

Exkursionsführer Sisikon – Goldau, EX5
Excursion Guide Sisikon – Goldau, EX5



INTERPRAEVENT

2016 – Lucerne, Switzerland

INTERPRAEVENT 2016

**GEFÄHRDETE SIEDLUNGEN UND
INFRASTRUKTUREN**
*RESIDENTIAL AREAS AND INFRASTRUCTURE
AT RISK*

Mittwoch, 1. Juni 2016
Wednesday, 1 June 2016



**Leben
mit
Naturrisiken**



**Living
with natural
risks**



Exkursionsprogramm

Excursion program

ÜBERSICHT

Der Kanton Schwyz leitet über vom Mittelland zu den Alpen. Seine Nähe zum Metropolitanraum Zürich und seine Lage an einer der wichtigsten alpenquerenden Transitachsen machen ihn reich an Schadenpotenzialen, die geologischen und topografischen Gegebenheiten anfällig für Naturgefahrenprozesse. Mit dem Bergsturz von Goldau im Jahre 1806 steht die Gegend auch für die letzte ganz grosse Naturkatastrophe in der Schweiz (457 Todesopfer). Integrales Risikomanagement ist die Grundlage für den Umgang mit Naturgefahren im Kanton Schwyz. Dabei steht die Prävention im Vordergrund. Der Schutz vor Naturgefahren stellt in dicht besiedeltem und erschlossenem Gebiet eine Herausforderung dar. Auf der einen Seite stehen die begrenzten finanziellen Mittel, auf der anderen Seite die technische Machbarkeit, den Schutz überhaupt gewährleisten zu können. Diese Exkursion vermittelt eine Einsicht in die aktuelle Risikolandschaft im Kanton Schwyz.

OVERVIEW

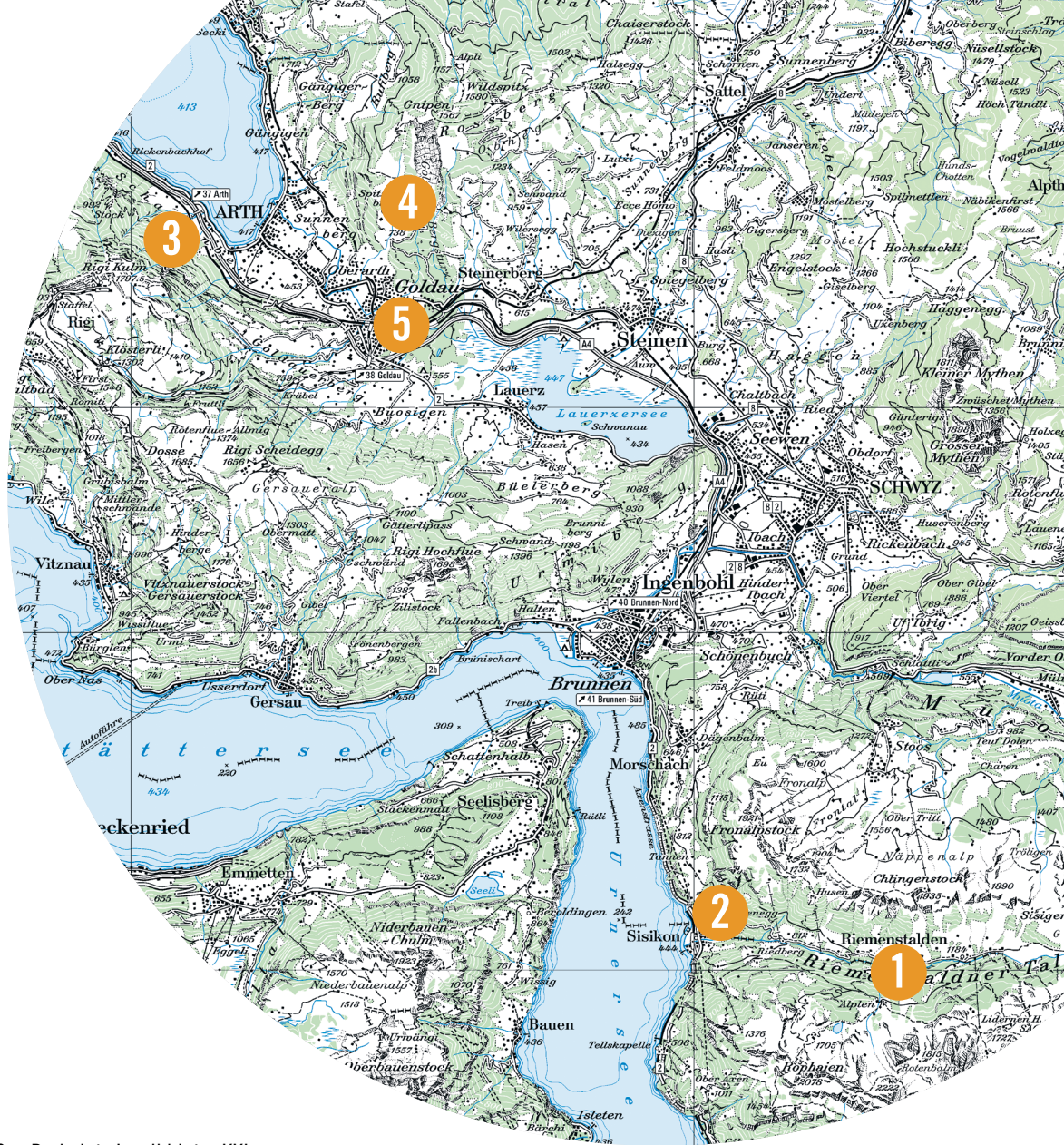
The Canton Schwyz is located in central Switzerland and stretches from the central plateau to the Alps. Damage potential is high in this canton given the vicinity to Zurich and its location along one of the most important trans-Alp routes, in combination with geological and topographical characteristics that make this area susceptible to natural hazards. The most famous event was the Goldau rock avalanche in 1806, the last large natural catastrophe in Switzerland (457 victims). Integrated risk management is the guiding principle for natural hazard mitigation in Canton Schwyz and prevention plays a primary role. Protection against natural hazards is a challenge given the high population density and topographical situation, not to mention limited financial means and technical feasibility of solutions. This excursion brings you face-to-face with the unique landscape of risk factors in Canton Schwyz.

Inhalt

4	Lawinenschutzdamm Riemenstalden Dörfli
6	Murgangschutz Dornirunse
10	Gefahren und Risiken an der Rigi Nordlehne
14	Bergsturz von Goldau
16	Literatur

Content

4	Avalanche protection dam, Riemenstalden Dörfli
6	Debris flow hazard in the Dornirunse ravine
10	Hazards and risks at the Rigi north flank
14	Goldau rock avalanche
16	References



Zeitplan

- 07.45 Besammlung Car-Parkplatz Inseli hinter KKL, Abfahrt mit Bus
- 08.45 Einführung in die Exkursion in Sisikon
- 09.30 ① Lawinschutzdamm Riemenstalden und Kaffeepause
- 11.00 ② Murgangschutz Dornirunse
- 12:15 Mittagessen im Restaurant in Sisikon
- 14.15 ③ Arth: Gefahren und Risiken, Wald und Wild an der Rigi-Nordlehn
- 15.45 ④ Bergsturz von Goldau (2. September 1806)
- 16.15 ⑤ Ausklang im Tierpark Goldau
- 17.15 Abfahrt Goldau
- 18.00 Ankunft Luzern

Schedule

- 07.45 Meeting at Car-Parking Inseli behind KKL, departure by Bus
- 08.45 Introduction in Sisikon
- 09.30 ① Avalanche protection dam (Riemenstalden), coffee break
- 11.00 ② Debris flow protection (Dornirunse)
- 12:15 Lunch in Sisikon
- 14.15 ③ Arth: Hazards and risks, forest and game (Rigi Nordlehn)
- 15.45 ④ Goldau rock avalanche on 2 September 1806
- 16.15 ⑤ Closing comments at the Goldau zoo
- 17.15 Depart Goldau
- 18.00 Arrive Lucerne



Lawinenschutzdamm Riemenstalden Dörfli *Avalanche protection dam, Riemenstalden Dörfli*



Ein 260 m langer und 5.5 m hoher Schutzdamm schützt das Dorf Riemenstalden vor Lawinen, Sturzprozessen und Murgängen (Foto: AMFZ SZ). A 260-m long and 5.5-m high protection dam was built to protect Riemenstalden from avalanches, rockfall and debris flows (Photo: AMFZ SZ).

Das Bergdorf Riemenstalden auf 1000 m ü. M. wurde in der Vergangenheit mehrmals von Schadenlawinen getroffen. Das zerstörerische Ereignis im Februar 1952 bildete den Anlass zum Bau von Lawinerverbauungen im Gebiet Grosswand zwischen 1700 und 1880 m ü. M. Die über mehrere Jahre entstandenen Verbauungen bestehen aus total etwa 1900 m Stützwerten (meist Stahlschneebrücken), Verwehungs-zäunen und Düsendächern. In dieser Hanglage ist beim 300-jährlichen Ereignis mit Schneehöhen von 4.35 m (ohne Windverfrachtungen) zu rechnen. Später folgten weitere Verbauungen in tiefer gelegenen Hanglagen. Ab den 1990er Jahren wurde zudem viel in den Schutzwald (Tannen-Buchenwald) investiert. Dank diesen Schutzmassnahmen konnte die Gefährdung des Dorfes deutlich reduziert werden.

Wegen Oberlawinen befindet sich Riemenstalden gleichwohl im roten und blauen Gefahrenbereich. Neben Fliess- und Staublawinen als Hauptgefahren können auch Sturzprozesse und Murgänge auf das Bergdorf einwirken. Die jährlichen individuellen

Avalanches have affected the mountain village Riemenstalden (elevation 1000 m) throughout its history. The tragic event in February 1952 was the incentive to construct defense structures on the Grosswand (1700 m to 1880 m). The permanent structures were installed over several years and now constitute 1900 running metres of supporting structures (primarily steel snow bridges), snowdrift fences and wind (jet) roofs. The 300-year snow cover is equivalent to a snow depth of 4.35 m without snow drift. Additional constructions were gradually built also at lower elevations. Since the 1990s more effort has been invested in protection forest (fir, beech). The level of risk for the village has been greatly reduced since introduction of these permanent measures. Nevertheless, the village is located within the red and blue hazard zones because of the risk of avalanches when the snow depth is higher than the defense structures. The primary risk is wet and powder snow avalanches, though rockfalls and debris flows are also possible. The annual individual risk of mortality for certain houses exceeds the limit of 1×10^{-5} . The only



Schutzdamm Riemenstalden während des Baus: Gestaltung der bergseitigen Böschung als TerraMur-Konstruktion (Foto: AWN SZ). *The protection dam in Riemenstalden during the construction phase: the uphill side of the dam is a special TerraMur construction (Photo: AWN SZ).*

Todesfallrisiken liegen bei einzelnen Wohnhäusern über dem Grenzwert von 1×10^{-5} . Im Weiteren gefährdet ist die einzige Zufahrt zum hinteren, permanent besiedelten Teil des Tals. Wegen der ausgewiesenen Schutzdefizite ist die zukünftige Entwicklung des Dorfs Riemenstalden eingeschränkt.

Zum Schutz des Dorfs vor den genannten Gefahren wurde ein 260 m langer und 5.5 m hoher Schutzdamm erstellt. Speziell ist die Gestaltung der bergseitigen Böschung (Neigung 5:1) als TerraMur-Konstruktion. Dadurch konnte die teure Anlieferung von Blöcken vermieden werden. Die talseitige Böschung und jene bergwärts des Auffangraums variieren zwischen 1:2 und 1:3, wodurch sie gut bewirtschaftet werden können.

Der Schutzdamm ist so dimensioniert, dass er Oberlawinen (jährliche Eintretenswahrscheinlichkeit = 0.01 – 0.0033) sowie Blockschlag und Murgänge stoppen kann. Er bildet eine Ergänzung zu den bestehenden Lawinverbauungen, deren regelmässige Kontrollen und Unterhalt auch in Zukunft sichergestellt sind.

Der Damm wird ergänzt durch ein 35 m langes und 5 m hohes Lawinenauffangnetz mit einem Rückhaltevolumen von 1000 m³. Dieses schützt das Dorf vor Schneerutschen und Kleinlawinen der östlich an den Schutzdamm angrenzenden Geländemulde.

Flankierend zu den baulichen Massnahmen besteht ein Notfallkonzept für extreme Lawinverhältnisse, insbesondere bei Schneeverfrachtungen und Wildschnee. Dank dem Schutzdamm kann in der Gefahrenkarte eine Rückstufung der Gefahrenstufen erfolgen. Die Kriterien von PLANAT-Protect sind erfüllt. Talseits des Damms verbleibt eine gelbe Gefahrenstufe, verursacht durch Staublawinen. Dieser Gefährdung kann gut mittels Objektschutzmassnahmen begegnet werden.

Die Kosten für die genannten Schutzmassnahmen belaufen sich auf 1.4 Mio. Franken. Das Nutzen-Kosten-Verhältnis liegt bei etwa 1.1.



Lawinverbauungen im Gebiet Grosswand, oberhalb Riemenstalden Dörfli (Foto: AMFZ SZ). *Avalanche defense structures on the Grosswand above the village Riemenstalden (Photo: AMFZ SZ).*

road connecting this remote but permanently settled village to the main valley is also at risk. This safety deficit unfortunately hinders any future growth in Riemenstalden.

A protection dam was built as a protection measure for the village (260 m long and 5.5 m high). The uphill side of the dam (slope 5:1) is a special TerraMur construction designed to eliminate the need and expense of transporting blocks to the site. The downhill side of the dam as well as the uphill portion of the retention area have a slope between 1:2 and 1:3, which makes cultivation feasible. The dam was dimensioned to account for avalanches that flow over defense structures (annual recurrence probability 0.01–0.0033) as well as rockfall and debris flows. The dam was designed to be an adjunct to the already existing defense structures on the Grosswand. These require regular monitoring and maintenance to guarantee future functionality.

An avalanche protection barrier was added to protect from gliding snow and small avalanches that occur on the slope to the eastern side of the dam. The net is 35 m long, 5 m high and has a retention volume of 1000 m³. An emergency plan was developed for extreme avalanche conditions, especially regarding situations with heavy snow drift or very light new snow.

The level of hazard in the village after completion of the dam is lower than before. The criteria outlined in PLANAT-Protect are fulfilled. The area downhill of the dam is still classified as a yellow hazard zone because of powder avalanches. However, this can be managed with targeted building protection.

The total cost of these protection measures amounts to 1.4 million Swiss Francs. The benefit-cost ratio is approximately 1.1.

Murgangschutz Dornirunse *Debris flow hazard in the Dornirunse ravine*

Die Dornirunse ist eine sporadisch wasserführende Rinne in steilem, felsigem Einzugsgebiet. Sie reagiert vor allem auf Gewitterniederschläge. Im Sommer 2009 kam es wiederholt zu Murgängen, teils bis hinunter zur Axenstrasse (Nationalstrasse). Auslöser war ein Felssturz im November 2008, welcher mehrere 1000 m³ Schutt in das steile Runsensystem lieferte. Durch Gewitterniederschläge im folgenden Sommer wurde das Material mobilisiert und talwärts verfrachtet. Insgesamt wurden gegen 16 000 m³ Material umgelagert, davon auch ein Teil aus dem Jungschutt am Fuss der Felswände. Dabei wurden der bestehende Geschiebesammler und ein Wohnhaus zerstört sowie darunter liegendes Wald- und Landwirtschaftsgebiet übermurt. Die Strasse nach Riemenstalden wurde an drei Stellen verschüttet. Ähnliche Ereignisse gab es bereits in den 1950er Jahren. Dabei drangen Murgänge bis zur Axenstrasse vor, die Bahnlinie wurde überschwemmt. Nach diesen Ereignissen setzte der sukzessive Verbau der Dornirunse ein. Die dabei erstellte Trapezschaale vermag das Wasser zwar schadlos abzuleiten, nicht jedoch das Geschiebe. Die Charakteristik der Dornirunse besteht darin, dass die Runsen im Einzugsgebiet stetig durch Sturzprozesse mit Schutt gefüllt werden, welcher episodisch bei intensiven Gewitterregen ausgeräumt und in Form von Murgängen talwärts verfrachtet wird. Die zu erwartenden Geschiebefrachten sind nur schwierig zu erfassen. Zudem ist ein partieller Kollaps der Trapezschaale nicht ausgeschlossen, was die Szenarienbildung erheblich erschwert.

In der Folge dieser Ereignisse wurden im Rahmen eines partizipativen Prozesses verschiedene Massnahmen zum Schutz der Untertler (Liegenschaften und Infrastrukturen, darunter Nationalstrasse und SBB-Gotthardlinie) evaluiert. Im Spätherbst 2015 wurde mit der Realisierung der Bestvariante begonnen, bestehend aus einem Geschiebesammler mit einem Fassungsvermögen von 4000 m³ als Kernstück. Damit wird mindestens das 30-jährliche Ereignis beherrscht. Der Einlauf in den Sammler erfolgt über ein Raubettgerinne mit integrierter Tirolerfassung. Durch die Tirolerfassung kann Wasser und Geschiebe

The Dornirunse is a ravine located in a steep and rocky catchment area with sporadic water discharge. The ravine is active especially during thunderstorms. In the summer of 2009 there were repeated debris flows, some of which reached the Axenstrasse (national road). The source of the debris was a rockslide in November 2008 that deposited several thousand cubic metres of material in the ravine. Precipitation from thunderstorms in the following summer mobilised this debris as well as loose scree, and a total of ca. 16 000 m³ was transported down the ravine. An existing debris retention basin and a house were destroyed, and sections of forest and agricultural land were covered in deposits. The debris flow affected the connecting road to Riemenstalden in three places.

There were similar events in the 1950s in which the Axenstrasse and railroad were affected. It was just after this time that permanent protection measures were introduced in the Dornirunse. The channel profile is trapezoidal-shaped, which is effective for transporting water but not sediment. It is characteristic for the Dornirunse that the upper catchment is continuously filled with material from weathering and rockfall, and this material is episodically mobilised in the form of debris flows during heavy precipitation events. It is challenging to assess the potential debris discharge load, and a partial collapse of the channel profile has to be taken into account. Both of these make it difficult to develop accurate risk scenarios.

Different protection solutions were evaluated in a participative process, considering the risk for the affected properties and infrastructure (including the national road and the important Gotthard railway line of the Swiss Federal Railways). Construction began in late autumn of 2015. The main component is a debris retention basin with a retaining volume of 4000 m³. This volume accounts for the retention of at least the 30-year event. The channel bed upstream of the retention basin is layered with riprap and boulders to increase surface roughness. A Tyrolean weir



Murgangablagerungen im Gebiet Dorni nach intensivem Gewitterregen im Juni 2009 (Foto: AWN SZ).
Debris flow depositions in the area Dorni following severe thunderstorms in June 2009 (Photo: AWN SZ).

voneinander getrennt werden, was die Bewirtschaftung des Sammlers erleichtert. Ab dem 100- bis 300-jährlichen Ereignis wird die Rückhaltekapazität des Sammlers überschritten (Mauerlänge rund 70 m, maximal 11 m hoch). Über eine 10 m breite und 2 m tiefe Abflusssektion wird der Sammler überströmt. Durch Dämme von total 270 m Länge und 2 m Höhe wird das Material in den Geschiebesammler am benachbarten Dornibach (Fassungsvolumen 10 000 m³) geleitet. Die Riemenstaldnerstrasse quert an drei Stellen die Ablenk-dämme bzw. den Abflusskorridor. Um zu verhindern, dass Geschiebe den Abflusskorridor von 7.5 m Breite verlässt, werden die Lücken im Ereignisfall mittels Murgangtoren geschlossen. Die Dämme werden

in the channel, a grate to separate water from debris, allows easier maintenance of the debris retention basin.

Events larger than the 100- to 300-year event would exceed the capacity of the debris retention basin (wall 70 m long, max. 11 m high). The retention basin can be overtopped in a controlled manner through the spillway section (10 m wide, 2 m deep). Overflow material gets deflected by deflection dams (2 m high, 270 m length in total) into the retention basin in the neighbouring Dornibach (retention capacity 10 000 m³). The road to Riemenstalden crosses the deflection dams three times. To prevent overflow of debris and water out of the 7.5-m wide



Murgangablagerungen im Gebiet Dorni nach intensivem Gewitterregen im August 2009. Im Hintergrund das Dorf Sisikon (UR) und die Gotthard-Bahnlinie als bedeutendste europäische Transitachse durch die Alpen (Foto: AWN SZ).
Debris flow depositions in the area Dorni following severe thunderstorms in August 2009. The village Sisikon (UR) and the Gotthard railway line, Europe's most important trans-Alp route, can be seen in the background (Photo: AWN SZ).

direkt aus vor Ort ausgehobenem Material (kiesigsteiniger Bach- und Murgangschutt) geschüttet. Der Geschiebesammler wirkt auch gegen Lawinen und Sturzprozesse, welche in der Dornirunse auftreten (vollständiger Schutz bei Sturzprozessen bis zum 100-jährlichen, bei Lawinen bis zum 30-jährlichen Ereignis). Der Sammler befindet sich in relativ steilem Gelände und stellt besondere Anforderungen an die Fundation. Zur Sicherstellung der Gesamtstabilität im Lastfall werden die Mauerfundamente über sieben Pfahlscheiben aus überschnittenen Ortsbetonbohrpfählen (Ø 1100 mm, Länge 12-15 m) im Mergelfels fundiert und zusätzlich mit bis zu 25 m langen vorgespannten Ankern gesichert. Dank dieser Massnahmen wird der Schutz der darunter liegenden Häuser, der Nationalstrasse und

channel along the road, the road openings can be closed by debris flow gates. Material found on site (gravel and stony material) was used to construct the dams.

The debris retention basin is also effective for avalanches (up to a 30-year event) and rockfall (up to a 100-year event) common in the Dornirunse.

The foundation of the structure is challenging because of its location in steep terrain. To guarantee stability in the load case, the whole structure will be secured in the rock (which is largely marl) using drilled piles (Ø 1100 mm, length 12–15 m) and anchored with up to 25-m long pre-stressed anchors.



Die Murgänge im Juni 2009 verschütteten die einzige Zufahrt zum Bergdorf Riemenstalden an mehreren Stellen (Foto: Awn SZ).
The debris flows in June 2009 affected the only connecting road to Riemenstalden in three places (Photo: Awn SZ).

der SBB-Gotthardlinie deutlich verbessert. Die heute vorhandenen Schutzdefizite können auf ein akzeptierbares Mass gesenkt werden. Die Massnahmenkosten belaufen sich auf gegen 7 Mio. Franken. Darin eingerechnet sind 0.8 Mio. Franken für die vorgängige Verstärkung der Riemenstaldnerstrasse. Das Nutzen-Kosten-Verhältnis beträgt ca. 1.7, wobei die monetarisierte Verfügbarkeit der Verkehrsinfrastrukturen nicht eingerechnet ist.

The risk for the houses, national road and railroad is less and the safety deficit is considered acceptable. The total cost of the constructions amounts to 7 million Swiss Francs, which includes 0.8 million Francs for reinforcement of the road to Riemenstalden. The benefit-cost ratio is ca. 1.7 (excluding the quantified benefit of enhanced availability on transit routes).



Gefahren und Risiken an der Rigi Nordlehne *Hazards and risks at the Rigi Nordlehne*

Entlang des Ostufers des oberen Zugersees erstreckt sich die Rigi Nordlehne mit sehr schroffen und steilen Flanken. Die Rigi selbst bildet als markanter Gipfel den höchsten Punkt. Tektonisch gehört sie zur Subalpinen Molasse. Die sogenannte Rigi-Rossberg-Schuppe besteht vorwiegend aus einer Abfolge von mächtigen, schräggestellten Konglomeratbänken mit zwischengelagerten Sandsteinen und Mergeln. Die quartäre Bedeckung setzt sich aus Moränenmaterial und Bachschuttablagerungen zusammen. Die geologischen Voraussetzungen, die hohe Reliefenergie sowie die instabilen Böden sind massgebende Ursachen für die Naturgefahrenprozesse an der Rigi Nordlehne. Dabei handelt es sich um Rutschungen, Murgänge, Lawinen und Sturzprozesse bis hin zu Felsstürzen. Am Hangfuss davon betroffen sind Verkehrswege, insbesondere die Gotthardlinie der SBB als bedeutendste europäische Transitachse durch die Alpen und die Nationalstrasse A4, Siedlungen sowie Starkstromleitungen.

Im Ereigniskataster sind zahlreiche Ereignisse verzeichnet, welche u. a. die Verkehrsträger betroffen haben: In den Jahren 1898, 1904, 1905, 1906, 1910, 1933, 1934, 1939, 1954, 1958, 1987, 1992, 2005, 2006 und 2007 ereigneten sich Murgänge, (Gerinne-) Rutschungen und Sturzprozesse, die zum Teil zu Unterbrüchen bei der Bahnlinie und/oder der Nationalstrasse führten oder grosse Schäden an den Infrastrukturanlagen zur Folge hatten.

Die SBB haben die Wichtigkeit der Schutzwälder, v. a. als Flächenschutz gegen Naturgefahrenprozesse, an der Rigi Nordlehne schon früh erkannt. Vor über 100 Jahren erwarben die SBB daher den Grossteil der Wälder an der Rigi Nordlehne von der Unterallmeind-Korporation Arth. Fortan pflegten sie diese 450 ha Wald mit dem Hauptziel, dass dieser die Gotthardlinie der SBB möglichst optimal und nachhaltig schützt. Der Schutzwald an der Rigi Nordlehne reicht von 460 m ü.M. bis zur oberen Waldgrenze bei 1720 m ü.M.

Seit Jahren mangelt es an der Rigi Nordlehne in den Tannen-Buchenwäldern an jungen Weisstannen. Hauptursache für das Ausbleiben der Tannenverjüngung ist das Wild. Die Tannen-Buchenwälder machen

The Rigi Nordlehne (north flank) with its rugged and steep flanks stretches along the eastern shore of upper Lake Zug. The highest point is the marked Rigi peak. Tectonically, it belongs to the Subalpine Molasse. The so-called Rigi-Rossberg-Schuppe is composed primarily of large, oblique layers of conglomerates with intercalations of marls and fine sandstones. The quaternary coverage is composed of moraine and alluvial debris deposits.

Natural hazard processes are common on the Rigi Nordlehne because of the geological characteristics, steep slopes and unstable soils. This includes slides, debris flows, avalanches and block/rock fall. Settlements as well as important infrastructure are situated at the foot of the flank, including the Gotthard railway line of the Swiss Federal Railways—Europe's most important trans-Alp route—the national road A4 and trans-Alp power lines.

Event cadastres list numerous events that have affected these transit routes, e.g. in 1898, 1904, 1905, 1906, 1910, 1933, 1934, 1939, 1954, 1958, 1987, 1992, 2005, 2006 and 2007 due to debris flows, (channel) slides and block and rock fall. In some cases, these events caused disruptions on the railway line and/or on the national road or major damage to associated infrastructure.

The Swiss Federal Railways recognized the importance of protection forests on the Rigi Nordlehne early, especially as large-area protection against natural hazards. Over 100 years ago, they purchased a large percentage of the existing forest from the Unterallmeind Corporation Arth and have managed the 450 hectares of forest since then. The aim was to achieve optimal and sustainable protection for the Gotthard railway line. The protection forest spans an elevation from 460 m to 1720 m (maximum treeline). An ongoing problem in the mixed fir-beech forest on the Rigi Nordlehne is the low percentage of young silver fir. The fir-beech forest comprises ca. 40% of all forest types located at this site. The main reason for the poor regeneration of silver fir is game, especially chamois and European roe deer but also previously a growing population of red deer. The resulting decrease in tree species is highly problematic for the



Am Hangfuss der Rigi-Nordlehne verlaufen wichtige Infrastrukturen, darunter die SBB-Gotthardlinie als bedeutendste europäische Transitachse durch die Alpen, die Nationalstrasse A4 sowie alpenquerende Starkstromleitungen (Foto: AWN SZ).

Important infrastructure crosses below the Rigi Nordlehne (north flank), including the Gotthard railway line of the Swiss Federal Railways (Europe's most important trans-Alp route), the national road A4 and trans-Alp power lines (Photo: AWN SZ).

rund 40 % der Waldfläche an der Rigi Nordlehne aus. Vorab Gämsen, Rehe und in jüngerer Zeit in vermehrtem Ausmass auch der Hirsch verunmöglichen den Aufwuchs der Weisstanne. Dies führt mittelfristig zu einer „Entmischung“ der Wälder, was sowohl in schutztechnischer als auch in ökologischer Hinsicht gravierende Folgen hätte. Für einen langfristig stabilen Wald mit guter Schutzfunktion sind in den Tannen-Buchenwäldern der Rigi Nordlehne Waldbestände mit Weisstannen unabdingbar. Es sind nämlich vor allem die Weisstannen, welche die schweren, tiefgründigen Böden an der steilen Bergflanke mit ihrem Herz-Pfahl-Wurzelsystem stabilisieren. Die Kantone Schwyz und Luzern arbeiten derzeit daran, die Wald-Wild-Problematik an der Rigi zu lösen.

Sollte der Wald in Zukunft die geforderte Schutzwirkung nicht mehr erfüllen können, so müssten die SBB nach eigenen Berechnungen zusätzliche 40 Mio. Franken in technische Verbauungsmassnahmen investieren. Zudem würden solche technische

protective function and ecological status of a forest. Silver fir is essential in this region to achieve a protective function, as these trees more than other species have a mixed root structure with both strong vertical and branching roots that can stabilize the types of soils found here. The forest-to-game problem is an ongoing challenge for the Cantons Schwyz and Lucerne.

The Swiss Federal Railways estimate that they would have to invest an additional 40 million Swiss francs in technical defense structures if the forest could no longer fulfil its intended protective function. Technical measures have a second disadvantage in that they take away from the overall landscape.

Nevertheless, technical constructions have been used since the beginning of the last century as an adjunct to protection forests. Hydrological engineering measures include retention basins, check dams or dams as well as technical constructions for block and rock fall (e.g. protection nets, rock anchoring, dams). In more recent years, the Swiss Federal Railways

Massnahmen auch das Landschaftsbild stark beeinträchtigen.

Seit Anfang des letzten Jahrhunderts wurden zusätzlich zum Schutzwald bauliche Einzelschutzmassnahmen gegen die relevanten Naturgefahrenprozesse realisiert. Wasserbauliche Massnahmen wie Geschiebesammler, Sperrentreppen oder Dämme sowie Verbauungsmassnahmen gegen Sturzgefahren (z. B. Schutznetze, Vernagelungen, Dämme) wurden erstellt.

In der jüngsten Vergangenheit haben die SBB im Rahmen der «Risikoübersicht Naturgefahren SBB» eine systematische und detaillierte Gefahren- und Risikobeurteilung von bestimmten Streckenabschnitten vorgenommen. Für den Streckenabschnitt zwischen Immensee und Arth-Goldau wurde eine solche Beurteilung 2015 fertig gestellt. Dies auch vor dem Hintergrund, dass die Strecke ab 2016 eine wichtige Zufahrtslinie für den Gotthard-Basistunnel ist und deshalb eine hohe Verfügbarkeit gefordert wird.

In einem ersten Schritt wurde eine detaillierte Gefahrenbeurteilung vorgenommen. Diese zeigt, dass die SBB-Linie aktuell nicht durch Rutschprozesse gefährdet ist. Dank den bisher errichteten Schutzmassnahmen ist die Bahnlinie bei häufigen Ereignissen auch kaum mehr von Wasserprozessen beeinträchtigt. Ab mittleren Ereignissen (Wiederkehrperiode von rund 100 Jahren) bedrohen jedoch Murgänge und dynamische Überschwemmung die SBB-Linie an der Rigi-Nordlehne, wobei bis zu starke Intensitäten erreicht werden. Bereits bei sehr häufigen Ereignissen (Wiederkehrperiode von rund 10 Jahren) ist die SBB-Linie durch Sturzereignisse gefährdet.

Die Sturzprozesse erreichen jedoch nur schwache Intensitäten. Ab mittleren Ereignissen wird von den für die Bahnlinie relevanten Sturzprozessen auch starke Intensität erreicht.

Im Sinn des integralen Risikomanagements wurde anschliessend an die Gefahrenbeurteilung eine Analyse des Schutzdefizits und des Risikos vorgenommen.

have done systematic and detailed hazard and risk assessments along targeted sections under an initiative called “Risk overview for natural hazards SBB”. The analysis was completed in 2015 for the section between Immensee and Arth-Goldau. Accessibility is imperative on this section because it will be a main access route for the Gotthard Base Tunnel as of 2016. The first step was a detailed hazard assessment. The results indicated that sliding processes do not pose a risk for the railway line. Because of the protection measures that have already been put into place, frequently-occurring, water-related processes also do not pose a risk for the railway. However, less frequent, mid-sized events (recurrence probability of ca. 100 years) could affect the railway line, including debris flows and dynamic inundations, and could reach high intensities. For block and rock fall, the railway is at risk even in small, frequent events (recurrence probability of ca. 10 years), though these would have only low intensity. Any event larger than a middle-frequency event could also reach high intensities.

In accordance with the principles of integrated risk management, an analysis of the protection deficit and risk was done following the hazard assessment. The Swiss Federal Railways considers three main criteria: individual risk of mortality $<1 \times 10^{-5}$; protection in a 100-year event considering critical magnitudes (i.e. deposition magnitude of debris flows, block diameter for block and rock fall); protection in a 300-year event only in exceptional hazard and risk situations that justify an intervention.

Because the protection goals were not met in some cases, additional protection measures were investigated for five torrents and nine source areas of block and rock fall. This included both technical constructions as well as organisational measures. The cost of individual measures was estimated and the cost-effectiveness was calculated using EconoMeRailway. The study outlined a cost-effective solution (technical and/or organisational strategies) for two torrents and seven source areas.

- Die SBB berücksichtigen dabei drei Hauptkriterien:
- Individuelles Todesfallrisiko $< 1 \times 10^{-5}$;
 - Schutz vor dem 100-jährlichen Ereignis unter Berücksichtigung der kritischen Grössen (Ablagerungshöhen bei Murgang, Blockgrössen bei Sturzgefahren);
 - Schutz vor 300-jährlichen Ereignissen nur bei ausserordentlichen Gefahren- und Risikosituationen, die einen Handlungsbedarf rechtfertigen.

Aufgrund der Schutzzielverletzungen wurden für fünf Bäche und für neun Liefergebiete von Sturzprozessen Schutzmassnahmen vorgeschlagen. Dabei handelt es sich sowohl um bauliche als auch um organisatorische Massnahmen. Nach einer Kostenschätzung der einzelnen Massnahmen wurde mit EconoMeRailway die Kostenwirksamkeit bestimmt. Schliesslich konnten mit der Studie für zwei Bäche und sieben Liefergebiete kostenwirksame Schutzmassnahmen (bauliche und/oder organisatorische Massnahmen) vorgeschlagen werden.

Mit technischen Massnahmen können jedoch nicht alle Schutzziele erfüllt werden. Dies gilt insbesondere für die Gefährdung durch Sturzprozesse. Dies einerseits aus Kostengründen, andererseits aber auch aus technischen Gründen (Blockgrössen, geologischer Untergrund, Platzverhältnisse). Dieser verbleibenden Gefährdung der Bahnlinie begegnen die SBB mit organisatorischen und betrieblichen Massnahmen. Dabei handelt es sich um Überwachung mit Alarmanlagen, welche im Ereignisfall risikomindernd sind. Denn dadurch kann z. B. eine vorsorgliche Sperrung der Strecke angeordnet werden und das Risiko beschränkt sich auf allfällige Schäden an den Infrastrukturanlagen sowie auf den Betriebsunterbruch. Eine weitere organisatorische, risikomindernde Massnahme stellt das Anordnen von «Fahren auf Sicht» dar.

Schliesslich bleibt ein Restrisiko für die SBB-Linie bestehen. Dieses Restrisiko kann auch mit den vorausschauendsten und durchdachtsten organisatorischen und baulichen Schutzmassnahmen nicht vollständig eliminiert werden. Dies gilt es letzten Endes zu akzeptieren.

Technical measures alone were not sufficient to fulfil all protection goals. This was especially true for block and rock fall, partially because of the financial implications but also because of technical challenges (block size, geological characteristics of the ground, space). The Swiss Federal Railways decided to target this residual risk with organisational and operational measures, such as monitoring with alarm systems. This reduces the risk in case of an event; for example, a preventative closure on the line limits the potential damage to the infrastructure itself and disruptions to service. A second organisational measure to reduce risk is the “drive by sight” signal. Nevertheless, residual risk exists for this railway line and cannot be eliminated even with the most anticipatory or sophisticated organisational and technical protection strategies. The only option is to accept this.



Bergsturz von Goldau *Goldau rock avalanche*

Der Bergsturz am Rossberg vom 2. September 1806 ist Klassiker und Lehrbuchbeispiel unter den Bergstürzen. Er repräsentiert die letzte, ganz grosse Naturkatastrophe in der Schweiz (457 Todesopfer) und veränderte die Landschaft nachhaltig.

102 Wohnhäuser, 2 Kirchen, 220 Scheunen und Ställe wurden zerstört, 400 Stück Vieh getötet.

Der Rossberg gehört zur Subalpinen Molasse. Die Südflanke wird mehrheitlich aus mächtigen Konglomeratbänken mit Zwischenlagen von Mergeln und Feinsandsteinen aufgebaut (Alter: 25 bis 30 Mio. Jahre). Die Schichten sind mit 25-30° gegen SSE geneigt. Das Gebirge ist von verschiedenen Kluftscharen durchsetzt, welche die Nagelfluh in quaderförmige Kompartimente zerlegen. Vorherrschend sind subvertikale NNW-SSE bis N-S verlaufende Trennflächen, daneben solche mit ENE-WSW-Streichen.

Mergel und Feinsandsteine bilden Diskontinuitäten, auf denen die darüber lagernden Schichtpakete vor allem bei starker Nässe abgleiten können. Klüfte und Brüche begünstigen die Loslösung von Bruchkörpern aus dem Gebirgsverband. Sie sind wasserwegsam, was zum Aufbau von Wasserdrücken beiträgt.

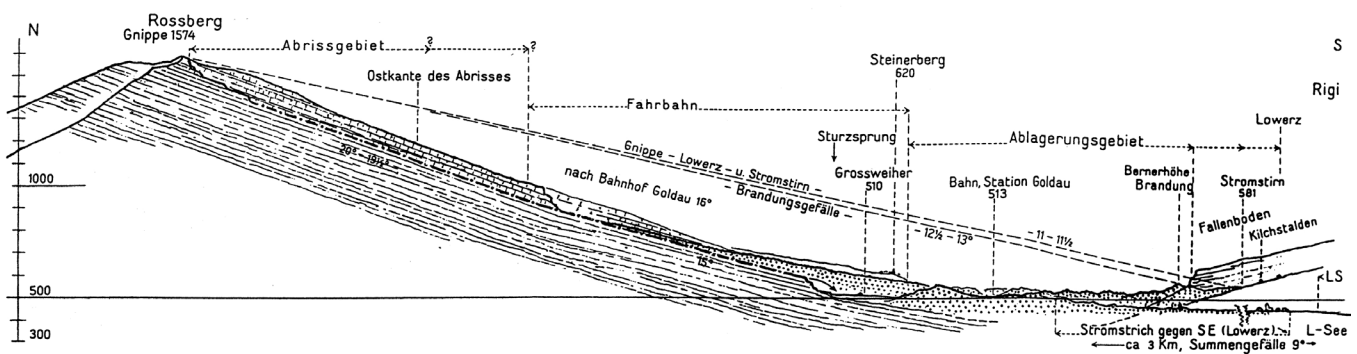
Der historische Bergsturz kann als initiale Felsrutschung auf Mergel- und Sandsteinschichten bezeichnet werden. Im Vorfeld desselben wurde von zunehmend sich öffnenden Spalten und Rissen berichtet, welche sich infolge des nassen Wetters mit Wasser füllten. Die abgleitenden, meist aus mächtigen Nagelfluhbänken gebildeten Schichtpakete gerieten zusehends in rasche Bewegung (bis 70 m/s nach Heim 1932). Das Ereignis dauerte maximal 3 bis 4 Minuten (Zay 1807). Über das Sturzvolumen gehen die Schätzungen auseinander. Heute wird von einer Grössenordnung von 35 bis 40 Mio. m³ ausgegangen. Die betroffene Fläche umfasst rund 6.5 km². Das Ereignis wird wegen der grossen Sturzkubaturen und der hohen Prozessgeschwindigkeit als Bergsturz im engeren Sinn bezeichnet. Charakteristisch ist auch das geringe Pauschalgefälle von 11-13° (siehe Profilschnitt). Die Sturzmasse verbreitete sich in vier Strömen und brandete am

The Goldau rock avalanche occurred on the flank of the Rossberg on 2 September 1806 and is one of the most cited textbook examples of this kind of mass movement. It was the last large natural hazard event in Switzerland (457 victims) and permanently changed the landscape. In total 102 houses, 2 churches and 220 stalls/huts were destroyed and 400 cattle died.

Geologically, Rossberg is part of the Subalpine Molasse. The southern side is made up of conglomerates with intercalations of marls and fine sandstones (25 to 30 million years old). The layers are inclined at 25-30° and oriented SSE. Jointing creates rectangular compartments of conglomerate rock bodies. The most common planes are sub-vertical with NNW-SSE to N-S striking, some discontinuities reveal ENE-WSW striking.

The marl and fine sandstone layers form discontinuities, which can act as sliding planes for the rock strata above, especially when wet. Release of blocks or smaller rock masses is common given the heavily jointed/fractured rock. Water can enter these openings which increases the internal water pressure. This historical event started initially as a translational rock landslide along marl and sandstone layers. It was reported that cracks and gashes, which were filled with water due to wet weather, had already opened before the rock avalanche occurred. The sliding rock masses (composed primarily of conglomerates) started to accelerate, reaching velocities up to 70 m/s (Heim 1932). The event lasted only 3 to 4 minutes (Zay 1807). The total deposited volume has been debated. Today it is estimated to be around 35 to 40 million m³. The affected area is 6.5 km². The event is classified as a rock avalanche (or Bergsturz) because of the huge volume and high translational velocity. The low global slope angle (11-13°) is also characteristic of this kind of mass movement (see profile). The falling masses separated into four directions and ascended up to 50 m on the opposite slope. Material in the eastern-most area moved towards Lake Lauerz where the resulting

Bergsturz von Goldau, 2. IX. 1806.



Profilschnitt durch den Bergsturz von Goldau am 2. September 1806 (aus Heim 1932).
Profile of the Goldau rock avalanche on 2 September 1806 (from Heim 1932).

Gegenhang bis zu 50 m hoch auf. Der östlichste Strom wandte sich gegen den Lauerzersee, wobei die Druckwelle darin eine Flutwelle auslöste. Man vermutet, dass die Fläche des Sees wegen des Bergsturzes um etwa bis $\frac{1}{4}$ verkleinert wurde (Heim 1932).

Von der Rossberg-Südflanke haben sich bereits zuvor mehrere Sturzmassen gelöst, so der prähistorische Oberarther und der Röthener Bergsturz im 13. Jahrhundert. Hantke 2006 verweist weiter östlich am Rossberg auf weitere 6 Grossereignisse hin. In der Sturzmasse mit riesigen Nagelfluhblöcken (bis mehrere Zehner von m^3) ist auch der Tierpark von Goldau eingebettet. Die Mächtigkeit der Ablagerungen dürfte hier 30 m überschreiten.

Vom Tierpark aus (540 m ü. M.) ist die Sturzbahn bis hinauf zur Abrissnische am Gnipen (1533 m ü. M.) bestens einsehbar. Gut erkennbar ist auch die Bahn des Ereignisses vom 22. August 2005, als sich infolge einer Felsrutschung am östlichen Abrissrand des historischen Bergsturzes ein Felssturz mit anschliessendem Murgang entwickelte. Dabei wurden 10 Hektaren Schutzwald zerstört. Der Murgang verliess sein Bachbett und stiess über ein anderes Gerinne bis zum Tierpark vor.

shock wave caused a tsunami. It is assumed that the original surface of the lake has been reduced by one-seventh to one-quarter (Heim 1932).

Large mass movement events on the southern slope of the Rossberg occurred also prior to the 1806 event, e.g. the prehistoric Oberarther and the 13th century Röthener rock avalanche. Hantke (2006) refers to an additional six major events further east.

The Goldau zoo is situated on these original 1806 deposits, which contain huge conglomerate blocks with volumes up to several tens of cubic metres. The maximum thickness of the deposits exceeds 30 m.

The entire trajectory up to the detachment zone at Gnipen (1533 m) is easily visible from the zoo (540 m), as well as the track of the event on 22 August 2005. The 2005 event resulted from a rockslide on the eastern edge of the historic rock avalanche area that subsequently transformed into a debris flow.

This event destroyed 10 hectares of protection forest. The debris flow overtopped its original channel and flowed in a neighbouring channel as far down as the zoo.

Quellen und Literatur *Sources and literature*

Bollinger, D., Rick, B. & Thuro, K. 2006: Die Bergstürze am Rossberg und die Massenbewegungen in Folge des Unwetters vom August 2005 – ein Exkursionsführer. Bull. angew. Geol. 11/2, 45-56.

Hantke, R. 2006: Geologischer Atlas der Schweiz, 1:25'000, Blatt 1151, Rigi (Atlasblatt 116). Karte und Erläuterungen. Bundesamt für Landestopografie, Bern.

Heim, A. 1932: Bergsturz und Menschenleben. Fretz & Wasmuth, Zürich. 218 S.

Romang, H. (Ed.) 2008: Wirkung von Schutzmassnahmen («PLANAT Protect»). Nationale Plattform für Naturgefahren PLANAT, 289 S.

Thuro, K., Berner, Ch. & Eberhardt, E. 2006: Der Bergsturz von Goldau 1806 – Was wissen wir 200 Jahre nach der Katastrophe? Bull. angew. Geol. 11/2, 13-24.

Zay, K. 1807: Goldau und seine Gegend, wie sie war und was sie geworden. Zürich, 1807 (sogenanntes «Schuttbuch»).

Autoren
Authors

Daniel Bollinger, Kanton
Schwyz, Amt für Wald und
Naturgefahren

Peter Mani, geo7 Geowissen-
schaftliches Büro, Bern

Judith Dobmann, geo7 Geo-
wissenschaftliches Büro, Bern

Theo Weber, Kanton Schwyz,
Amt für Wald und Natur-
gefahren

kanton**schwyz** 

Organisation
Organisation

Kanton Schwyz, Amt für Wald
und Naturgefahren
Bahnhofstrasse 9
6430 Schwyz
+41 (0)41 819 18 35
awn@sz.ch
www.sz.ch/naturgefahren

Sponsor
Sponsor

SYTEC Bausysteme AG
Laupenstrasse 47
3176 Neueneegg
Schweiz
www.sytec.ch


SYTEC
GEOPRODUCTS