächtigen Mängel oder Schäden ergibt und der vermutete Tragwiderstand auch unter Berücksichtigung der oben aufgelisteten Punkte den zu erwartenden Einwirkungen gewachsen ist. Zu beachten ist in jedem Fall, dass die Beurteilung sehr vorsichtig vorgenommen werden muss, wenn nur wenige Angaben zum Bauwerk oder dessen Belastungsgeschichte vorliegen.

Beispiel: Eine 30-jährige Wildbachsperre aus Stahlbeton weist keine sichtbaren Schäden wie Verformungen und Risse aufweist. Eine Unterkolkung ist nicht feststellbar. Bei einem 50-jährlichem Hochwasserereignis vor 5 Jahren wurde die Sperre stark belastet. Ein genügender Tragwiderstand kann deshalb vermutet werden.

Eine **quantitative Überprüfung** der Tragsicherheit steht bei neuen Bauwerken im Vordergrund<sup>6</sup> oder falls die Funktionsfähigkeit der Massnahmen vom Tragwiderstand dominiert wird<sup>7</sup>. Bei der quantitativen Überprüfung wird die Tragsicherheit rechnerisch nachgewiesen. Dies kann etwa bei Hochwasserdämmen erforderlich sein, wo der qualitativ-visuelle Eindruck unter Umständen nicht ausreichend ist, um die Konsequenzen der Einwirkungen wie z.B. Höhe des Wasserspiegels, Überströmen oder Dauer des Einstaus auf die Tragsicherheit bestimmen zu können.

#### **Überprüfung Gebrauchstauglichkeit**

Die Gebrauchstauglichkeit ist die Fähigkeit eines Bauwerkes die Funktionsfähigkeit in Bezug auf die festgelegten Nutzungsanforderungen während des Einsatzes zu gewährleisten.

Beispiel: Die Wirkungshöhe eines Steinschlagschutznetzes kann infolge von aufgefangenen Blöcken reduziert sein und nicht mehr den Nutzungsanforderungen entsprechen.

Die Überprüfung erfolgt generell qualitativ aufgrund einer Zustandsaufnahme vor Ort respektive aufgrund der vermuteten Zustandsentwicklung über die nächsten rund 20 Jahre. Bei der Überprüfung der Gebrauchstauglichkeit sind speziell konzeptionelle Punkte zu prüfen. Verhält sich bei den möglichen Einwirkungen das Bauwerk so, wie es erwartet wird?

Beispiele: Ist bei einer Wildbachsperre die Abflussektion genügend gross und nicht mit Geschiebe und Holz verlegt? Ist ein Entwässerungssystem den Bodenbewegungen angepasst (Flexibilität)?

Bei neuen Massnahmen kann die Gebrauchstauglichkeit grundsätzlich als erfüllt betrachtet werden. Schwachstellen hinsichtlich der Gebrauchstauglichkeit zeigen sich häufig erst nach längeren Zeiträumen insbesondere bei ungenügendem Unterhalt. Mangelhafte Gebrauchstauglichkeit äussert sich in der Regel in einer Abnahme der Wirkung auf den Prozess. Mangelhafte Gebrauchstauglichkeit kann aber auch zu neuen, bisher nicht berücksichtigten Gefährdungsbildern respektive Einwirkungen und damit zu einem Verlust der Tragsicherheit führen.

#### **Überprüfung Dauerhaftigkeit**

Die Anforderungen an die Tragsicherheit und die Gebrauchstauglichkeit einer Massnahme sollen im Rahmen der vorhersehbaren Einwirkungen über längere Zeit erfüllt bleiben, ohne unvorhergesehenen Aufwand für die Instandhaltung betreiben zu müssen.

Die Dauerhaftigkeit ist stark von der jeweiligen Situation abhängig. Nicht nur der Typ der Massnahme, sondern auch der Standort, die Bauausführung, die Art und Frequenz der Einwirkungen etc. spielen eine wichtige Rolle. Weiter sind Unterhaltsaspekte von Bedeutung. Die Dauerhaftigkeit einer Massnahme kann als gewährleistet betrachtet werden, wenn im Rahmen eines „normalen“ Unterhaltes eine Nutzungsdauer der Massnahme von 50 Jahren und mehr angenommen werden kann. Nicht kontrollierbare und damit nicht unterhaltbare Massnahmen, bei denen beispielsweise verborgene Bauteile wie nicht kontrollierbare Anker für die Tragsicherheit relevant sind, erfüllen in der

<sup>6</sup> Sofern der Nachweis nicht bereits in der Projektierung erfolgt ist oder eine pauschale Betrachtung genügt.

<sup>7</sup> der Prozess wie z.B. Steinschlag oder Hochwasser belastet die Massnahme direkt und bei einem Versagen besteht keine Wirkung mehr.

Regel die Kriterien der Dauerhaftigkeit nicht.

Die Überprüfung der Dauerhaftigkeit erfolgt in der Regel qualitativ. Aus dem aktuellen Zustand, dem Alter und der möglichen Zustandsentwicklung der Massnahme und den angenommenen Einwirkungen kann die Dauerhaftigkeit abgeschätzt werden. Die Überprüfung basiert stark auf dem Erfahrungsschatz mit der Massnahme und den lokalen Erfahrungen.

Beispiel: Lawinenstützwerke aus Stahl befinden sich in einem Kriechhang. Seit dem Bau vor 10 Jahren haben sich zahlreiche Fundamente bis 0.8 m verschoben. Die Tragsicherheit und Gebrauchstauglichkeit ist zwar heute grösstenteils noch gewährleistet, langfristig jedoch sehr fraglich. Ein späterer Ersatz der Stützwerke ist wegen den ungünstigen Kriechraten nicht empfehlenswert.

### Bestimmung der Zuverlässigkeit

Zustand und Verhalten einer Massnahme werden für die verschiedenen Gefährdungsbilder, Einwirkungen oder Szenarien basierend auf der Tragsicherheit, Gebrauchstauglichkeit und Dauerhaftigkeit qualitativ oder quantitativ eingeschätzt (Abbildung 3). Das Resultat besteht in einer Unterscheidung zwischen einer hohen, eingeschränkten und geringen Zuverlässigkeit.

Für die Bestimmung der Zuverlässigkeit ist die Tragfähigkeit gegenüber der Gebrauchstauglichkeit und Dauerhaftigkeit dominierend. Das heisst, wenn die Tragfähigkeit nicht erfüllt ist, muss im Allgemeinen eine geringe Zuverlässigkeit der Massnahme angenommen werden. Eine ungenügende Dauerhaftigkeit hat auf die Wirkung einer Massnahme keinen unmittelbaren Einfluss, ist aber durch restriktive Umsetzungsempfehlungen (Schritt 4) zu berücksichtigen.

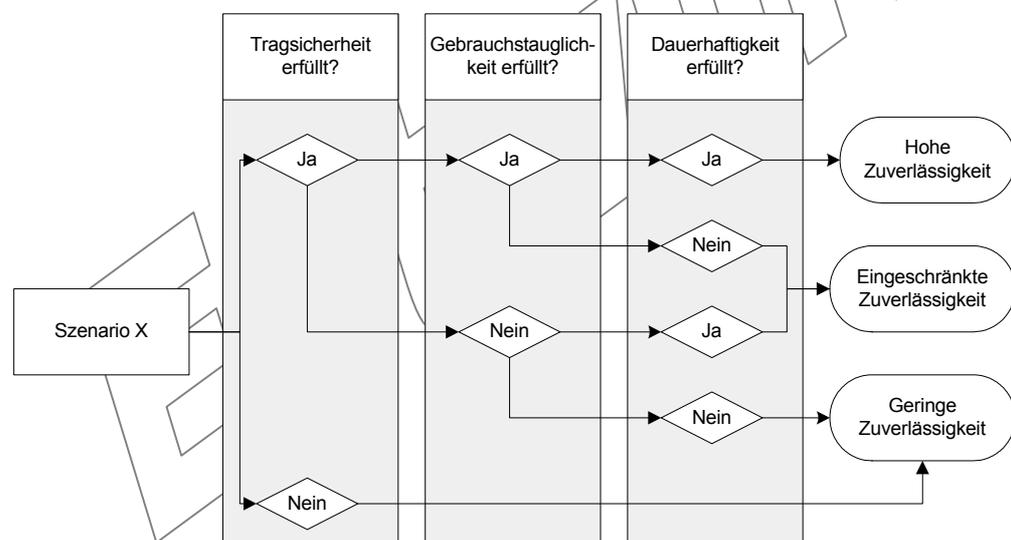


Abbildung 3: Bestimmung der Zuverlässigkeit aufgrund von Tragsicherheit, Gebrauchstauglichkeit und Dauerhaftigkeit

Für eine **hohe Zuverlässigkeit** müssen die Tragsicherheit, Gebrauchstauglichkeit und die Dauerhaftigkeit erfüllt sein. Bei der anschliessenden Wirkungsbeurteilung kann die Massnahme als voll wirksam betrachtet werden.

Eine **eingeschränkte Zuverlässigkeit** ist dadurch gekennzeichnet, dass von einer reduzierten Wirkung der Massnahme ausgegangen werden muss (z.B. ungenügende Gebrauchstauglichkeit). Bei der anschliessenden Wir-

kungsbeurteilung sind die Szenarien respektive die für die Wirkung der Massnahme massgebenden Grössen entsprechend anzupassen.

Bei einer **geringen Zuverlässigkeit** muss ein Versagen der Massnahme erwartet werden. Bei der anschliessenden Wirkungsbeurteilung zeigt die Massnahme keine Wirkung. In solchen Situation muss geprüft werden, ob die Massnahme nicht sogar negative Auswirkungen auf den Prozessablauf haben kann.

#### Versagens- wahrschein- lichkeiten

Die Zuverlässigkeit ist direkt mit der Versagenswahrscheinlichkeit verknüpft.

- Bei **hoher Zuverlässigkeit** ist die Versagenswahrscheinlichkeit der Massnahme klein (< 10 %).
- Bei **eingeschränkter Zuverlässigkeit** ist die Versagenswahrscheinlichkeit mittelgross (20 %...50 %).
- Bei **geringer Zuverlässigkeit** ist die Versagenswahrscheinlichkeit gross (~90%).

Zu beachten ist, dass nach heutigem Kenntnisstand diese Wahrscheinlichkeiten nur grobe Richtwerte darstellen können. Die vorgeschlagenen Werte sowie die Ergebnisse sind entsprechend vorsichtig zu interpretieren.

#### Überprüfung Gesamtsystem

Unter einem Gesamtsystem wird der Verband von mehreren Einzelmassnahmen verstanden. Die Einzelmassnahme wird in einen grösseren Zusammenhang gestellt. Es wird untersucht, ob das Versagen einer einzelnen Massnahme das Gesamtsystem mit sonst voll funktionsfähigen Einzelmassnahmen gefährden kann (z.B. Sperrentreppe, die aus 20 einzelnen Sperren besteht). Das Resultat ist, dass dem Gesamtsystem auf der Basis der einzelnen Einschätzungen ebenfalls eine Funktionsfähigkeit zugeordnet ist. Die Beurteilung der Zuverlässigkeit und die Zuordnung einer Versagenswahrscheinlichkeit erfolgt in analoger Art und Weise wie für die Einzelmassnahme.

## 6. Schritt 3: Wirkungsbeurteilung

**Zweck** Mit den bekannten Methoden der Prozessbeurteilung wird der Einfluss der Massnahme auf den Prozessablauf quantifiziert. Es resultieren Intensitäten und Wahrscheinlichkeiten für die untersuchten Szenarien und somit die Grundlagen für die Gefahrenkarten.

**individuelle Betrachtung** Die Prozessbeurteilung unter Berücksichtigung der Massnahmenwirkung ist von Prozess- und Massnahmentyp abhängig. Dies bedeutet, dass keine generelle Vorgabe möglich ist, sondern die jeweils adäquaten Methoden zur Prozessbeurteilung auf die Verwendung im einzelnen Fall angepasst werden müssen. Um die Interaktion zwischen Prozess und Massnahme beurteilen zu können, muss eine abgestützte Methodik für die Wirkungsbeurteilung bestehen. Oft stehen nur grobe, empirische Ansätze zur Verfügung. Insbesondere ist die Wirkung einer Schutzmassnahme beim Extremereignis oft nur schlecht bekannt.

**massnahmenbeeinflusste Szenarien** Wurden als Grundlage für die Massnahmenbeurteilung Szenarien hergeleitet, geht es nun darum, daraus die massnahmenbeeinflussten Szenarien abzuleiten und diesen anhand der Zuverlässigkeitsbeurteilung Wahrscheinlichkeiten zuzuordnen. Dies betrifft speziell die Fälle mit eingeschränkter oder geringer Zuverlässigkeit.

Beispiel: Bei einem mit 20 Sperren verbauten Wildbach sei für ein Szenario mit mittlerer Wahrscheinlichkeit (Wiederkehrperiode zwischen 30 und 100 Jahren) infolge der Einwirkungen bei 3 Sperren eine geringe und bei 7 Sperren eine eingeschränkte Zuverlässigkeit festgestellt worden. Die Versagenswahrscheinlichkeiten für diese Sperren wurden auf 90 % und 30 % festgelegt. Die übrigen Sperren sind voll wirksam. Wechselwirkungen zwischen den einzelnen Sperren sind im Beispiel nicht relevant.

Damit ergeben sich ausgehend vom anfänglichen Szenario (Wiederkehrperiode zwischen 30 und 100 Jahren) zwei Subszzenarien:

- mit einer mittleren Wahrscheinlichkeit (Wiederkehrperiode zwischen 30 und 100 Jahren) ist mit 3 versagenden Sperren und damit erhöhtem Feststoffvolumen zu rechnen. Eine weitere Zunahme des Feststoffvolumens infolge der 7 eingeschränkt zuverlässigen Sperren ist zu prüfen, ein Versagen aber nicht anzunehmen. Die übrigen 10 Sperren sind voll wirksam.
- mit einer geringen Wahrscheinlichkeit (Wiederkehrperiode zwischen 100 und 300 Jahren) ist mit 10 versagenden Sperren und damit deutlich erhöhtem Feststoffvolumen zu rechnen. Die übrigen 10 Sperren bleiben voll wirksam.

Die Zuordnung der Subszzenarien zu den Wahrscheinlichkeitsklassen mittel und gering ergibt sich theoretisch aus der Multiplikation von der Wahrscheinlichkeit der Einwirkung und Versagenswahrscheinlichkeit. Damit kommt im Beispiel ein Versagen von 3 Sperren (mit 90 %) in dieselbe Wahrscheinlichkeitsklasse zu liegen wie das Szenario der anfänglichen Einwirkung. Ein Versagen von weiteren 7 Sperren (mit 30 %) führt zu einer Verschiebung des resultierenden massnahmenbeeinflussten Szenarios in die Wahrscheinlichkeitsklasse gering.

Erfolgte die Massnahmenbeurteilung nicht gestützt auf Szenarien sondern beispielsweise pauschal, werden nun direkt die massnahmenbeeinflussten Szenarien bestimmt.

Beispiel: Eine Stützverbauung sei bei der Massnahmenbeurteilung gestützt auf eine richtlinienkonforme Ausführung und die Typenprüfung als zuverlässig beurteilt worden. Bei der Wirkungsbeurteilung werden in der Regel die in Abbildung 4 dargestellten Szenarien untersucht.

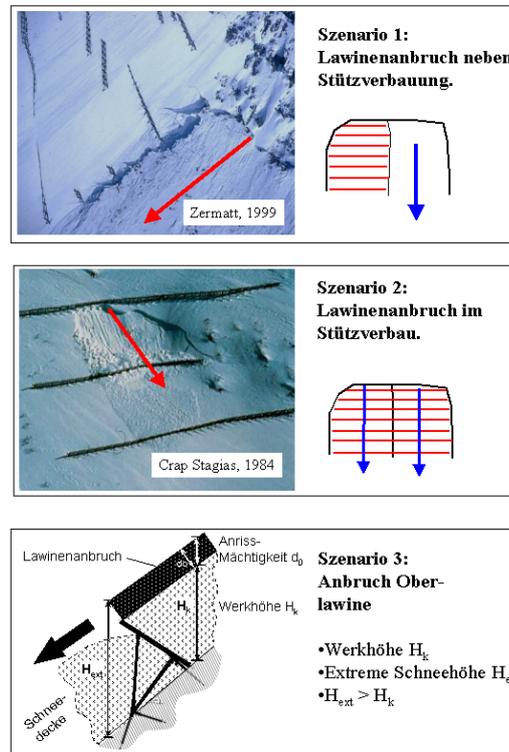


Abbildung 4: Szenarien für die Wirkungsbeurteilung einer Stützverbauung

Extremszenarien sind immer zu berücksichtigen. Dabei handelt es sich definitionsgemäss um Szenarien, die nicht den bekannten, angenommenen oder vermuteten Grundlagen der Bemessung der Massnahme entsprechen. Beim Extremereignis stellt eine hohe Zuverlässigkeit der Massnahme eher die Ausnahme dar. In sehr ungünstigen Situationen ist es auch denkbar, dass durch eine Massnahme eine negative, das heisst gefahrenverschärfende Wirkung verursacht werden kann.

#### Wahrscheinlichkeit

Die Wahrscheinlichkeit der Szenarien beziehungsweise der zugehörigen Gefahrenbereiche ergibt sich wie dargelegt aus der Prozessbeurteilung und der Beurteilung der Versagenswahrscheinlichkeiten.

#### Intensität

Mit den Methoden der Prozessbeurteilung (z.B. lawinendynamische Berechnungen oder Steinschlagsimulationen) wird die Intensität für die untersuchten Szenarien unter Berücksichtigung Wirkung der Massnahmen bestimmt. Es sind zwei Vorgehensweisen üblich:

- die Massnahme wird in der Prozessmodellierung direkt berücksichtigt:  
Beispiel: Hochwasserdamm wird in das Geländemodell oder Wald in das Steinschlagmodell integriert.
- die Massnahme wird indirekt in der Prozessmodellierung berücksichtigt, indem mit massnahmenbeeinflussten Szenarien aber ohne in die Modellierung integrierte Massnahmen gearbeitet wird. Dieses Vorgehen wird

dort angewendet, wo die Interaktion von Prozess mit der Massnahme sehr komplex ist und nicht in ein Modell integriert werden kann.

Beispiel Lawinenauffangdamm: Massgebend für die Bestimmung der erforderlichen Höhe eines Auffangdammes sind die Geschwindigkeit und Fließhöhe der anströmenden Lawine. Ein konservativer Ansatz um die Wirkung bei einem bestimmten Szenario quantifizieren zu können, beruht auf der Energieerhaltung. Die für die Energiedissipation zur Verfügung stehende Dammhöhe wird mit der kinetischen Energie der Lawine verglichen. Anschliessend kann die Geschwindigkeitsabnahme und die Auslaufstrecke berechnet werden.

**Intensitätskarten** Das Resultat der Wirkungsbeurteilung wird in Intensitätskarten dargestellt. Falls bereits für die Ausgangssituation eine Beurteilung durchgeführt wurde, stellt die Differenz der Karten ohne und mit Massnahmen die Wirkung dar.

## 7. Schritt 4: Empfehlungen zur Umsetzung

**Bewertung für Umsetzung** Gefahrenkarten sind ausschliesslich nach wissenschaftlichen Kriterien zu erstellen. 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. Grundlage dazu sind die nachfolgend aufgeführten Förder- und Hemmfaktoren. Dabei sind die wissenschaftlichen und umsetzungstechnischen Aspekte nachvollziehbar aufzuzeigen. Die Umsetzung soll von der Behörde in Zusammenarbeit mit dem Gefahrenexperten durchgeführt werden.

**Förderfaktoren Umsetzung** Folgende Punkte sprechen für eine Berücksichtigung von Schutzmassnahmen im Sinne einer Reduktion von Gefahrenbereichen:

- Die Massnahme zeichnet sich durch eine hohe Zuverlässigkeit aus.
- Nach einem Versagen oder ungenügendem Funktionieren der Massnahme kann sie einfach ersetzt, erweitert oder verstärkt werden.
- Es bestehen Pufferzonen oder Reserven: Falls die Massnahme nicht wunschgemäss funktioniert, besteht beispielsweise eine vorhandene Auslaufstrecke, wo die Prozessintensität schnell abnimmt.
- 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.
- Erfahrungen mit der Massnahme. So gibt es etwa bei Lawinen mehr Erfahrungen über die Wirkung von Stützwerken als von Auffangdämmen.
- Gute Prozesskenntnisse (z.B. zahlreiche dokumentierte Ereignisse im Ereigniskataster) und klarer Prozessablauf.

<b>Hemmfaktoren Umsetzung</b>	<p>Folgende Punkte sprechen gegen eine Berücksichtigung von Schutzmassnahmen im Sinne einer Reduktion von Gefahrenbereichen:</p> <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 gemäss Kapitel 2.</li></ul>
<b>Berücksichtigung von Schutzmassnahmen</b>	<p>Wenn die Massnahme die Intensität und Wahrscheinlichkeit des Prozesses positiv beeinflusst und die Gesamtsituation im Hinblick für die Umsetzung günstig beurteilt werden kann, ist ihre Berücksichtigung vertretbar.</p>
<b>Restriktive Berücksichtigung</b>	<p>Wenn die Massnahme die Intensität und Wahrscheinlichkeit des Prozesses positiv beeinflusst und die Gesamtsituation im Hinblick für die Umsetzung jedoch als ungünstig bewertet wird, kann eine Berücksichtigung sehr problematisch sein. Eine restriktive Berücksichtigung kann die folgenden Möglichkeiten beinhalten (Vorschlag, wird in der 2. Projektphase vertieft diskutiert):</p> <ul style="list-style-type: none"><li>▪ Falls eine alte, umgesetzte Gefahrenkarte besteht, werden die Zonen nicht angepasst.</li><li>▪ Besteht keine umgesetzte Gefahrenkarte, werden keine Neueinzonungen vorgenommen.</li><li>▪ Neueinzonungen sind möglich. Bauten sind aber nur mit Objektschutzmassnahmen erlaubt.</li></ul>
<b>Zeitpunkt für Umsetzung</b>	<p>Gefahrenkarten mit Massnahmen (Rückstufung) werden in der Nutzungsplanung in der Regel erst umgesetzt, wenn die Schutzmassnahme realisiert und abgenommen ist.</p> <p>Die Umsetzung kann sofort nach der Abnahme berücksichtigt werden, ausser wenn zunächst durch Beobachtung die Unsicherheiten in der Prozess- und Massnahmenbeurteilung reduziert werden müssen (z.B. Beobachtung der Schneeverteilung in einem Stützverbau während mindestens 5 Wintern oder Messen des Einflusses einer neu erstellten Rutschungsentwässerung).</p>
<b>generelle Regeln</b>	<p>Für die Umsetzung von Gefahrenkarten mit Massnahmen ist die Erarbeitung von generellen Regeln sinnvoll und notwendig (z.B. ehemaliges rotes Gebiet kann durch Massnahmen nicht weiss werden). Solche generellen Regeln werden in der 2. Projektphase vertieft diskutiert.</p>

## 8. Schluss und Ausblick

---

- generelles Vorgehen** Mit dem vorliegenden Bericht konnte das im Projektziel geforderte generelle Vorgehen zur Beurteilung der Wirkung von Schutzmassnahmen gegen Naturgefahren aufgezeigt werden. Es wurden sowohl allgemeine Grundsätze, als Rahmenbedingungen als auch die konkrete Vorgehensweise als Beurteilungsraster für die konkrete Beurteilung erarbeitet. Das Herzstück dieser Vorgehensweise bildet das Flussdiagramm (vgl. Abbildung 2, S. 5).
- Lücken** Im Text wurde verschiedentlich erwähnt, dass im Rahmen der generellen Vorgehensweise weitergehende Abklärungen nur prozess- und massnahmenspezifisch zu behandeln sind. Exemplarisch kann hier die Wirkungsbeurteilung genannt werden. Es ist nahe liegend, dass diese stark von den jeweiligen methodischen Möglichkeiten der Prozessbeurteilung abhängt. Deshalb ist die zweite Projektphase wichtig.
- zweite Projektphase** In der zweiten Projektphase kann nun auf der Basis des vorliegenden Berichtes die massnahmen- und prozessspezifische Vertiefung erfolgen. Dabei wird für die Prozesse Lawinen, Stein- / Blockschlag / Felssturz, Rutschungen, Hochwasser und Murgänge eine Fokussierung auf die jeweils 2 bis 3 wichtigsten Massnahmentypen (inkl. Wald) erfolgen. Die erarbeiteten Dokumente sollen den Charakter einer konkreten Arbeitsanleitung haben, welche den Standard für die nächsten Jahre definiert.
- Die Aspekte der raumplanerischen Umsetzung sollen ebenfalls angegangen werden, da sonst die Gefahr besteht, dass die in der Gefahrenbeurteilung von Schutzmassnahmen erarbeiteten Erkenntnisse nicht adäquat umgesetzt werden.