

Zeitschrift: Bulletin für angewandte Geologie
Herausgeber: Schweizerische Vereinigung der Petroleum-Geologen und –Ingenieure;
Schweizerische Fachgruppe für Ingenieur-Geologie
Band: 3 (1998)
Heft: 1

Artikel: Geologische Naturgefahren in der Schweiz = Dangers géologiques en Suisse = Pericoli geologici naturali in Svizzera
Autor: Keusen, Hans Rudolf
Kapitel: Fallbeispiel Nr. 8 : die Bergstürze auf der Sandalp 1996 : Risikobeurteilung und Gefahrenmanagement
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-220733>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 05.05.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Fallbeispiel Nr. 8:

Die Bergstürze auf der Sandalp 1996 Risikobeurteilung und Gefahrenmanagement

HANS RUDOLF KEUSEN*

Zusammenfassung

Am 24. Januar 1996 erfolgte aus der Ostwand des Zutribistockes ein erster Bergsturz von 0.5 Mio m³. Ein zweiter Abbruch ereignete sich am 3. März 1996 mit 1.75 Mio m³. Die beiden Ereignisse wurden durch verschiedene seismische Stationen registriert. Die Ursache für die Bergstürze sind ungünstig liegende Trennflächensysteme, insbesondere die steil gegen das Tal abfallende und unterschrittene Schichtung resp. Schieferung. Bei der Risikobeurteilung ergaben sich verschiedene Gefahrenpotentiale. Dabei waren a) ein Bergsturz in einen aufgestauten See und b) die luftseitige Erosion des Dammes beim Überlaufen des Sees die folgenschwersten Szenarien, weil sie zu einer grossen Flutwelle im Tal hätten führen können. Die Eintretenswahrscheinlichkeiten wurden für a) mit 0.01 (1 x in 100 Jahren) resp. für b) mit 0.0005 abgeschätzt. Wichtigstes Element des Gefahrenmanagements war die Erstellung eines Scheitelkanals durch den Damm. Damit kann ein Seeaufstau verhindert werden; die oben erwähnten Risiken sind damit eliminiert.

Résumé

Le 24 janvier 1996, une premier éboulement de 0.5 millions de m³ se produisit sur la face Est du Zutribistock. Une seconde rupture impliquant 1.75 millions de m³ se produisit le 3 mars 1996. Les deux événements furent enregistrés par diverses stations sismologiques. L'origine des éboulements est liée à la position défavorable des surfaces de discontinuité, en particulier à la stratification, respectivement à la schistosité qui plongent fortement en direction de la vallée et sont coupées à leur base. Différents aléas ont été définis par l'évaluation du risque. Parmi ceux-ci, les scénarios aux conséquences les plus graves étaient: a) un éboulement dans un lac artificiel et b) l'érosion de la digue de retenue par le débordement du lac, car ils auraient pu conduire à un véritable «raz-de-marée» dans la vallée. La probabilité d'occurrence fut calculée à 0.01 (1x/100 ans) pour le scénario a) et à 0.0005 pour le scénario b). Le principal élément de gestion du risque fut la création d'un canal de déversement au travers de la digue. De cette manière, un débordement du lac peut être évité et les risques cités plus haut sont éliminés.

1. Einleitung, Ereignisse

Am 24. Januar 1996, ca. 8 Uhr, erfolgte aus der Ostwand des Zutribistockes (Kt. Glarus) ein erster Bergsturz aus einer Höhe zwischen 1950 - rund 2250 m ü.M. Ein zweiter Bergsturz ereignete sich am 3. März 1996 um ca. 19.30 h aus einem Gebirgsbereich südlich angrenzend des früheren Ausbruchs (Fig. 1, 2).

* Geotest AG, Birkenweg 15, 3052 Zollikofen

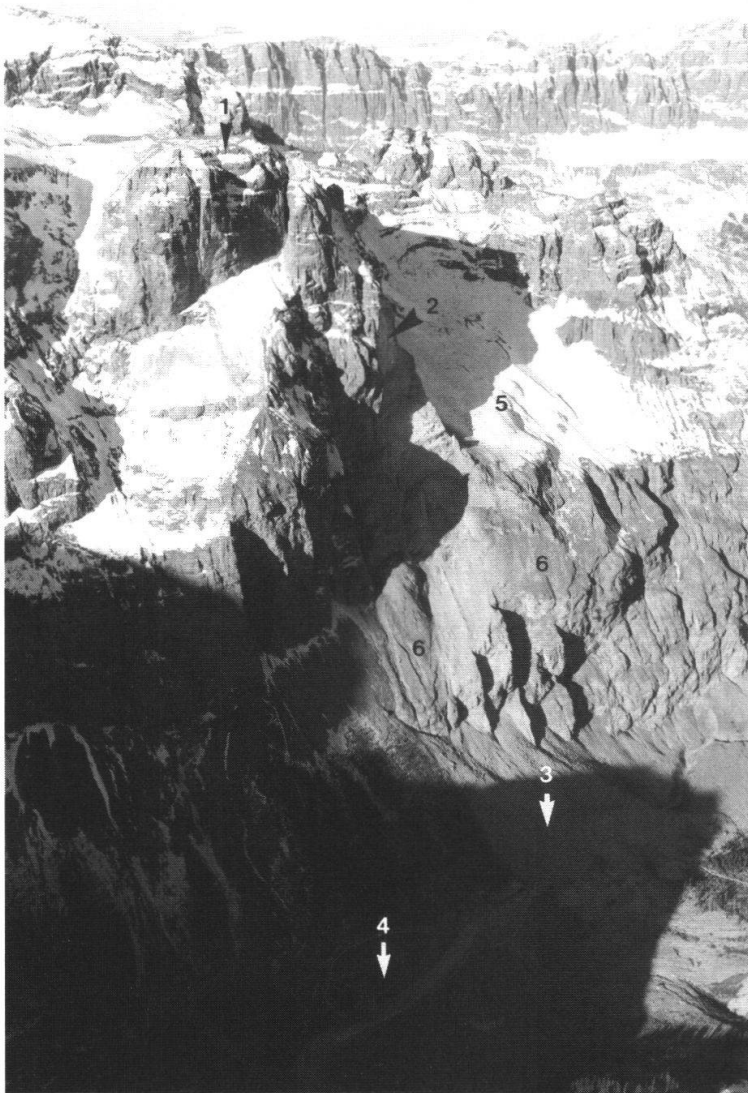


Fig. 1:

Bergsturzgebiet Zuetribistock von Süden (Aufnahme Luftaufklärung Dübendorf)

1: Zuetribistock (2'644.5 m ü.M.) mit westlich anschliessenden Gipfelplateau

2: Absturzbereich des 1. Sturzes vom 24.1.1996

3: Sturzmasse vom 24.1. 1996 zwischen Vorder und Hinter Sand

4: Ausgleichsbecken KLL

5: Gensalpeli

6: Gensiband mit talseitigen Felsköpfen.

In der Folge wurde eine Gefahrenkommission etabliert, in welcher zwei Geologen (Dr. H.R. Keusen und Dr. M. Kobel) als Berater mitwirkten. Die nachfolgenden Ausführungen stützen sich auf den Bericht Geotest / BTG vom 16.12.1996: «Bergstürze Sandalp 1996, geologisches Gutachten: Ereignisse, Kausalität, Risiko weiterer Bergstürze, Massnahmen.»

Bis heute ereigneten sich immer wieder kleinere Block- und Felsstürze (siehe Kasten). Sie wurden z.T. von Berggängern beobachtet oder durch die seismischen Stationen registriert:

<i>Sturz</i>	<i>Datum / Zeit</i>		<i>Volumen [Mio m³]</i>
1	24.1.96	09. ⁰⁰	0.47
2	3.3.96	19. ³⁰	1.75
3	4.9.96	04. ⁴⁰	0.01 - 0.04
4	24.9.97	16. ⁵⁰	ca. 0.02 - 0.08
5	27.9.97	10. ⁰⁰	
6	31.3.98	9. ⁴³	ca. 0.1
7	31.3.98	1. ⁵⁸	

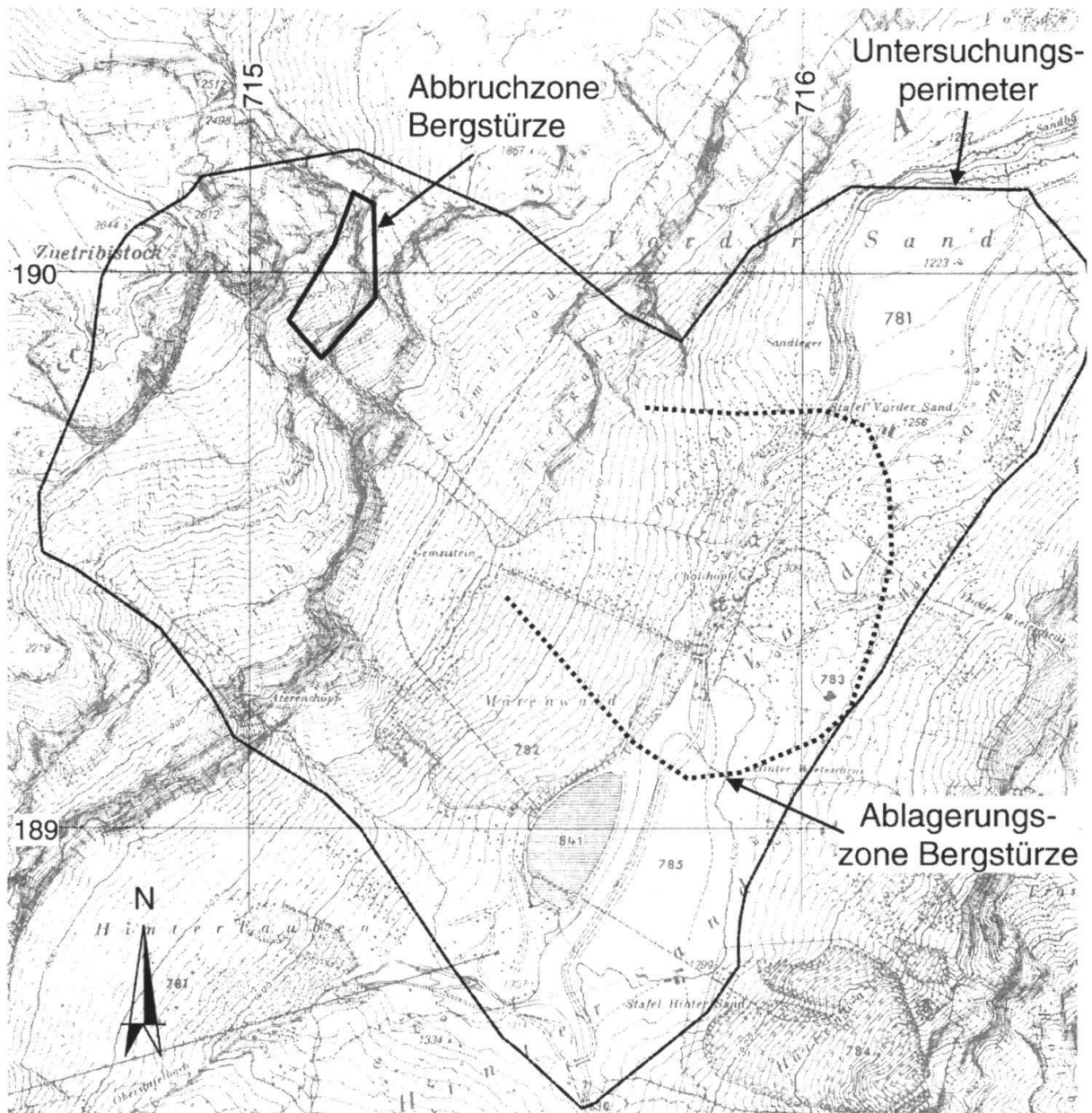


Fig. 2: Bergsturzgebiet Sandalp, Übersicht.

2. Problemstellung

In Zusammenhang mit den erfolgten Bergstürzen sollten von den Geologen folgende Fragen beantwortet werden:

- Kausalität der erfolgten Bergstürze als wichtige Grundlage für die Beantwortung von Frage b)
- Gefahr weiterer Bergstürze (Eintretenswahrscheinlichkeit, Ort, Ausmass, Schadenpotentiale)
- Stabilität der abgelagerten Bergsturzmasse gegenüber innerer und äusserer Erosion
- Schutzmassnahmen für die Zukunft
 - bauliche Massnahmen
 - Frühwarndienste

Im Zentrum des Interesses stand eine **Risikobewertung** der vorhandenen Gefahrenpotentiale (insbesondere auch von deren Kombinationen wie z.B. Bergsturz in See) und der betroffenen Schadenpotentiale.

3. Geologische Situation

Die Ostwand des Zutribistockes besteht aus einer mächtigen Abfolge aus Quintnerkalken (Malm): Es handelt sich um ein mehr als tausend Meter mächtiges Paket von mehreren übereinander geschuppten Kalkabfolgen.

Die Kalke sind massiv und weisen markante, stark durchtrennende Kluftsysteme auf.

Tab. 1: Wichtigste Trennflächensysteme im Abbruchgebiet

<i>System</i>	<i>Fallazimut / Fallen</i>	<i>Charakterisierung</i>
K ₁	50 / 85	Hauptkluftsystem NW-SE stark durchtrennend. Längserstreckungen bis mehrere 100 m. Kluftabstände 50 - 200 m
K ₂	130 - 135 / 85	stark durchtrennendes Kluftsystem, z.T. mit glänzenden Rutschharnischen. Längserstreckungen bis 100 und mehr m. Kluftabstände ca. 100 m
S ₁	145 - 150 / 30	Schieferungsflächen
S ₂	147 - 152 / 46 - 50	Scherflächen. Steiler als Schieferung

Frühere Bergstürze

Bereits früher erfolgten Bergstürze aus der Ostwand des Zutribistockes. Die Ausbruchsnischen sind heute noch gut erkennbar. Wann die Ereignisse erfolgten, ist unbekannt. Die Bergstürze schütteten den Talboden der Sandalp um mindestens 15 m auf und führten zu einem Rückstau des Sandbaches mit nachfolgender Schuttablagerung bis auf die Höhe der heutigen Sandalp.

4. Durchgeführte Untersuchungen

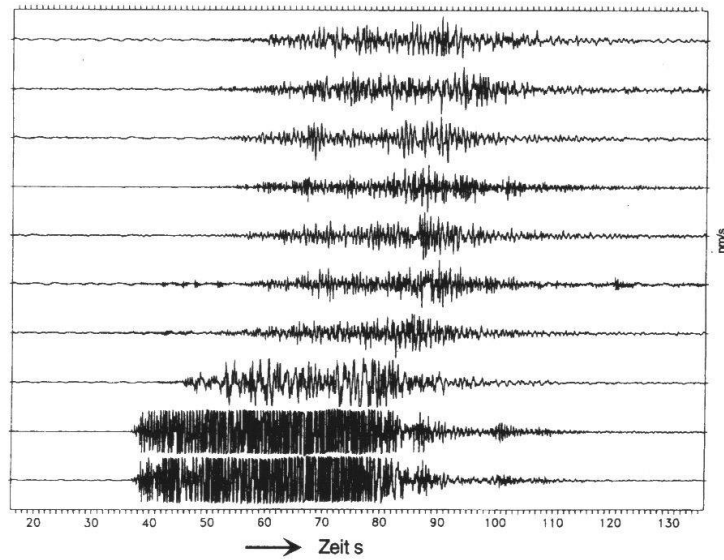
Der Regierungsrat des Kantons Glarus setzte mit Beschluss vom 11.3.1996 eine Gefahrenkommission ein, welche aus Behördenmitgliedern des Kantons, aus Vertretern des Kraftwerkes Lindt-Limmern (KLL) - welche eine Wasserfassung auf der Sandalp betreibt -, der Sandalpbesitzer, Spezialisten der Versuchsanstalt für Wasserbau der ETHZ (VAW) und des Bundesamtes für Wasserwirtschaft (BWW) sowie zwei Geologie-Experten bestand.

Im Hinblick auf die Beantwortung der gestellten Fragen wurden im wesentlichen folgende Untersuchungen durchgeführt:

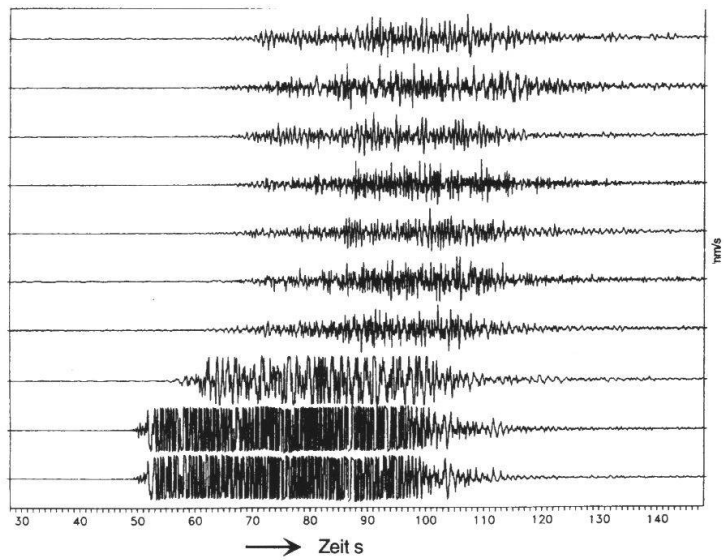
a) Photogrammetrie

Auswertung von vor Bergsturz 1, zwischen Bergsturz 1+2 und nach Bergsturz 2 aufgenommenen Flugaufnahmen und Verarbeitung zu digitalen Geländemodellen.

Bergsturz 1 : 24. 1. 1996



Bergsturz 2 : 3. 3. 1996



Felssturz 3 : 4. 9. 1996

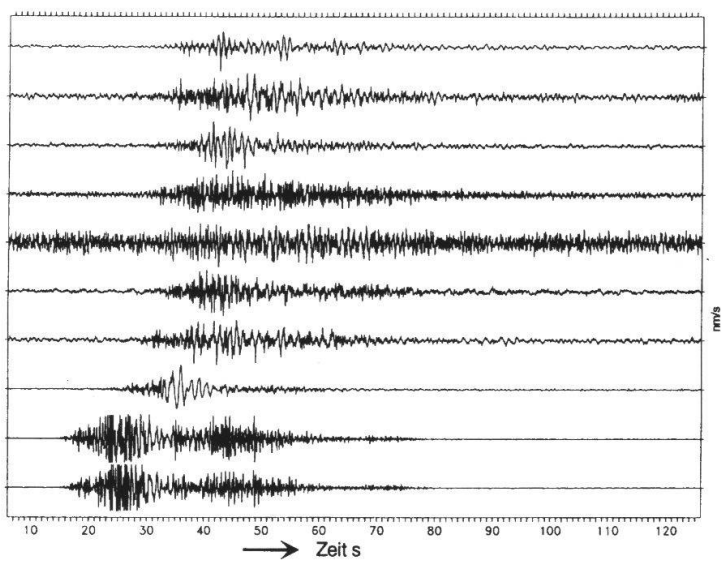


Fig. 3: Seismologische Aufzeichnungen der Stürze 1, 2, 3 bei verschiedenen Stationen des Schweizerischen Erdbebenendienstes.

b) Geologie

- Geländeaufnahmen
- Aufarbeitung der Photogrammetrie mit Intergraph
- Erarbeitung des geologischen Modells (Kausalität)
- Erarbeitung der Gefahrenpotentiale (mögliche weitere Sturzzenarien)

c) Wasserseite

- hydrologische Berechnungen zum Szenarium Seeaufstau
- Flutwellenberechnungen, Szenarium Sturz in See
- Flutwellenberechnungen, Szenarium Erosion Damm

d) Risikoabschätzung und Massnahmenplanung

5. Untersuchungsergebnisse

Seismologische Beobachtungen

Die während der Fels- und Bergstürze erfolgten Erschütterungen wurden durch den Schweizerischen Erdbebendienst (SED) an verschiedenen Stationen registriert (Fig. 3). Die langgezogene Form des Signals ohne eindeutigen Anfang und ohne über mehrere Stationen korrelierbare Einsätze ist typisch für BergsturzsSignale. Die registrierten Erschütterungen entsprechen weitgehend dem Aufprall der Sturzmasse auf dem Talboden. Sie dauerten bei Sturz 1 und 2 ca. 60 - 80 Sekunden, bei Sturz 3 ca. 50 Sekunden.

Kubaturen

Aus der Photogrammetrie lassen sich folgende Kubaturen berechnen, resp. abschätzen:

Tab. 2: Bergstürze Sandalp, Kubaturen

<i>Ereignis</i>	<i>V. Ausbruch (Mio. m³)</i>	<i>V. Ablagerung (Mio. m³)</i>	<i>Faktor Ausbruch / Ablagerung</i>
Sturz 1 (24.1.96)	0.47	0.75	1.6
Sturz 2 (3.3.96)	1.75	2.2	1.3
Total	2.22	2.95	

Ausbruchsformen, Pauschalgefälle

Die Bergstürze erfassten schmale, bis über 200 m hohe Felsscheiben, bergseits begrenzt durch K₂, an der Basis durch S₂ (Fig. 4, 5, 6).

Die Pauschalgefälle betragen 40° für Sturz 1, resp. 35 - 37° für Sturz 2.

Ablagerung

Die Mächtigkeiten der Ablagerung erreichen bis über 40 m. Sie ist auffallend feinkörnig, grosse Blöcke treten vor allem an der Stirne der Bergsturzmasse und dessen südlichem Rande auf.

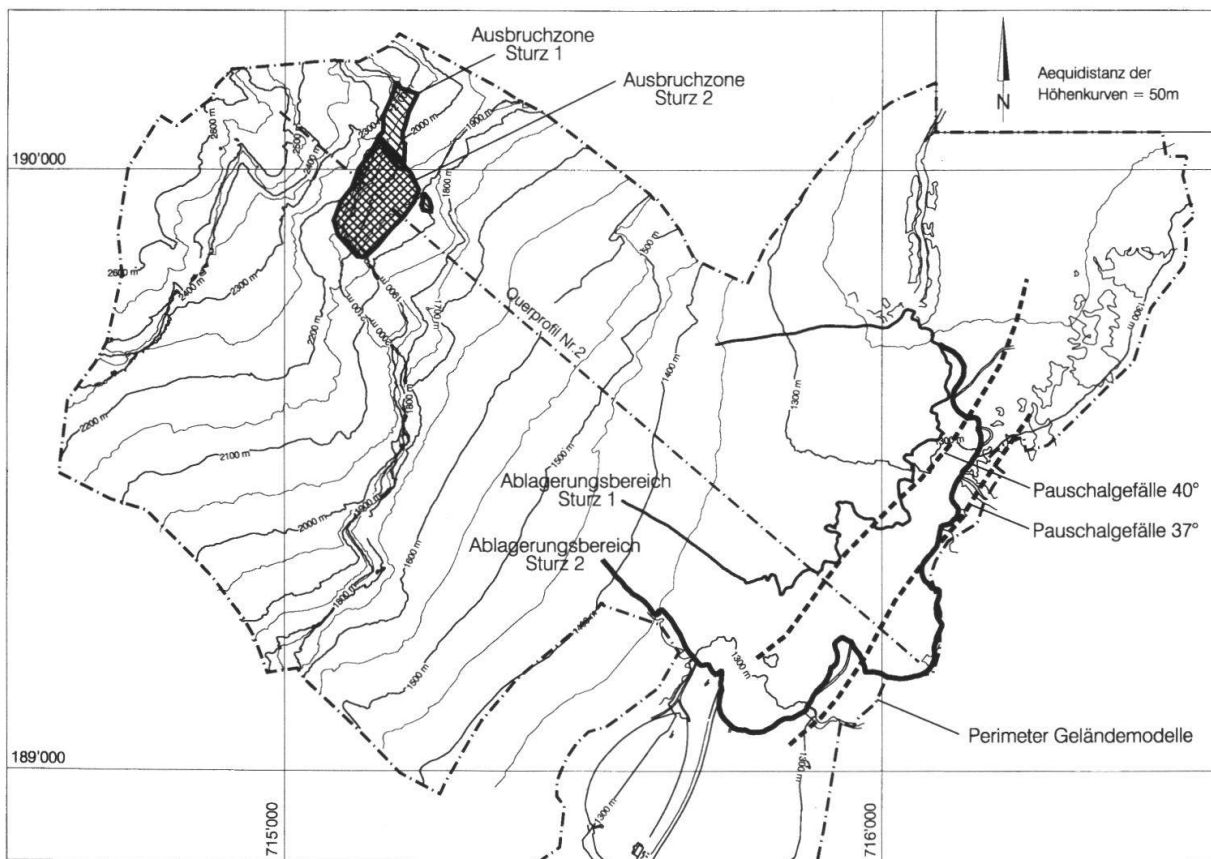


Fig. 4: Ausbrüche und Ablagerungen der Bergstürze 1 und 2.

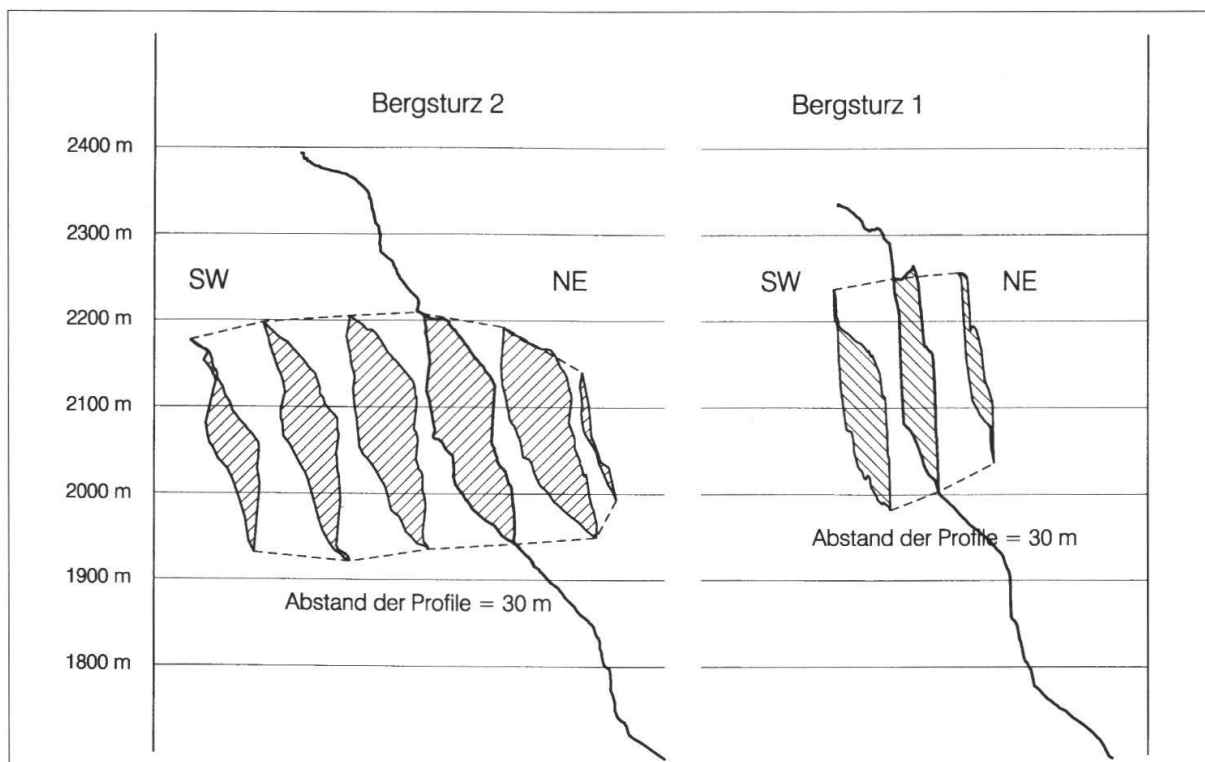


Fig. 5: Ausbruchkörper der Stürze 1 und 2.

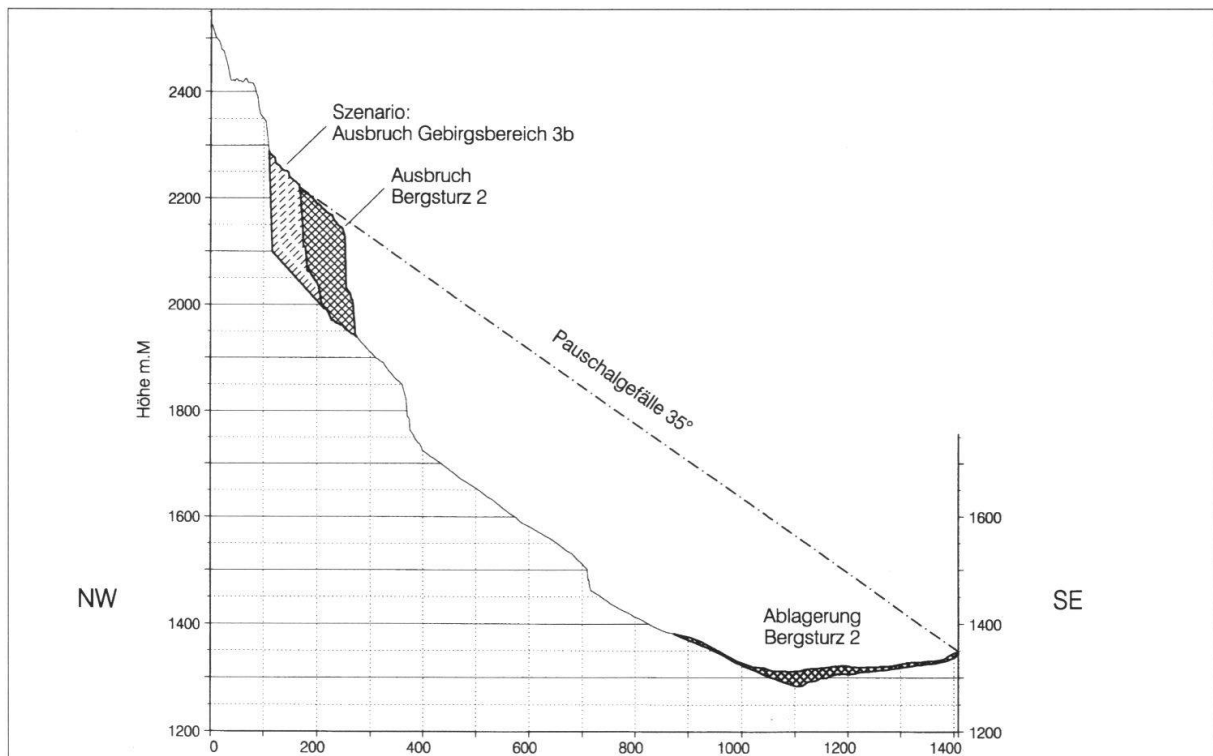


Fig. 6: Querprofil durch Ausbruch und Ablagerung von Bergsturz 2.

Die Ablagerung ist etwa 700 m breit und hat eine Kulmination von 1'317 m ü.M. Diese Überlaufhöhe liegt ca. 18 m über dem Becken der KLL und den Alphütten der Sandalp (Fig. 7).

6. Geologisches Modell, Mechanismen, Kausalität

Die Bergstürze sind vorwiegend geologisch bedingt, d.h. die Ausbrüche sind durch die markanten und ungünstig verlaufenden Kluftsyste­me vorgezeichnet. Der Abbruch der hohen und schmalen Felsscheiben erfolgte durch eine Kombination von Gleit- und Kippmechanismen.

Auslösendes Element war sehr wahrscheinlich ein sich auf der bergseitigen Kluft K_2 aufbauender hoher Wasserdruck (bis 250 m) infolge von einsickerndem Schmelzwasser. Der Abbruch dürfte sich über längere Zeit vorbereitet haben, indem das Gebirge durch frühere Wasserdrücke zunehmend geschwächt wurde. Mit Permafrost besteht nach Ansicht der Geologen kein unmittelbarer Zusammenhang.

7. Risikoüberlagerungen

7.1 Gefahrenpotentiale

Seeaufstau

Die jüngsten Bergstürze führten zu einem Unterbruch des Talabflusses bis auf Höhe 1'316.9 m. Die massgeblichen Rückstauszenarien sind in der nachfolgenden Tabelle dargestellt.

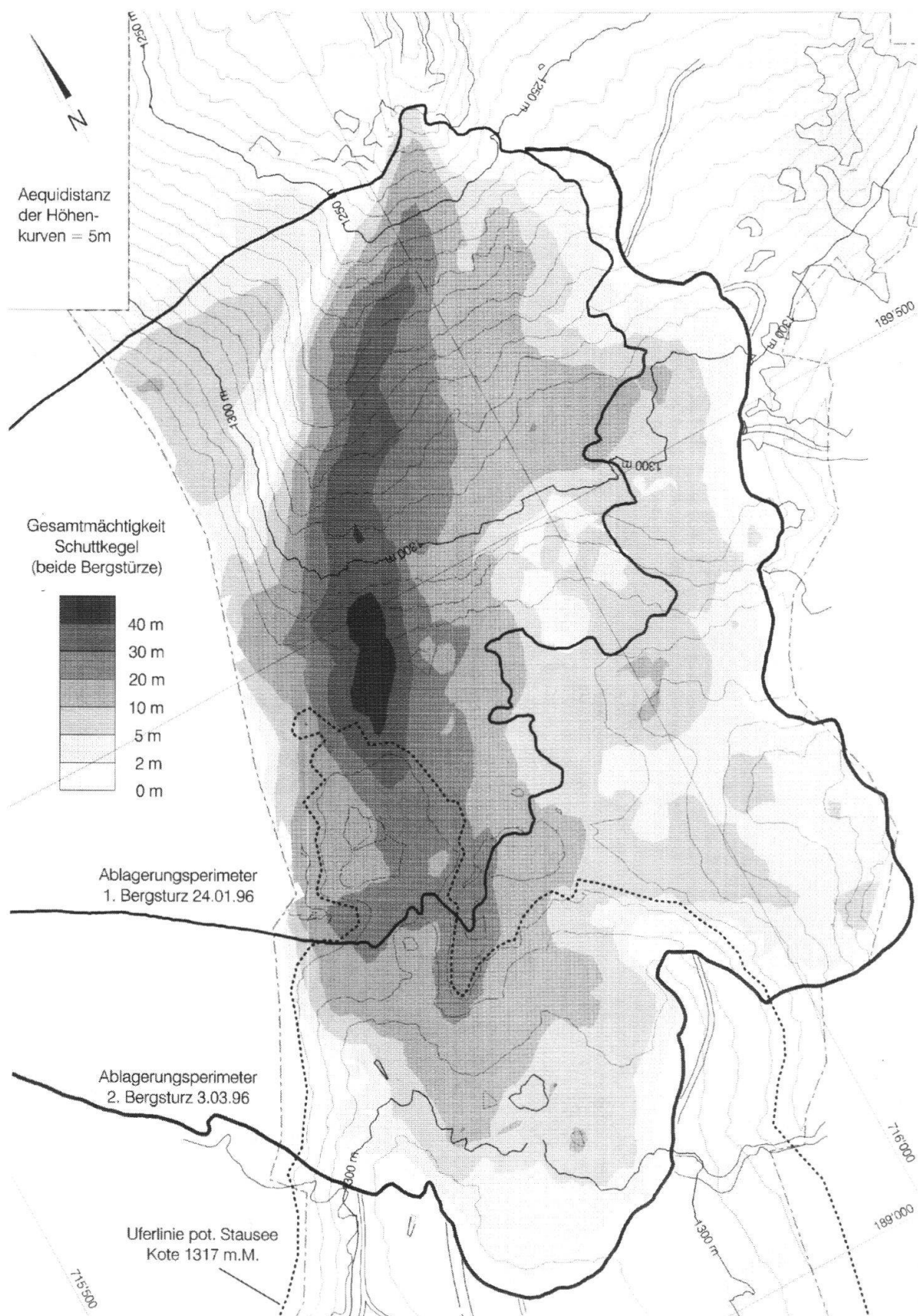


Fig. 7: Ablagerung der Bergstürze 1 und 2, Mächtigkeiten.

Tab. 3: Kritische Koten für den Seeaufstau

	<i>Seeaufstau gemäss VAW</i>		
	<i>Überlaufkote m.ü.M.</i>	<i>Volumen (Mio. m³)</i>	<i>Fläche (Tausend m²)</i>
Bergsturzablagerung	1316.9	5.5	350
Kote Überlauf Ausgleichsbecken KLL	1290.0	0.7	160
Überlaufkanal	1310	3.1	290

Die die Bergsturzablagerung durchsickernde Wassermenge ist unbedeutend. Bei Annahme einer Durchlässigkeit von 10^{-3} - 10^{-2} m/s ergeben sich bei einem möglichen Gefälle von 10 % Durchsickerungsmengen in der Grössenordnung von nur 0.05 - 0.5 m³/s. Diese Abschätzung wurde durch die Beobachtung bestätigt, dass bereits geringe Niederschläge zu einem Seeaufstau führen. Bei einem Starkregen von 101 mm im Juli 1996 (entsprechend einem ca. 5 - 10-jährigen Hochwasser) erreichte der See Kote 1'298 m ü.M. (Fig. 8) und überlief ins Ausgleichsbecken der KLL. Das 100-jährige Hochwasser bringt auf Höhe der Bergsturzablagerung eine Abflussspitze von ca. 60 m³/s.

Auch in niederschlagsfreien Zeiten bildet sich infolge der Bachzuflüsse ein See beschränkten Ausmasses.

Im Betrieb kann das Ablaufsystem der KLL 11 m³/s Wasser abführen. Unter diesen Bedingungen ist ein Seeaufstau bis Niveau 1'316.9 alle 100 Jahre denkbar. Bei



Fig. 8: Schuttkegel der Sandalpbergstürze von Westen. Seeaufstau infolge des Starkregens vom Juli 1996 (Photo Th. Rageth).

einem Ausfall des KLL-Ablaufstollens genügt dagegen ein 20-jähriges Hochwasser, um einen See auf das oben erwähnte Niveau aufzustauen.

Innere Erosion des Dammes

Wegen der guten Kornabstufung des Bergsturzmateri als und des geringen Gefälles der Sickerlinie in der Auffüllung ist innere Erosion sehr unwahrscheinlich.

Äussere Erosion auf der Luftseite des Dammes bei Überflutung

Diese Gefahr ist gross beim Überlaufen des Sees. Da die obersten ca. 5 m des Dammes nur schmal sind, könnte äussere Erosion zu einem katastrophalen Auslaufen der oberen Wasserschichten führen. Die Folge wäre eine Flutwelle von 700 m³/s mit verheerenden Auswirkungen im Tal.

Stein- und Blockschlag

Stein- und Blockschlag aus dem Ausbruchgebiet ist häufig. Deren Reichweite ist aber begrenzt und gefährdet den Zugang zur Sandalp nicht.

Weitere grosse Bergstürze

Durch ungünstige Trennflächenkonfiguration bedingt sind zwei weitere Abbruchszenarien denkbar:

3a: Felspartie südlich Bergsturz 2: ca. 0.9 Mio m³

3b: Felspartie bergseitig der Bergstürze 1 und 2: ca. 2 Mio m³

Die abstürzenden Massen könnten schlimmstenfalls in einen aufgestauten See einstossen (Geschwindigkeit ca. 30-50 m/s). Die dadurch erzeugte überschwappende Flutwelle hätte im Tal ähnlich verheerende Auswirkungen wie bei der luftseitigen Dammerosion.

7.2 Eintretenswahrscheinlichkeit

Aufgrund von Modellüberlegungen wurden folgende Eintretenswahrscheinlichkeiten abgeschätzt:

Tab. 4: Abschätzung der Eintretenswahrscheinlichkeiten von Ereignissen

<i>Szenarium</i>	<i>Eintretenswahrscheinlichkeit innerhalb eines Jahres</i>
Voller Seeaufstau (Niveau 1317)	laut VAW 1% (= alle 100 Jahre)
Bergstürze aus 3a und 3b	<<5% (innerhalb der nächsten 20-100 Jahre denkbar)
Steinschlag aus Ausbruchgebiet (Blöcke < 5 t)	sehr häufig (täglich)
grosser Blockschlag (> 5 t)	häufig (jährlich mehrmals)
Zusammentreffen Felssturz und See (Niveau 1317)	< 0.05% * (alle 2000-10'000 Jahre)

* Die rechnerische Eintretenswahrscheinlichkeit für dieses Szenarium ergibt sich aus der Kombination von Seeaufstau und Bergsturz. Da ein Bergsturz grundsätzlich in allen Jahreszeiten auftreten kann, ergibt sich die theoretische Eintretenswahrscheinlichkeit der Kombination durch Multiplikation der Eintretenswahrscheinlichkeiten der beiden Einzelszenarien.

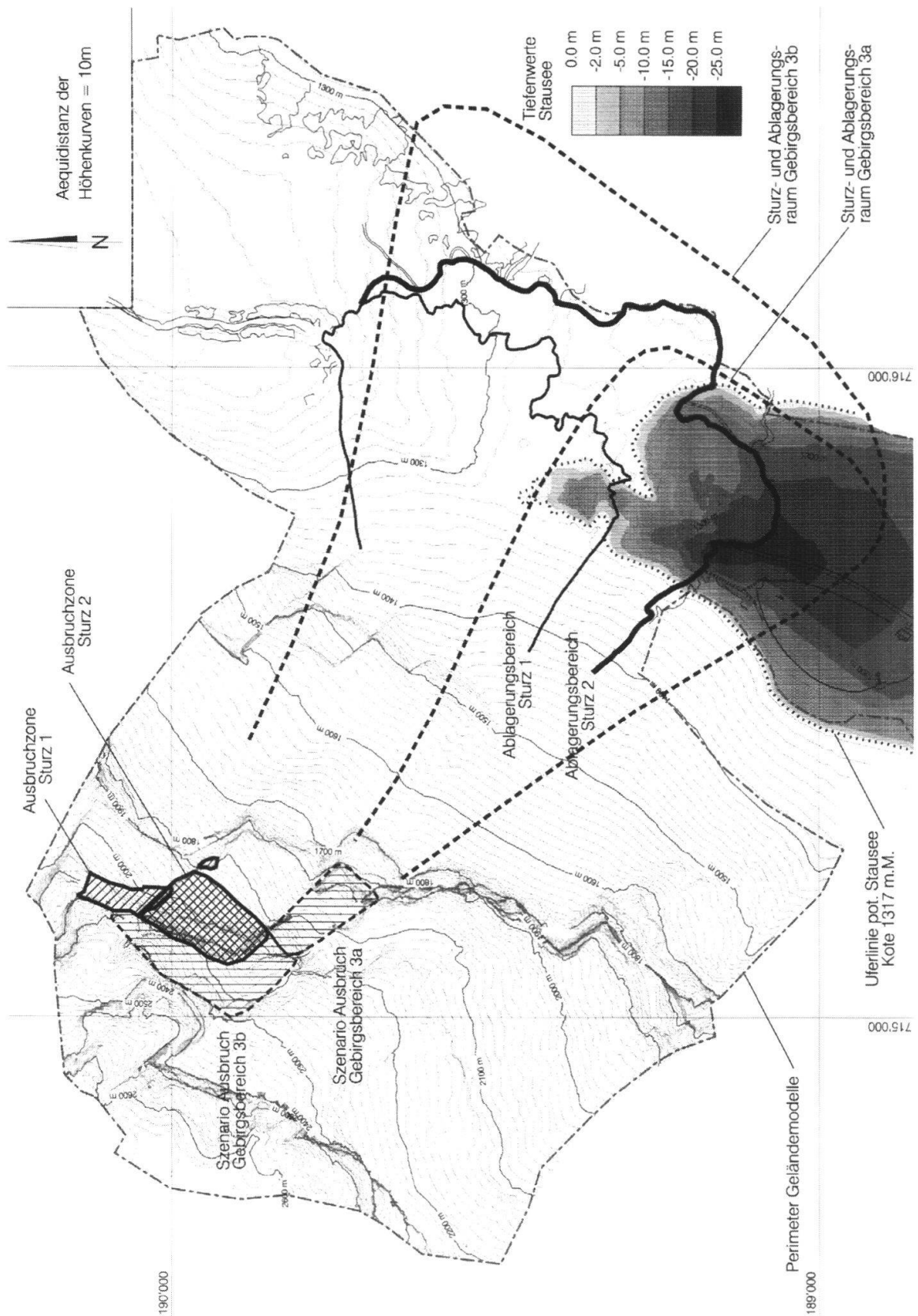


Fig. 9: Szenarium Seeaufstau und Wirkungsraum eines weiteren grossen Bergsturzes.

Tab. 5: Risikoabschätzungen

<i>Schaden</i>	<i>Eintretenswahrscheinlichkeit des Schadens</i>	<i>Risiko</i>
Beschädigung von Sachwerten infolge Seeaufstau	20 Jahre	beschränkt, da relativ geringe Sachschäden; Menschen und Tiere sind nicht direkt gefährdet
Gefährdung von einzelnen Menschen auf dem Zugang zur Sandalp durch Stein- und Blockschlag	nur innerhalb eines bestimmten Perimeters relevant. Zudem in den Bergen normale Gefahr	
Gefährdung von einzelnen Menschen auf dem Zugang zur Sandalp durch weitere grosse Bergstürze	Trefferwahrscheinlichkeit > 40-200 Jahre*	mittel
Seeaufstau Kote 1317 Flutwelle im Tal trifft viele Menschen und Sachwerte – durch luftseitige Erosion Dammkrone – durch Bergsturz in See	100 Jahre 2000 - 10'000 Jahre	sehr gross mittel

* Annahme ca. 10'000 Berggänger pro Jahr halten sich je ½ h im gefährdeten Gebiet auf

Die Abschätzung der Eintretenswahrscheinlichkeit von weiteren grossen Bergstürzen ist äusserst schwierig und nicht exakt bestimmbar. Trotzdem wird hier ein denkbarer Wert angegeben. Damit wird eine Risikoabschätzung ermöglicht, welche Voraussetzung für eine Diskussion von Risikoakzeptanz und Schutzziele ist.

7.3 Gefahrenmanagement

Das Gefahrenmanagement beinhaltet folgende Elemente:

- a) Bau eines Scheitelkanals Niveau 1310 zur Verhinderung einer Flutwelle infolge äusserer Erosion oder Überschwappen bei Bergsturz in See.
- b) Neue Wegführung des Zugangs zur Sandalp am Gegenhang
- c) Systematische Beobachtungen von
 - Seespiegelverhalten
 - Wasseraustritten talseitig des Dammes
 - Erosion Damm
 - Steinschlag aus Felssturzgebiet
- d) Jährliche Inspektion des Bergsturzgebietes durch Geologen

Die Einrichtung eines Frühwarndienstes mit Hilfe von Distanzmessungen wurde diskutiert, aber wegen des relativ geringen Risikos für Berggänger nicht realisiert.

Tab. 6: Auswirkungen verschiedener Massnahmen auf das bestehende Risiko
(realisierte Massnahme = schattiert)

Schaden	Risiko			
	Seeniveau 1317 m ü. M (heutiger Zustand)	Seeniveau 1310 m ü. M. (Scheitelkanal)	Seeniveau 1305 m ü. M. (Scheitelkanal)	Seeniveau < 1289 m.ü.M. (Entlastungs- stollen KLL)
Beschädigung von Sachwerten infolge Seeaufstau über Niveau 1299	beschränkt, relativ geringe Sachschäden (E = 20 Jahre)			sehr klein (E = unwahr- scheinlich)
Flutwelle im Tal infolge Erosion Luftseite Damm	sehr gross (E = 100 Jahre)	sehr klein (E = unwahrscheinlich)		
Flutwelle im Tal infolge Bergsturz in See	mittel (E = 2000 Jahre)			

Zu Forschungszwecken wurde im Auftrag der Landeshydrologie und- geologie in der Nähe der Ausbruchsstelle eine seismische Station errichtet. Es soll untersucht werden, ob mit der Mikroseismik Bewegungen von Felsmassen registriert und solche Aufzeichnungen als Frühwarnsystem eingesetzt werden können.

8. Wichtigste Aspekte des Fallbeispiels

Neben geologischen Feldaufnahmen war vor allem die detaillierte Photogrammetrie wichtigste Grundlage zur Erarbeitung des geologischen Modells. Dieses bildet seinerseits die Basis für die Überlegungen betreffend

- Kausalität
- Risiken weiterer Ereignisse
- Massnahmen.

Kennzeichnend war die enge Zusammenarbeit verschiedener Spezialisten (Vermesser, Hydrologe, Wasserbauer, Geologe).

Von der Seite der Geologen wurde versucht, eine möglichst transparente und nachvollziehbare Risikobewertung vorzunehmen. Sie ist die Grundlage für die Entscheide der Behörden.