

## Der Bergsturz von Goldau 1806 – Versagensmechanismen in wechsellagernden Konglomeraten und Mergeln

### The 1806 Goldau rock slide: failure mechanisms in interbedded conglomerates and marls

K. THURO<sup>1</sup>, CH. BERNER<sup>2</sup>, E. EBERHARDT<sup>3</sup>

#### Zusammenfassung

Der Bergsturz von Goldau 1806, der sich nächstes Jahr zum 200. Male jährt, kostete 457 Menschen das Leben, zerstörte die Ortschaften Arth und Goldau und lösten am Lauerzer See eine 20 m hohe Flutwelle aus, die weitere große Zerstörungen anrichtete. Als Ursache werden die mit 15° bis 30° talwärts einfallenden Konglomeratbänke mit Mergelzwischenlagen der Unteren Süßwassermolasse angesehen und als Auslöser heftige Regenfälle mit vorhergehender Schneeschmelze nach einem schneereichen Winter. Obwohl bereits mehrfach geologisch beschrieben, sind der mechanische Ablauf der Felsrutschung und die Ausbreitung des daraus hervorgegangenen Sturzstroms noch nicht vollständig geklärt. In den Jahren 2002 bis 2004 wurden an der ETH Zürich und TU München die wichtigsten Fragestellungen neu untersucht. Dabei wurde insbesondere im Bereich der ehemaligen Gleitfläche und deren Begrenzung eine Kartierung der Phänomene durchgeführt und eine Gefahrenkarte erstellt. In Schlüsselbereichen wurden Proben entnommen, im Labor bearbeitet und damit die geotechnischen Kennwerte aller für den Ablöse- und den Sturzprozess wesentlicher Gesteine ermittelt. Der Verwitterung der Mergellagen wurde dabei besonderes Augenmerk geschenkt.

**Keywords:** Bergsturz, Felsrutschung, Sturzstrom, Gleitfläche, Kartierung der Phänomene, Gefahrenkarte, Verwitterung

#### Abstract

Probably the best known failure in the subalpine Molasse of the Swiss Alps is the Goldau rockslide (also referred to as the Rossberg slide or Goldauer Bergsturz) having its 200th anniversary next year. The 1806 failure claimed 457 lives when a slide involving nearly 40 million m<sup>3</sup> of rock was triggered by a rapid snowmelt coinciding with heavy rainfall. The slide mass primarily consisted of conglomerates dipping between 15° and 30° and was reported as having failed along bedding plane contacts between the conglomerates and underlying marls. Given the adverse nature of the geological conditions (i.e. bedding dipping parallel to topography), it isn't surprising that earlier failures along the Rossberg slopes have been suggested including one in 1222/1354, and that remnants of prehistoric slides cover the lower regions of the slope. Subsequent to the 1806 event, smaller slides were also reported, more notably in 1874 and 1910, the latter involving the reactivation of old slide debris. Also today numerous signs of activity can be observed along the upper scarp of the slide, and the potential for failure along the neighbouring slopes is high given the history of previous slide events. The last bigger event observed October, 15<sup>th</sup> 2002 involved some 5.000 m<sup>3</sup> west of the Gnippen summit. The first objective included field reconnaissance and mapping of the phenomena leading into a hazard map of the landslide vicinity. Given the propensity for failures in the bedded rocks of the Molasse, the next focus of the study was that of unstable rock slopes and failure mechanisms in bedded marls and conglomerates. One of the key objective was to understand the evolutionary processes leading to unstable slope conditions due to weathering processes in the marls. These processes include increases in porosity, decalcification and strength degradation. Since the rupture surface not only intersects marls but also conglomerates, the progressive development of a brittle slide surface parallel to bedding as a function of time was addressed as well.

**Keywords:** Bergsturz, rock slide, rock avalanche, rupture plane, mapping of phenomena, hazard map, weathering

#### 1 Einführung

Vor fast 200 Jahren, am späten Nachmittag des 2. September 1806, lösten sich am Gnipen, welcher zusammen mit dem etwas höheren Wildspitz das Rossbergmassiv bildet, etwa 40 Mio m<sup>3</sup> Gestein, welches das damalige Dorf Goldau unter sich begrub und 457 Menschenleben forderte. Zudem wurden 111 Wohnhäuser, 2 Kirchen, 220 Scheunen und Ställe mit Vieh zerstört, sowie 6,5 km<sup>2</sup> Land von den Schuttmassen bedeckt und für Ackerbau und Viehzucht zunächst unbrauchbar gemacht (MEYER 1806, ZAY 1807). Eine nach Augenzeugenberichten im Lauerzer See ausgelöste, 20 m hohe Flutwel-

le zerstörte ein Gebäude und eine Kapelle auf der Insel Schwanau. Die Fläche des Lauerzer Sees wurde durch die Schuttmassen um 1/7 verkleinert. Die Katastrophe traf das damals auch von Kriegswirren heimgesuchte Tal besonders hart und löste eine internationale Welle der Solidarität aus (ZEHNDER 1988). Der Bergsturz von Goldau war die erste geologische Massenbewegung, die im Zeitalter der Aufklärung und den sich entwickelten Naturwissenschaften zumindest von den Wissenschaftlern nicht als Bestrafung Gottes hingenommen wurde. In der Folge beschäftigten sich sowohl Gelehrte (MEYER 1806, ZAY 1807, BLATZER 1875, RIEDL 1877, OTT 1905, 1920, HEIM 1932, KOPP 1936, LEHMANN 1942)

---

<sup>1</sup> Prof. Dr. Kuroschi Thuro, Lehrstuhl für Ingenieurgeologie, TU München, D-80290 München, thuro@tum.de

<sup>2</sup> Dipl.-Geol. Christoph Berner, Ingenieurgeologie der ETH Zürich, christof.berner@web.de

<sup>3</sup> Prof. Dr. Erik Eberhardt, Geotechnical Rock Engineering, University of British Columbia, erik@eos.ubc.ca

als auch Künstler (Fig. 1, Fig. 2) mit dieser Naturkatastrophe.

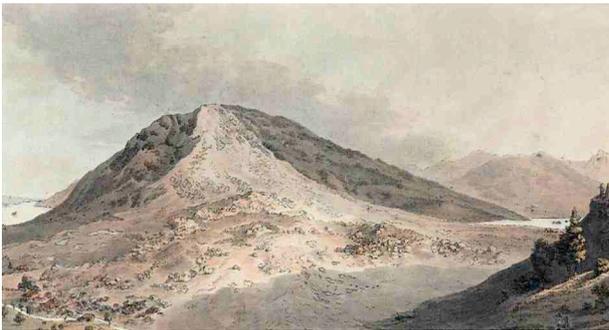


Fig. 1: Der Bergsturz von Goldau am 2. Sept. 1806 am Rossberg, Kanton Schwyz, Schweiz. Gemälde von H. Keller 1806.

Fig. 1: The Goldau rock slide on Sept. 2nd, 1806 at the Rossberg, Cantone Schwyz, Switzerland. Painting by H. Keller 1806.



Fig. 2: Bergsturz, der das Dorf Goldau verschüttet und eine Flutwelle auf dem Lauerzer See auslöst. Aquarell von D.A. Schmid 1806.

Fig. 2: Rock slide engulfing the village of Goldau causing a Tsunami in the lake of Lauerz. Aquarell by D.A. Schmid 1806.

## 2 Neuuntersuchung des Bergsturzareals

Nach HEIM (1932), KOPP (1936) und LEHMANN (1942) fand keine moderne Neubearbeitung des Bergsturzareals mehr statt. Mit einer kleinen Arbeitsgruppe sollte eine Neukartierung mit einer Gefahrenbeurteilung durchgeführt und durch eine erste Probennahmekampagne aus Oberflächenaufschlüssen geeignete geotechnische Kennwerte für eine Modellierung des Rutschmechanismus gewonnen werden (BERNER 2004).

Die wohl wissenschaftlich am meisten akzeptierte Darstellung gibt HEIM 1932 in seiner Monographie „Bergsturz und Menschenleben“. Die aktuellen Untersuchungen zeigen jedoch einige Abweichungen vom bisherigen Bild auf. Die wichtigsten Punkte sollen in diesem Beitrag kurz zusammengefasst werden.

## 2.1 Geologische Verhältnisse

Der Rossberg besteht aus einer Wechselfolge von Tonmergel- und Sandsteinbänken mit mächtigen Nagelfluh- (d.h. Konglomerat-) Bänken der Unteren Süßwassermolasse USM (VOGEL & HANTKE 1988, HEIM 1932, Fig. 3 & Fig. 4). Das sedimentologische Modell ist das eines alluvialen Fächers mit grobkörnigen Rinnenfüllungen und Muren sowie feinkörnigen und feinstkörnigen Stillwasserbereichen. Im Bereich der schräg gestellten, subalpinen Molasse fällt die Schichtung hier mit im Mittel  $20^\circ$  im Abrissbereich nach Süden ein, im Talbereich mit  $15^\circ$ . Im Abrissbereich am Grat zwischen Gnippen und Rossberg wurden bis zu  $27^\circ$  gemessen. Gegenüber der Darstellung von HEIM 1932 (Fig. 8) weist insbesondere die genaue Kartierung der östlichen Abbruchwand (Fig. 10) eine wesentlich komplexere Struktur auf.



Fig. 3: Gleitfläche und Konglomeratbänke an der östlichen Begrenzung des „Bergsturzes“ vom Rossberg.

Fig. 3: Sliding plane and conglomerates at the eastern scarp of the Rossberg slide.



Fig. 4: Detail einer Sandstein-Mergel-Wechselfolge.  
Fig. 4: Detail of interbedded marls and sandstones.

## 2.2 Hangbewegungstyp

Es handelt sich um eine Felsrutschung mit ca. 36 Mio m<sup>3</sup> (Neuberechnung). Das Ereignis wird wegen der hohen Kubatur (> 1 Mio m<sup>3</sup>) als „Bergsturz“ bezeichnet. Durch die große Masse entwickelte sich eine Eigendynamik: Das in Schollen und Blöcke aufgelöste Material verhielt sich wie eine Flüssigkeit - ähnlich wie beim Ausschütten eines Zementsackes oder Mehlpackchens - und konnte sich sowohl ungewöhnlich weit ausbreiten als auch am Gegenhang bis zu 120 m hoch „aufbranden“. Dieser Typ wird in der Literatur oft als Sturzstrom (HEIM 1932) oder *rock avalanche* (EISBACHER & CLAGUE 1984) bezeichnet.

## 2.3 Gleitflächen

In Fig. 5 sind die entsprechend des Einfallens der Konglomeratbänke abgestuften Gleitflächen am Rossberg zu sehen. Dabei baut die prähistorische und mit ca. 100.000 m<sup>3</sup> Material vermutlich größte Rutschung die Wasserscheide zwischen Zuger See und Lauerzer See auf. Die Röthener Rutschung von 1222 (nach historischen Quellen, früher auf 1354 datiert), ist mit weniger als 20.000 m<sup>3</sup> deutlich kleiner als der sog. „Bergsturz“ von Goldau 1806. Kleinere Ereignisse wie Felsstürze (beschrieben von 1970) oder die Rutschung, die am 15. Oktober 2002 beobachtet werden konnte, zeigen die ständige Aktivität in diesem Gebiet.



Fig. 5: Treppenartig gestufte Gleitflächen am Rossberg mit (1) prähistorischer Rutschung (2) Röthener Rutschung von 1222 (3) „Bergsturz“ von 1806 (4) Felsrutschung von 2002 (5) künftiges Ereignis? Goldau liegt heute auf Bergsturzmassen.

Fig. 5: Stepped sliding planes at the Rossberg (1) pre-historic slide (2) 1222 Röthen slide (3) 1806 rock slide (4) rock slide 2002 (5) future event? Debris material in the village of at Goldau.

Vor allem von HEIM 1932 werden die an der Basis der östlichen Abrisswand vorkommenden Mergelschichten als Gleitebene für die Felsrutschung angesehen. Die Neukartierung der Gleitfläche und Abrisskanten zeigte jedoch, dass dies nur in einem Teil der Rutschmasse in Frage kommt. In großen Bereichen muss sich die Gleit-

fläche durch die Konglomerate hindurch entwickelt haben. Die Mergellagen ziehen in der Regel nicht, wie von HEIM (1932) angenommen, bis ins Tal durch (Fig. 10).

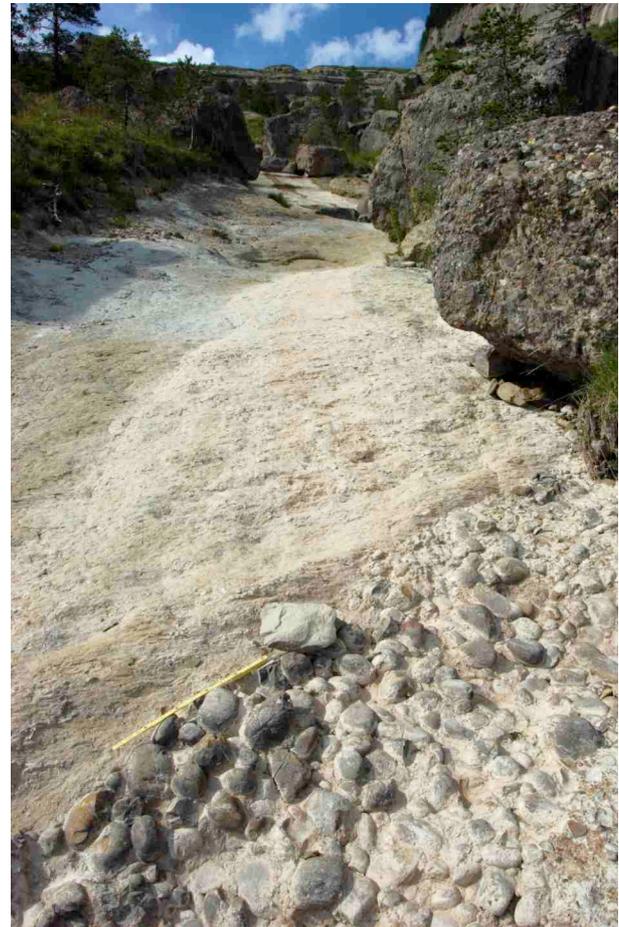


Fig. 6: Blick in Richtung Abrissnische. Die höhere Gleitfläche (3b in Fig. 5) liegt im oberen Teil in Mergeln, im unteren Bereich durchschneidet sie Konglomerate.

Fig. 6: View upwards in direction of the main scarp. The upper part of the sliding surface (3b in Fig. 5) is located in marls, the lower part intersects conglomerates.

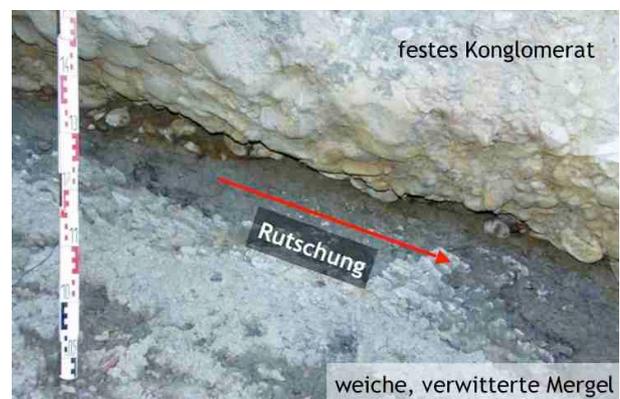


Fig. 7: Kontakt Konglomerat auf Mergel. Die Rutschfläche entwickelt sich in dem oberen, stark verwitterten Teil des Mergels.

Fig. 7: Conglomerate – marl contact. The failure plane develops in the upper highly weathered part of the marl.

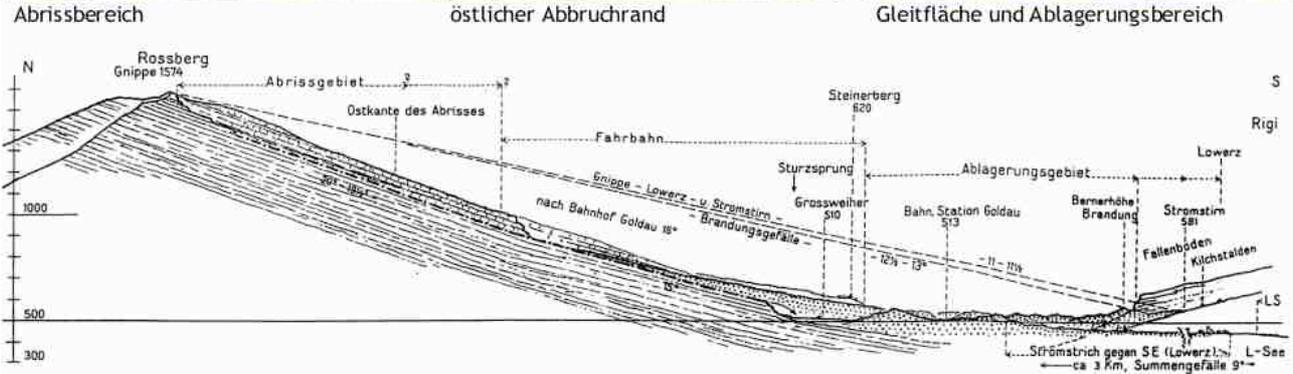


Fig. 8: Profilschnitt durch die Gleitbahn und östliche Abrisswand der Felsrutschung (des „Bergsturzes“) von Goldau (HEIM 1932) mit Bildern vom Abrissbereich, östlichem Abbruchrand sowie Gleitfläche und Ablagerungsbereich.  
 Fig. 8: Section through the sliding plane and eastern scarp of the Goldau rock slide (HEIM 1932) with photos showing the upper (left) and eastern scarps (middle) as well as the sliding plane down to the accumulation zone (right).

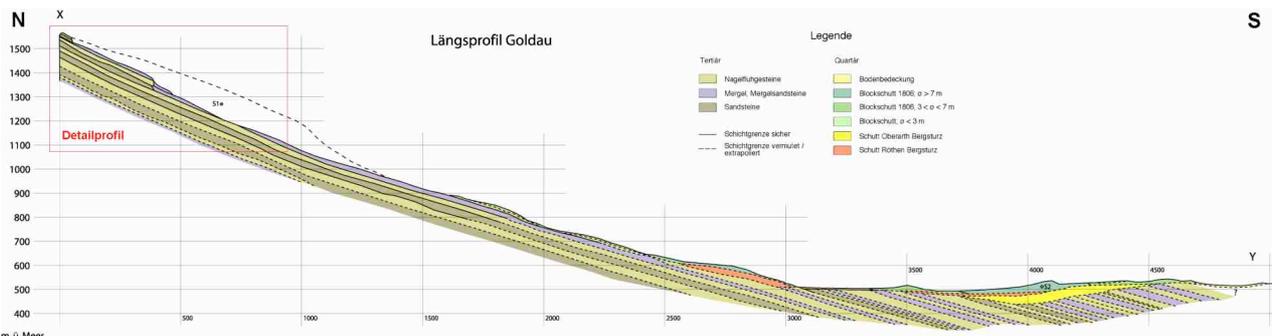


Fig. 9: Aktueller Profilschnitt durch die Gleitbahn der Felsrutschung (des „Bergsturzes“) von Goldau (BERNER 2004).  
 Fig. 9: Actual section through the sliding plane of the Goldau rock slide (BERNER 2004).

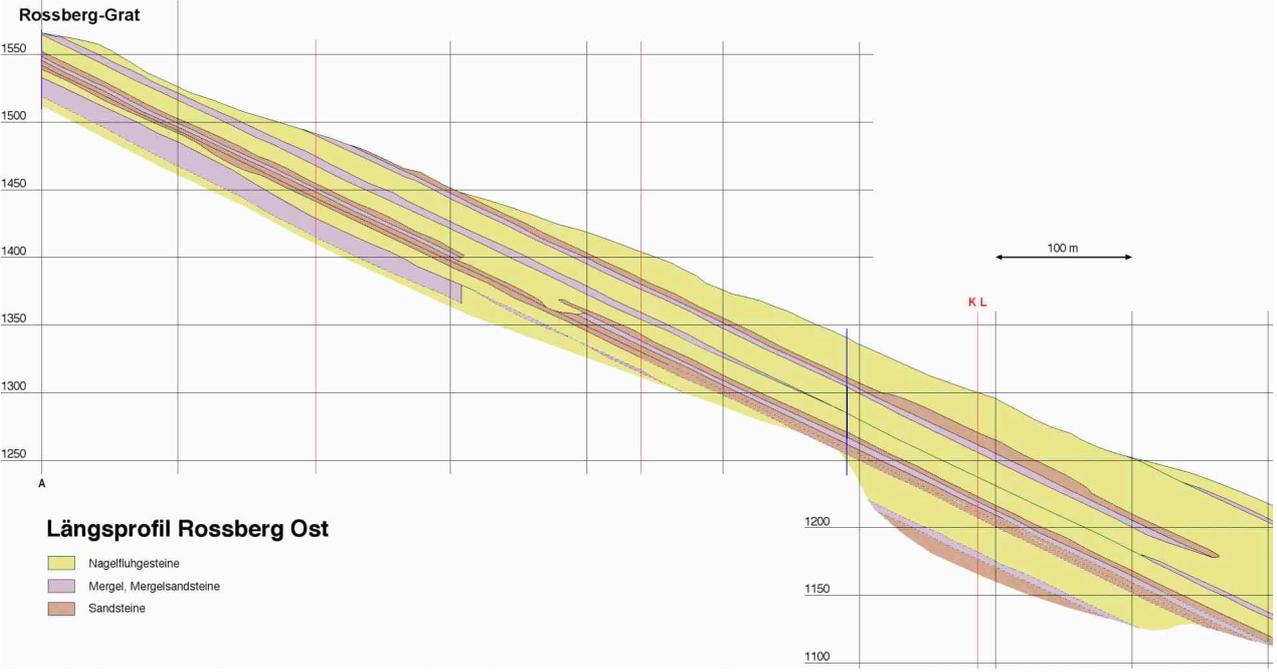


Fig. 10: Detaillierter Profilschnitt durch die östliche Abrisswand der Felsrutschung von Goldau 1806 (BERNER 2004). Weiße Basis = Basis der Rutschung.  
 Fig. 10: Section through the eastern scarp of the Goldau rock slide (BERNER 2004). White bottom = basis of the slide.

## 2.4 Versagensmechanismus

In den Mergeln kommt es – insbesondere durch chemische Verwitterungsprozesse – nachweislich zu einer Entkalkung und daher Umwandlung in kalkärmere Tonschluff-Gemische. Damit einhergehend ist eine signifikante Erniedrigung der Kohäsion und Reibung (BERNER 2004). Die Versagensfläche liegt daher in den verwitterten (entkalkten) Mergeln an der Grenze stark verwittert / wenig verwittert (Fig. 7). In den Konglomeraten wurden treppenartige und muschelförmige Abrissmechanismen beobachtet. Dies spricht für einen Sprödbbruchmechanismus, der insbesondere durch eine Scher-/ Zugbeanspruchung aufgetreten ist. Eine weitergehende Diskussion der geotechnischen Parameter würde den vorgegebenen Rahmen hier sprengen.

Eine erste Modellierung mit einem einfachen Grenzgleichgewichts-Code (Slide<sup>®</sup>, www.RocScience.com) zeigt wie erwartet ein Versagen in den verwitterten Mergeln erst bei hohem Porenwasserdruck (Fig. 11).

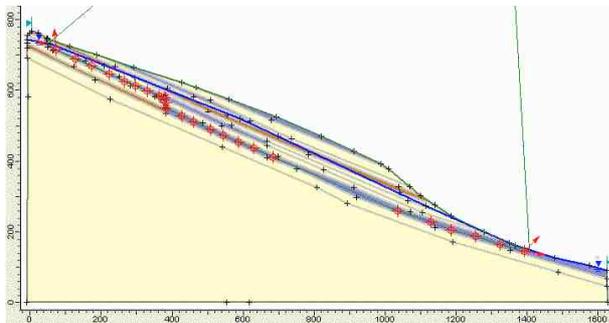


Fig. 11: Resultat der Standsicherheitsberechnung mit angenommener Gleitfläche lediglich durch den Mergel unter Porenwasserdruck. Dieses Modell ist aufgrund der niedrigen Reibung & Kohäsion nicht stabil (FS=0.96).  
Fig. 12: Result of limit equilibrium analysis with rupture plane through weathered marls under pore water pressure. This szenario is unstable due to the low cohesion / friction angle of the marl (FS=0.96).

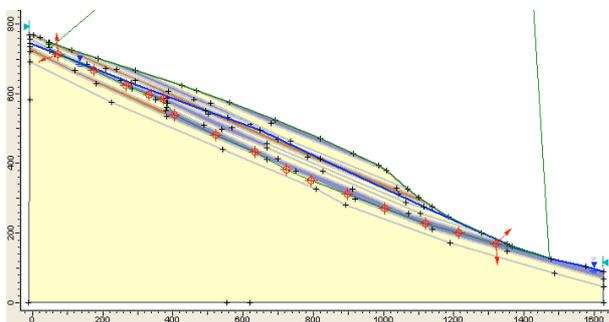


Fig. 12: Resultat der Standsicherheitsberechnung mit angenommener Gleitfläche durch Mergel und Konglomerate unter Porenwasserdruck. Dieses Modell ist aufgrund der hohen Festigkeit der Konglomerate stabil (FS=1.8).  
Fig. 12: Result of limit equilibrium analysis with rupture plane through marls and conglomerates under pore water pressure. This szenario is stable due to the high shear strength of the conglomerate (FS=1.8).

Die Geländeuntersuchungen zeigen jedoch einen kombinierten Mechanismus: im oberen Teil der Gleitfläche ein Versagen entlang der stark verwitterten, in Kohäsion und Reibung herabgesetzten Mergeln, im unteren Teil ein Sprödbbruchversagen mit einem progressiven Bruch in den Konglomeraten. Bei diesem Szenario reicht diese einfache Modellierung noch nicht aus, um ein befriedigendes Ergebnis zu erhalten (Fig. 12), da mit dem Programm „Slide“ kein Versagen herbeigeführt werden kann. Die Modellierung soll nun in Form einer Doktorarbeit mit verschiedenen Codes, beginnend mit UDEC<sup>®</sup> und PFC<sup>2D</sup> (www.Itasca.com), fortgeführt werden.

## 3 Gefahrenbeurteilung

Der Bereich des Rossbergs wurde bis ins Tal im Maßstab 1: 10.000 geologisch derart kartiert, dass mit einer Blockgrößenverteilung auch Rückschlüsse auf die Kinematik möglich sind (BERNER 2004).

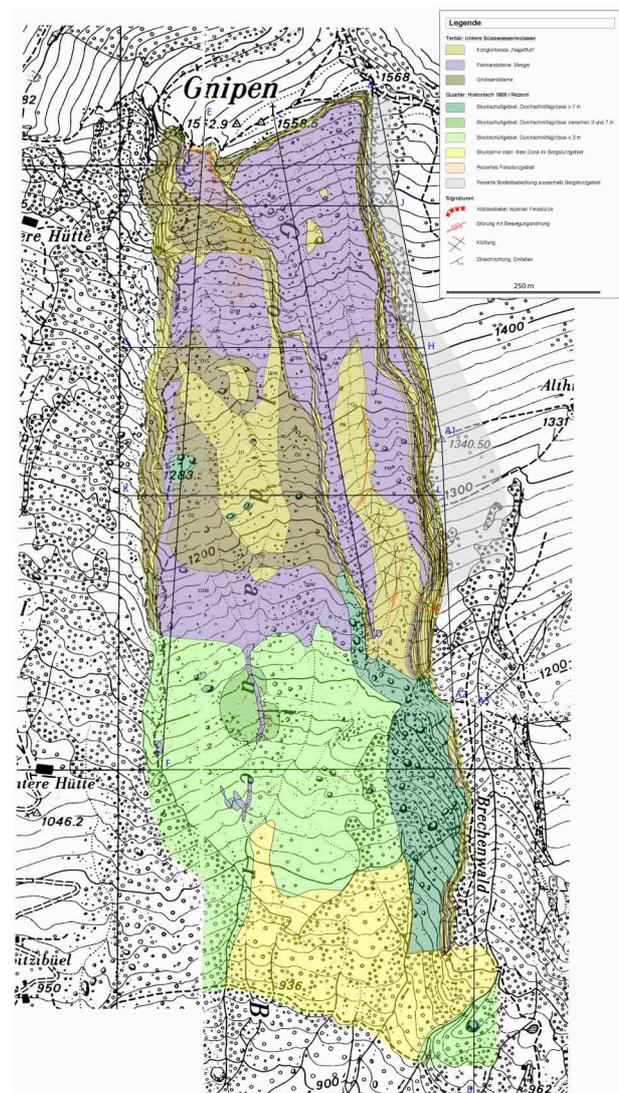


Fig. 13: Detailkarte des Abriss- und Gleitbereichs (M 1:5.000) des Goldauer Bergsturzes (BERNER 2004).  
Fig. 13: Detailed map of the scarp region and sliding plane (1: 5,000) of the Goldau rock slide (BERNER 2004).

Diese Angaben sollen im Zuge eines kinematischen Modells der Rekonstruktion der Rutschung dienen. Der obere Bereich der Gleitfläche wurde im Maßstab 1: 5.000 detaillierter kartiert (Fig. 13). Dabei wurden die Phänomene im Hinblick auf ihr Gefährdungspotential aufgenommen. Die nachfolgenden Figuren zeigen beispielhaft Prozesse des Toppling, des Rutschens und Stürzens, sowie des Kriechens bzw. Fließens.



Fig. 14: Luftansicht einiger aktueller und potentieller Ereignisse mit hohem Gefahrenpotential in der Abrissnische des Goldauer Bergsturzes (Luftbild: Sturzenegger).  
Fig. 14: Aerial view of actual and potential events with high hazard impact in the scarp region of the Goldau rock slide (Aerial photo: Sturzenegger).



Fig. 15: Darstellung aller risikorelevanten Prozesse im Gratbereich. Gelber Pfeil: Toppling, starke Intensität. Grüner Pfeil: Kriechen, Gleiten und Stürzen von Festgestein und einzelnen Blöcken, mittlere Intensität. Oranger Pfeil: Langsames Abgleiten von Lockermaterial auf Mergelschicht, schwache bis mittlere Intensität. Im rechten unteren Bildrand in fortgeschrittenem Stadium. (Gipfelkreuz = Gnippen).

Fig. 15: Relevant processes at the ridge. Yellow arrow: Toppling, high intensity. Green arrow: creep, slide, fall of rock material, medium intensity. Orange arrow: Slow sliding or creep of soil material on marls, low to medium intensity. At the right margin of the photo in advanced stage. (Summit cross = Gnippen).

## Danksagung

Wir bedanken uns bei Herrn Dr. Daniel Bollinger für die Unterstützung bei der Gefahrenkartierung im Gelände.

**Hinweis:** Diese Publikation ist als pdf in Farbe erhältlich unter [www.geo.tum.de/people/thuro/pubs/pubs.htm](http://www.geo.tum.de/people/thuro/pubs/pubs.htm)

## Literatur

BERNER, CH. (2004): Der Bergsturz von Goldau. Geologie, Ausbreitung und Dynamik des grössten historischen Bergsturzes der Schweiz. – 105 S., Diplomarbeit und Diplomkartierung, ETH Zürich, unveröffentlicht.

BLATZER, A. (1875): Über einen neuerlichen Bergsturz am Rossberg, nebst einigen allgemeinen Bemerkungen über derartige Erscheinungen in den Alpen. – Neues Jahrb. Min., Geol. und Paläont., Stuttgart (Schweizerbart), 15-26.

EISBACHER, G.H. & CLAGUE, J.J. (1984): Destructive Mass Movements in High Mountains: Hazard and Mitigation. - Geological Survey of Canada, Ottawa.

HEIM, A. (1932): Bergsturz und Menschenleben. – 218 S., Vjschr. d. Naturforsch Ges. Zürich, Zürich (Fretz und Wasmuth).

KOPP, J. (1936): Die Bergstürze des Rossbergs. – Versammlung Solothurn 1936, Ecl. Geol. Helveticae, 29. (2), 490-493.

LEHMANN, O. (1942): Über Böschungswinkel und Böschungshöhen im Hinblick auf den Bergsturz von Goldau. – Ecl. Geol. Helveticae, 35. (1), 55-65.

MEYER, J.H. (1806): Der Bergfall bey Goldau im Canton Schwyz, am Abend des zweyten Herbstmonats 1806. – 19 S., Zürich (Orell Füssli & Co.).

OTT, G. (1905): Kurze Beschreibung des Bergsturzes vom Rossberg bei Goldau (Kt. Schwyz). – 112 S., Luzern (Schill).

OTT, G. (1920): Goldau und der Bergsturz vom Rossberg. – 128 S., Goldau (Selbstverlag: Kaplan G.Ott).

RIEDL, E. (1877): Ueber Bergsturz und Rutschung. – Neues Jahrb. Min., Geol. und Paläont., Stuttgart (Schweizerbart), 914-924.

VOGEL, A. & Hantke, R. (1988): Zur Geologie des Rigi-gebietes. – Mittl. d. Naturforsch Ges. Luzern, Luzern, Sonderband „Rigi“, 30., 23-50.

ZAY, K. (1807): Goldau und seine Gegend, wie sie war und was sie geworden. – 390 S., Zürich (Orell Füssli & Co.).

ZEHNDER, J.N. (1988): Der Goldauer Bergsturz. Seine Zeit und sein Niederschlag. – 272 S., 3. Aufl., Goldau (Stiftung Bergsturzmuseum Goldau).