

# Gefahren- und Risikoanalysen in Schauklammen als Instrument zum Schutz vor Naturgefahren

Hand aufs Herz – wie viele jener alpenländischen Urlauber, die im Sommer Richtung Meer verreisen, haben sich vorab mit den Gefahren auseinandergesetzt, die marine Naturräume mit sich bringen? Gefährliche Strömungen, Brandungswellen und nicht zuletzt unzureichende Fitness für das Schwimmen im Meer seien an dieser Stelle nur beispielhaft genannt. Vielmehr gehen viele von uns wohl davon aus, dass vor Ort Maßnahmen getroffen werden, um die Sicherheit der letztendlich als Konsumenten zu bezeichnenden Urlauber zu gewährleisten. Ähnlich wird dieses sorglose Verhalten auch einem Großteil der Touristen zu unterstellen sein, die den alpinen Raum beurlauben ...

---

## Gerald Valentin

Geologe, Sachverständiger, Bergführer  
Landesgeologischer Dienst Salzburg

## Roland Rauscher

Geologe, Sachverständiger, Ziviltechniker  
GEORISQ ZT GmbH

Der gegenständliche Artikel befasst sich mit verschiedenen gelagerten Verantwortlichkeiten im Bereich von Schauklammen und thematisiert mit dem Werkzeug der Gefahren- und Risikoanalyse eine Methode für den Wegehalter, mit dieser Verantwortung umzugehen. Anhand eines Praxisbeispiels wird aufgezeigt, dass das Risiko nicht mit einfachen Kochrezepten ermittelt werden kann, sondern im multidisziplinären Zusammenwirken von Fachexperten und unter besonderer Berücksichtigung der konkret gegebenen Rahmenbedingungen analysiert werden muss.

## Begriffsdefinitionen

Die Gewährleistung eines absoluten Schutzes vor Steinschlag, Blockschlag oder Felssturz ist aufgrund der Unvorhersehbarkeit derartiger Naturprozesse nicht möglich.

### DEFINITIONEN

**Wegehalter:** Wer die Kosten für die Errichtung oder den Betrieb eines Weges trägt und die Verfügungsgewalt über den Weg besitzt, ist für dessen Sicherheit verantwortlich.

**Verkehrssicherungspflicht:** Der Wegehalter hat im Rahmen des Zumutbaren die Verkehrsteilnehmer zu schützen.

**Institutionelle Verantwortung:** In öffentlichen Bereichen kann man davon ausgehen, dass eine Institution das Risiko (z. B. durch Naturgefahren) begrenzt.

**Individuelle Verantwortung:** Abseits öffentlicher Wege sind die vom Risiko Betroffenen selbst für ihre Sicherheit verantwortlich.

**Schutzziel:** Schutzziele können als Wahrscheinlichkeiten verstanden werden, durch bestimmte Ereignisse zu Tode zu kommen. Sie müssen in der Öffentlichkeit als akzeptabel angesehen werden. Wird im Rahmen fachlicher Expertise festgestellt, dass die Wahrscheinlichkeit, durch Naturgefahren zu Tode zu kommen, größer ist als das Schutzziel, muss der Wegehalter entsprechende Schutzmaßnahmen umsetzen.

**Schutzgut:** Bei Schauklammen ist das Schutzgut Mensch von Relevanz. Sachgüter und wirtschaftliche Aspekte können ebenfalls im Hinblick auf ein Schutzbedürfnis betrachtet werden.

**Gefahr:** Der Umstand, dass aus einem (Naturgefahren-)Prozess ein Schaden für eine Person oder Sachgüter resultieren kann.

**Sicherheit:** Die Sicherheit ist gegeben, wenn das verbleibende Risiko als akzeptabel eingestuft wird.

**Risiko:** Errechnet sich aus dem Produkt von Schadensausmaß und Eintrittswahrscheinlichkeit eines Gefahrenprozesses.

**Restrisiko:** Risiko, das nach Umsetzung von Schutzmaßnahmen bestehen bleibt bzw. über ein definiertes Schutzziel hinausgeht.

**Schadensausmaß:** Das Schadensausmaß wird durch die Personenanzahl im Schadensbereich, die Intensität eines Ereignisses und die Schädempfindlichkeit (Vulnerabilität) bestimmt.

**Eintrittswahrscheinlichkeit:** Wahrscheinlichkeit des Eintretens eines Gefahrenprozesses kombiniert mit der Aufenthaltswahrscheinlichkeit von Personen im Gefahrenbereich.

## Methodik der Gefahren- und Risikoanalyse

Im Alpenraum finden verschiedene methodische Zugänge der Naturgefahren- und Risikoanalyse ihre Anwendung. Die diesbezüglichen Ansätze gehen auf unterschiedliche Konzepte und Entwicklungen aus der Schweiz zurück (BUWAL/PLANAT/ASTRA/RIKO), welche mit besonderem Fokus auf Infrastruktureinrichtungen entwickelt worden sind. Diese Konzepte nehmen auf das jeweilige Schutzgut Rücksicht und unterscheiden sich im Betrachtungsmaßstab, in der Bearbeitungstiefe und der Quantifizierung der Risiken. Daraus resultieren Unterschiede in der Szenarienbildung der Gefahrenanalyse und der zu berücksichtigenden Schadensbilder.

### METHODISCHER ANSATZ EINER RISIKOANALYSE

Risikoanalyse: Was kann passieren?

Die Risikoanalyse besteht aus nachfolgend angeführten Einzelbewertungsschritten:

#### → Gefahrenanalyse

- Instrument der Gefahrenerkennung
- Wirkungsanalyse: Jener Teil der Gefahrenanalyse, der sich mit Art, Ausdehnung und physikalischer Prozesswirkung beschäftigt

#### → Expositionsanalyse

- Ausweisung und Verortung gefährdeter Personen oder Objekte
- Ermittlung von Aufenthaltswahrscheinlichkeiten
- Definition relevanter Nutzungsszenarien

#### → Konsequenzanalyse

- Definition der Schädempfindlichkeit in Abhängigkeit verschiedener Szenarien und Intensitäten

„Bei Übernahme der Verantwortung von Naturgefahren für andere Personen benötigt man Schutzziele sowie allgemein gültige und einheitlich anzuwendende Richtlinien, Regelwerke oder Normen.“

– Roland Rauscher

#### → Risikoanalyse

- Rechnerische Darstellung der Risikogrößen

Ein wesentlicher Aspekt in diesem Prozess ist die Entwicklung von Szenarien. Dabei werden – auch in Abstimmung mit dem Auftraggeber – Umstände und Faktoren definiert, die zur Gesamtheit des Risikos beitragen. Bei den für Schauklammen besonders relevanten Prozessen Steinschlag und Felssturz erfolgt die Bildung von Szenarien unter Berücksichtigung von Jährlichkeiten und zugeordneten Ereignisgrößen (Kubaturen).

#### Risikobewertung: Was darf passieren?

Mit den Ergebnissen der Risikoanalyse als Eingangsparemeter wird in der Risikobewertung ermittelt, ob das Schutzziel erreicht wird oder im Vergleich mit dem definierten Schutzziel Defizite bestehen.

#### Maßnahmenplanung: Was kann man tun?

Welche Maßnahmen können getroffen werden, um das ermittelte Risiko auf ein akzeptables Niveau zu senken und damit das definierte Schutzziel zu erreichen.

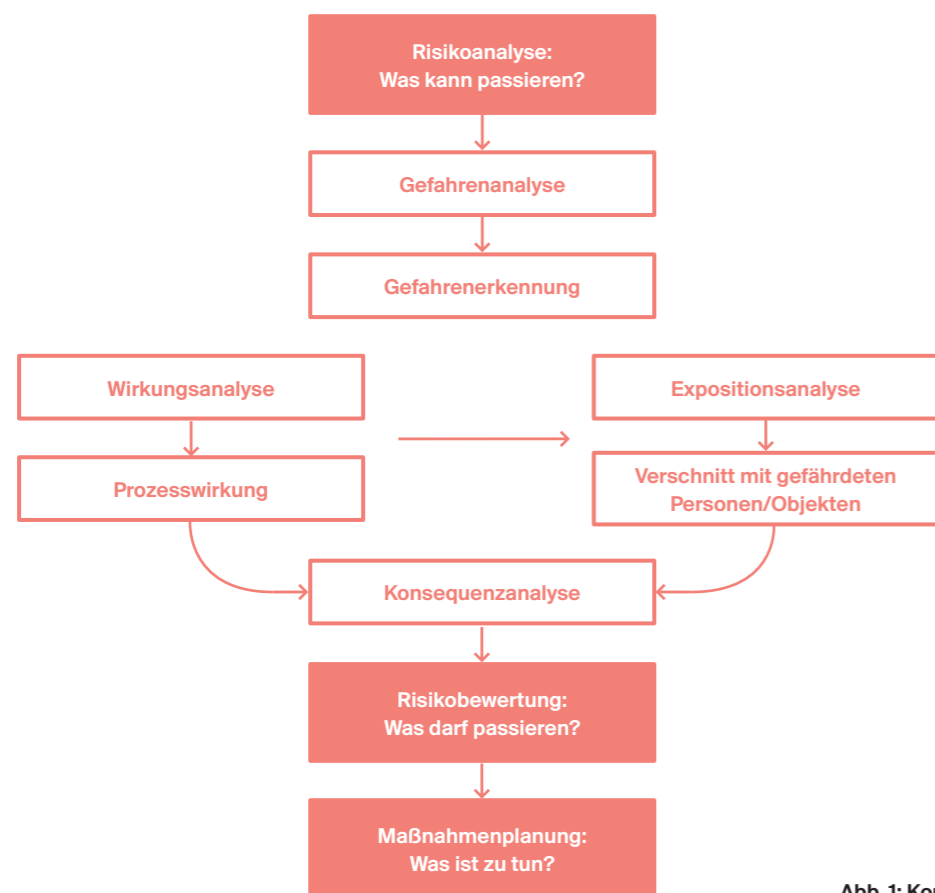


Abb. 1: Konzept Risikoanalyse

## Anwendung der Gefahren- und Risikoanalyse bei Schauklammen

### BESONDERE ASPEKTE

- Schauklammen zählen mit zu den bedeutendsten Tourismusattraktionen. Viele von ihnen haben in wenigen Sommermonaten mehr als 100.000 Besucher und besitzen damit eine regionale wirtschaftliche Bedeutung.
- Schauklammen werden häufig von bergunerfahrenen Besuchern aus alpenfernen Herkunftsländern besucht. Ein bedeutender Anteil setzt sich auch aus Kindern und körperlich eingeschränkten Personen zusammen.
- Der Übergang von „gefahrlosen“ Asphaltflächen in Gefahrenbereiche mit hochalpinem Charakter vollzieht sich oft innerhalb weniger Meter.
- Bei kostenpflichtigen Schauklammen besteht eine erhöhte Verantwortung durch den Betreiber. Der Besucher kann davon ausgehen, dass entsprechende Vorkehrungen und Maßnahmen zur Erreichung eines hohen Schutzzieles umgesetzt werden.
- Verstärkte Nutzung bei Schlechtwetter und damit in Perioden mit erhöhter Eintrittswahrscheinlichkeit von gravitativen Sturzprozessen.

### NATURRAUM SCHAUKLAMMEN

Schauklammen sind hinsichtlich ihrer naturräumlichen Ausprägungen äußerst komplex und nicht miteinander vergleichbar. Beispielhaft seien angeführt:

- Geologische Rahmenbedingungen
- Topografische Ausprägung und Größe des Einzugsgebietes
- Waldbestand, Waldzustand
- Tiefe und Geometrien der Schluchtquerschnitte
- Zugangs- und Erschließungsmöglichkeiten
- Naturschutzrechtlicher Status. Dieser bedarf im Rahmen der Maßnahmenplanung besonderer Berücksichtigung.

Die angeführten Punkte sind wichtige Eingangsparameter für die Gefahren- und Risikoanalyse und als solche zu erheben und zu berücksichtigen.

### VERKEHRSSICHERUNGSPFLICHT IN SCHAUKLAMMEN

Neben dem Schutzziel und den naturräumlichen Gegebenheiten gelten folgende Punkte für die Definition der Verkehrssicherungspflicht:

- Besucherzahlen als Maß der Aufenthaltswahrscheinlichkeit
- Zielpublikum als Maß der Verantwortlichkeit
- Art der Auf- und Erschließung (Ruhezonen, Aussichtsbereiche etc.) als Maß der Aufenthaltswahrscheinlichkeit in Bezug zur jeweiligen Exposition

„Schauklammen nehmen im Vergleich zu anderen Verkehrswegen im Kontext einer Gefahren- und Risikoanalyse eine Sonderstellung ein, welche sich auch von Wanderwegen ganz grundsätzlich unterscheidet.“

– Gerald Valentin

- Art und Umfang der vom Betreiber ausgewiesenen Gefahren- und Verhaltenshinweise

Dem steht z. T. entgegen:

- Bereitschaft des Betreibers zur Ausarbeitung und Anwendung eines Risikokonzeptes
- Wirtschaftliche Ziele und Disposition des Betreibers
- Naturschutzrechtliche Einschränkungen

Diese Punkte sind als wichtige Eingangsparameter in der Expositionsanalyse zu erheben und zu berücksichtigen.

### SCHUTZZIEL FÜR SCHAUKLAMMEN

Im Jahr 1999 wurde im Alpenraum erstmalig ein Grenzwert für individuelle Todesfallrisiken bei gravitativen Naturgefahren definiert. Laut Schweizer Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft darf dieser nicht größer als  $1 \times 10^{-5}$  bis  $1 \times 10^{-6}/y$  sein (Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft-BUWAL: Risikoanalyse bei gravitativen Naturgefahren, Bern, 1999). Der Kanton Bern hat 2010 ein übergeordnetes und nicht verhandelbares Schutzziel für Menschen festgelegt. Ausgegangen wurde vom natürlichen Sterberisiko, das für einen jungen Menschen rund  $1 \times 10^{-4}/y$  beträgt. Für unfreiwillig eingegangene Risiken soll dieses Ausgangsrisiko um nicht mehr als zehn Prozent erhöht werden. Entsprechend wurde der Grenzwert für das individuelle Todesfallrisiko durch gravitative Naturgefahrenprozesse mit  $1 \times 10^{-5}/y$  pro Jahr festgelegt. Dies bedeutet, dass

es allgemeine Akzeptanz findet, wenn eine Person mit einer Wahrscheinlichkeit von  $1:100.000$  in einem definierten Bereich durch Steinschlag, Felssturz o. ä. zu Tode kommt.

In Österreich wurde erstmalig 2010 durch die Salzburger Landesstraßenverwaltung ein Schutzziel für gravitative Naturgefahren definiert. Das individuelle Todesfallrisiko von  $1 \times 10^{-5}/y$  ist in der Folge vom Salzburger Landtag beschlossen worden. 2014 hat die Österreichische Gesellschaft für Geomechanik das gleiche Schutzziel u. a. für öffentliche Straßen, aber auch für ausgewiesene Fuß- und Radwege im Dauersiedlungsraum festgelegt (Österreichische Gesellschaft für Geomechanik: Empfehlungen für das Schutzziel bei gravitativen Naturgefahren in Österreich, Salzburg, 2014).

2020 beziffert der Geologische Dienst des Landes Salzburg nach einem tödlichen Steinschlag beim Zugang zur Schauhöhle Eisriesenwelt das Schutzziel für die Besucher betreffend das individuelle Todesfallrisiko mit  $1 \times 10^{-5}/y$ . Im gleichen Jahr empfiehlt der Österreichische Alpenverein, das individuelle Todesfallrisiko auf leichten Wanderwegen und Spazierwegen mit  $1 \times 10^{-5}/y$  zu begrenzen (Würtl et al.: R.A.G.N.A.R: Risikoanalyse Gravitativer Naturgefahren im Alpenraum, 19. Ausgabe: analyse:berg – Sommer 2020, Innsbruck, 2020).

Bei Schauklammen handelt es sich um Wege, deren Benutzer in der Regel keine bergspezifischen Kenntnisse und kein entsprechendes Gefahrenbewusstsein besitzen. Damit unterscheiden sie sich wesentlich von sonstigen alpinen Wegen, deren Nutzern ein gewisses Maß an Risikobewusstsein und Eigenverantwortung unterstellt wird. Die Besucher einer Schauklamm können – auch wenn diese alpines Gelände darstellt – hinsichtlich ihrer Kompetenz im Umgang mit gravitativen Prozessen mehr als Spaziergänger denn als Wanderer charakterisiert werden und diesbezüglich durchaus mit Nutzern von öffentlichen Straßen verglichen werden. Im Land Salzburg findet für öffentliche Straßen seit über einer Dekade das oben beschriebene Schutzziel von  $1 \times 10^{-5}/y$  Anwendung. Die Übernahme dieses Schutzzieles wird auch für die Besucher von Schauklammen als angebracht angesehen, zudem auch nicht davon ausgegangen werden kann, dass von den Besuchern die Bereitschaft besteht, ein höheres individuelles Risiko einzugehen.

**RISIKOBEWERTUNG**

Auf Straßen und in Siedlungsräumen wirken Autos und Häuser als Schutz gegenüber kleinen Ereignissen. Im Gegensatz dazu sind in Schauklammen bei der Frage nach „Was darf passieren“ bereits geringste Ereignisintensitäten zu berücksichtigen. Dies erhöht den Anspruch an die Gefahrenanalyse und die Antwort auf die Frage „Was kann passieren“ und damit die Bearbeitungstiefe der Risikoanalyse selbst. Als Ergebnis dieser Analysen wird im Rahmen der Maßnahmenplanung „Was ist zu tun“ definiert, welche Maßnahmen zum Schutz vor gravitativen Naturgefahren zu treffen sind. Dabei kann es sich um technische Bauten handeln, es kann aber auch methodenübergreifendes Paket unter Einbeziehung z. B. organisatorischer Maßnahmen umgesetzt werden.

**MASSNAHMENPLANUNG**

Die Möglichkeiten, Maßnahmen zum Schutz vor Stein- und Blockschlag sowie Felssturz im weiteren Sinne zu setzen, sind vielfältig. Grundsätzlich kann nach der Verortung und der Wirkungsweise der Maßnahmensetzung unterschieden werden:

**Aktive Maßnahmen zur Unterbindung eines Ereignisses an der Quelle, z. B. durch Fixieren von Sturzblöcken:**

- Beräumung
- Sprengung
- Vernetzungen
- Vernagelungen/Einzelblocksicherungen
- Stabilisierung (Ankerbalken/Spritzbeton ...)

**Passive Maßnahmen im Prozessbereich des Ereignisses, z. B. entlang der Sturzbahn:**

- Steinschlagschutznetze
- Steinschlagschutzdämme
- Galerien/Stollen

Neben den angeführten, überwiegend technischen Maßnahmen können folgende alternative Maßnahmen umgesetzt werden: Biologische Maßnahmen wie Schutzwaldprojekte oder generell erosionswirksame Maßnahmen wirken als passive Maßnahmen im Prozessbereich.

Organisatorische Maßnahmen wie Besucherlenkung, Festlegung von Personenobergrenzen, Sperrung in Abhängigkeit des Wetters oder Schaffung von Bereichen geringer Aufenthaltswahrscheinlichkeiten dienen der Steuerung großer Menschenmengen.

Beobachtungsmethoden werden bevorzugt in der Überwachung ausgewählter Bereiche des Prozessgebietes angewendet. Diese passiven Maßnahmen reichen von Kontrollbegehungen durch unterwiesenes Personal, Kontrollbefliegungen mit Drohnen bis hin zur Installation von Kluftweitenmessungen, photogrammetrische Methoden oder Radartechnologie.



↑ **Abb. 2: Treppen- und Schutzanlage in der Liechtensteinklamm**  
Foto: Atelier Oczlon

## Praxisbeispiel Schauklamm Liechtensteinklamm

Die Liechtensteinklamm im Salzburger Pongau unweit der Bezirkshauptstadt St. Johann im Pongau gelegen, ist eine der meistbesuchten Schauklammen in Österreich und gehört zu den wichtigsten touristischen Zielen des Landes.

Im Mai 2017 kam es im zentralen Bereich der Schauklamm zu einem unvorhersehbaren Felssturzereignis. Aufgrund der in den Vorjahren umgesetzten Maßnahmen zum Schutz der Besucher konnten direkte Personenschäden verhindert werden. Als Betreiberin der Schauklamm hat sich die Stadtgemeinde St. Johann in Folge für eine komplette Überarbeitung des Maßnahmenkonzeptes zum Schutz der Besucher entschieden.

**DEFINITION DES SCHUTZZIELES**

In den stark frequentierten Abschnitten der Liechtensteinklamm verursacht schon der Absturz kleinerer Steine und damit ein Ereignis sehr geringer Intensität mit hoher Wahrscheinlichkeit einen Personenschaden. Aus diesem Grund hat sich die Betreiberin dazu entschlossen, jegliche gravitative Sturzprozesse im Umfeld des Besuchersteiges zu unterbinden und damit das gängige Schutzziel von  $1 \times 10^{-5}/y$  zu unterschreiten.

**ENTWICKLUNG UND METHODISCHER ANSATZ DES MASSNAHMENPAKETES**

Um Berechnungen und Prozesssimulationen zur flächigen Bewertung durchführen zu können, musste auf zahlreiche unterschiedliche Untersuchungsmethoden zurückgegriffen

**Eckdaten**

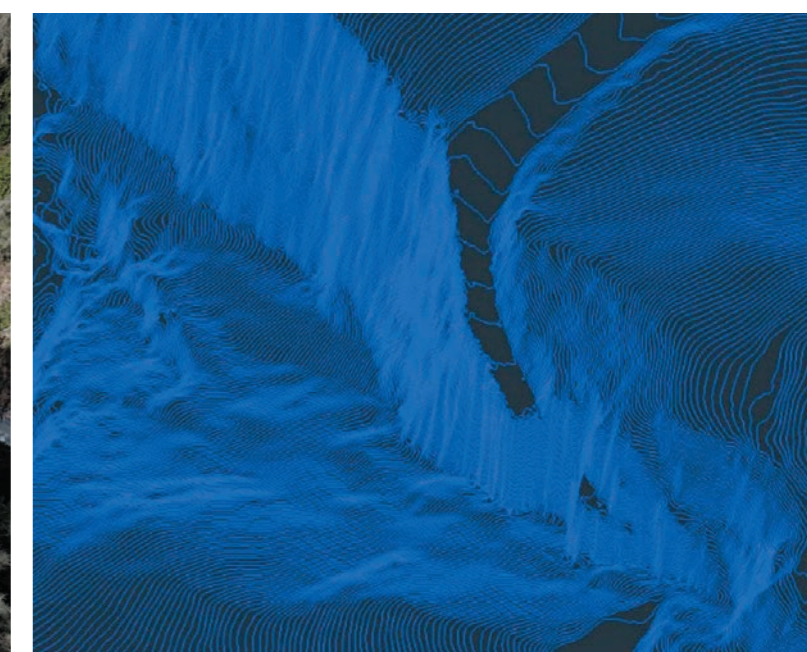
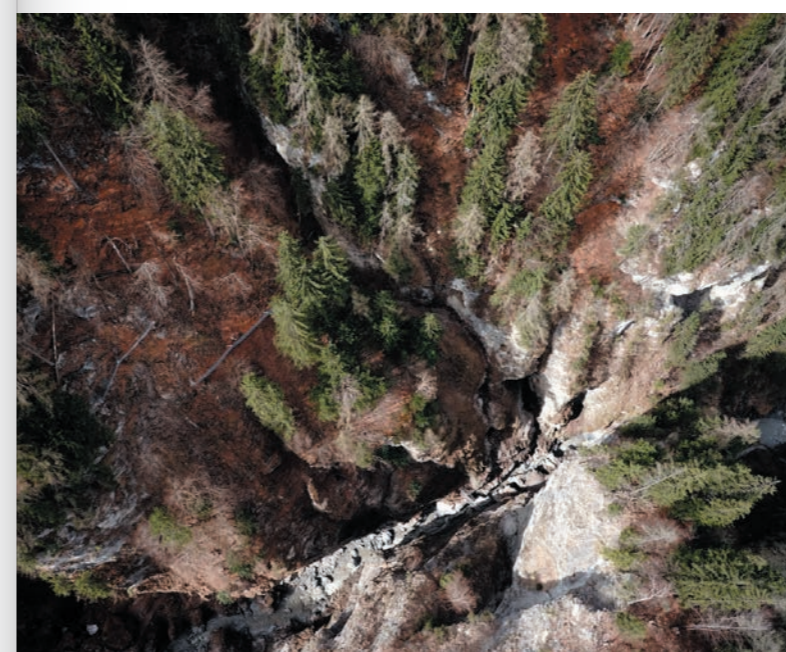
**Lage:** St. Johann im Pongau/Salzburg  
**Länge:** ca. 700 m (erschlossen)  
**Besucher:** ca. 150.000/Jahr (Mai–Oktober)  
**Charakteristik:** Engstellen (1–2 m)/Schluchthöhen bis 200/300 m  
**Naturraum:** Naturdenkmal/eine der tiefsten Wasserschluchten der Alpen

werden. Auf Basis der auf diese Weise geschaffenen Grundlagen konnte die Wahrscheinlichkeit von Ereignissen durch 2D- und 3D-Steinschlagsimulationen errechnet werden. Das Restrisiko wurde mit einer Eintrittswahrscheinlichkeit von < 1 Prozent eines Ereignisses in von Besuchern genutzten Bereichen definiert.

Bei Nichterreichen dieser Vorgabe wurden verschiedenste Maßnahmen zur Erlangung des Schutzzieles definiert. Wegen der hohen Bandbreite an zu berücksichtigenden Bemessungsereignissen, des weiten Einzugsgebietes und der stark untergliederten topografischen Verhältnisse musste oft auf eine Kombination verschiedener Maßnahmen zurückgegriffen werden. Abschnittsweise ist der Weg sogar verlegt worden. Unter anderem wurden folgende Maßnahmen umgesetzt:



↓ **Abb. 3: Realer Naturraum versus interpoliertes Airborne Laser Scanning** Foto: Archiv Valentin



**Technische Maßnahmen (aktiv/passiv)**

- Sprengung und Abtrag labiler Felsformationen und Einzelblöcke
- Großflächige Felsvernetzungen
- Errichtung von ca. 2.000 Meter Steinschlagschutznetzen
- Ausbruch von drei Stollen- sowie vier Galerianlagen
- Konstruktion neuer Treppen- und Brückenbauten

**Monitoring**

- Kluftweitenüberwachung mittels Telejointmetern auf Basis eines definierten Alarmplanes
- Fernerkundung flächiger Felsbereiche mittels Interferometrischem Radar

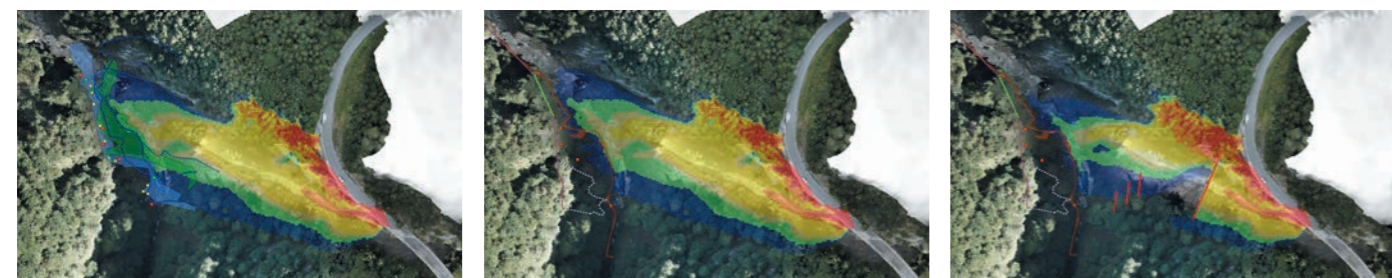
**Organisatorische Maßnahmen**

- Besuchersteuerung z.B über gezielte Bewerbung eines Besuches der Klamm am Vormittag
- Regelung des Einlasses bei hoher Besucherfrequenz
- Kontrollbegehungen
- Einführung eines adaptierten Ereignisdokumentationssystems

**ANPASSUNG DER UNTERSUCHUNGSMETHODIK**

Jede Schauklamm erfordert eine individuell angepasste Herangehensweise in der Erfassung der maßgeblichen Parameter einer Gefahren- und Risikoanalyse. Die von Normen und Richtlinien geforderten Grundlagen können dabei oft nur unter Verbindung unterschiedlicher Methoden erarbeitet werden. Beispielhaft werden einige dieser Ansätze in **Abb. 5** aufgezeigt.

↓ **Abb. 4: 3D-Simulationen.** Darstellung der Eintrittswahrscheinlichkeiten mit Ausweisung der Umhüllenden und Kalibrierung mit stummen Zeugen (li.), Eintrittswahrscheinlichkeiten versus mögliche Wegevarianten (braun ist der Bestandsweg) und mit eingezeichneter Maßnahmenstudie (re.) Foto: Archiv Valentin



**Zusammenfassung**

Der anhaltende Trend steigender Tourismuszahlen in alpinen Bereichen stellt auch jene Personen vor Herausforderungen, die als Experten im Bereich der Prävention vor Naturgefahren tätig sind. Das Hauptaugenmerk der handelnden Personen und das Ziel anerkannter Risikokonzepte, Richtlinien und entsprechender Normen liegt auf dem Schutz von Personen und der Einhaltung definierter Schutzziele. Letztendlich ist auch die Reduktion des Haftungsrisikos für den Wegehalter von großer Bedeutung.

Mit diesem Beitrag soll aufgezeigt werden, dass hinter jeder Maßnahme gegen Naturgefahren eine hohe Verantwortung einzelner Personen steht. Die Anpassung an die jeweiligen Naturräume und die fachgerechte Anwendung von Risikokonzepten können sich dabei äußerst komplex und fachlich herausfordernd gestalten. Eine Gefahren- und Risikoanalyse sollte daher mit hoher Expertise durchgeführt werden. Pauschalisierte Risikoansätze, die stark auf Personenfrequenz und individueller Verantwortung aufbauen, mögen auf Wegen im Hochgebirge ihre Berechtigung finden, so denn die Bewertungen durch Fachexperten vorgenommen werden. In Schauklammen und generell auf touristisch stark frequentierten Wegen entspricht die Anwendung stark vereinfachter Risikoanalysen nicht dem Stand der Technik. Da derartige Methoden und generell ein zu leichtfertiger Umgang mit Naturgefahren im Schadensfall der Beurteilung eines Sachverständigen nicht standhalten, sollte jeder Betreiber einer Schauklamm einem qualitätsvollen Gefahren- und Risikomanagement hohe Bedeutung beimessen. ■

	Normativer Anspruch	Problemstellung	Lösungsansatz
<b>Felsablösebereiche/ Topografie</b>	Die Durchführung von Kartierungen, Dokumentationen und insbesondere die Modellierung von Steinschlagprozessen und infolge der Maßnahmenplanung erfordern geeignete Plangrundlagen.	<ul style="list-style-type: none"> <li>→ Zur Verfügung stehende Pläne und Karten sind aufgrund der topografischen Gegebenheiten stark interpoliert und dadurch ungenau. Beim Airborne Laser Scan (ALS) werden z. B. keine Überhänge abgebildet</li> <li>→ Eingeschränkter, meist fehlender GPS-Empfang</li> <li>→ Erschwerter Einsatz von Drohnen (enge Platzverhältnisse und Funksignalstörungen)</li> <li>→ Nur kleinräumige Einsatzbarkeit einzelner Methoden</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>→ Kombination verschiedener Methoden zur Erstellung von Plangrundlagen</li> <li>→ Airborne Laser Scanning (ALS)</li> <li>→ Terrestrial Laser Scanning (TLS)</li> <li>→ Erstellung eines georeferenzierten Geländemodelles mittels Drohnenbefliegung (Structure-for-Motion-Verfahren)</li> <li>→ Erstellung von 3D-Grundlagen mittels Photogrammetrie</li> </ul>
<b>Geländeerhebungen</b>	Flächige Erhebung des Bearbeitungsbereiches, um zum Beispiel der ONR 24810 „Technischer Steinschlagschutz“ gerecht zu werden.	<ul style="list-style-type: none"> <li>→ Extrem steile Geländeneigungen</li> <li>→ Fehlende Sichtbeziehungen</li> <li>→ Starke Untergliederung des Einzugsgebietes</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>→ Zur Ausarbeitung der notwendigen Grundlagen wurde eine Kombination aus mehreren Methoden angewendet:</li> <li>→ Geländeerhebungen mit Seilsicherung</li> <li>→ Auswertungen am speziell erstellten georeferenzierten 3D-Geländemodell</li> <li>→ Erfassung und Auswertung strukturgeologischer Parameter mittels Software (Shape-Matrix 3D)</li> </ul>
<b>Erhebung von Chronikdaten/ Stummen Zeugen</b>	Erfassung von historischen Ereignissen zur Bestimmung von Eintrittswahrscheinlichkeiten sowie Intensitäten von Sturzprozessen.	<ul style="list-style-type: none"> <li>→ Fehlende Ereignisdatenbank</li> <li>→ Ablagerungen ehemaliger Prozesse sind aufgrund des Ablagerungsraumes in der Grobäcker Ache kaum vorhanden</li> <li>→ Schlagmarken z. B. an Bäumen fehlen weitgehend</li> <li>→ Stumme Zeugen entlang der hölzernen Stege sind aufgrund der Querschlagthematik und somit mehrerer möglicher Prozessbereiche schwer zuordenbar</li> <li>→ Hohe Fragmentierung aufgrund komplexer und weiter Sturzwege erschwert die Szenarienbildung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>→ Methodenkombination zur Definition von Bemessungsblöcken im Zuge der Maßnahmenplanung (Linienzählverfahren/Scanlinienverfahren/Kluftkörperanalysen am Seil/statistische Auswertungen)</li> <li>→ Entwicklung und Adaptierung eines aussagekräftigen Ereignisdokumentationssystems</li> </ul>
<b>Modellierung von Steinschlagprozessen</b>	2D- und/oder 3D-Modellierung der Steinschlagprozesse. Kalibrierung und Verifizierung mit stummen Zeugen.	<ul style="list-style-type: none"> <li>→ Fehlen von geeigneten Schnittdarstellungen und Rastermodellen</li> <li>→ Reproduzierbarkeit von Querschlägen an gegenüberliegenden Felswänden (Mehrfachrückprall)</li> <li>→ Fehlende stumme Zeugen wie Schutthalden oder Einzelblöcke</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>→ Kombination verschiedener Vermessungstechniken zur realitätsnahen Darstellung von Schnitten auch z. B. in Überhängen</li> <li>→ Modellierung breitflächiger Einzugsgebiete mit anschließendem schluchtartigen Absturz durch Kombination von 2D- und 3D-Modellierungen</li> <li>→ Aufwendige Kalibrierung des Modells für reproduzierbare und realitätsnahe Simulation von Querschlägen</li> <li>→ Durchführung mehrerer Steinschlagfeldversuche zur Kalibrierung des Modells</li> </ul>

↑ **Abb. 5: Untersuchungsmethodik Liechtensteinklamm**