

Der Bergsturz von Goldau 1806 - Was wissen wir 200 Jahre nach der Katastrophe? Kurosch Thuro¹, Christof Berner², Erik Eberhardt³

Stichworte: Goldauer Bergsturz, Felsrutschung, Molasse

Zusammenfassung

Der Bergsturz von Goldau 1806, der sich dieses Jahr zum 200. Male jährt, kostete 457 Menschen das Leben, zerstörte die Dörfer Goldau, Röthen und Buosigen und löste am Lauerzer See eine 20 m hohe Flutwelle aus, die weitere grosse Zerstörungen anrichtete. Als Ursache des Bergsturzes werden die mit 15° bis 30° talwärts einfallenden Konglomeratbänke mit Mergelzwischenlagen der Unteren Süswassermolasse angesehen und als Auslöser heftige Regenfälle mit vorhergehender Schneeschmelze nach einem schneereichen Winter. Obwohl bereits mehrfach geologisch beschrieben, sind der mechanische Ablauf dieser Felsrutschung und die Ausbreitung des daraus hervorgegangenen Sturzstroms noch nicht vollständig geklärt. In den Jahren 2002 bis 2005 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.

Abstract

The year 2006 marks the 200th anniversary of one of the best-known landslides in the Swiss Alps, the Goldau rockslide (Rossberg slide or Goldauer Bergsturz). The 1806 failure claimed 457 lives when a slide involving nearly 40 mio. m³ of rock was triggered by heavy rainfalls. The slide mass mostly consisted of conglomerates dipping 15-30° SSE and was reported as having failed along bedding 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 the Rossberg slopes have had a long history of slope failures, including an event dating around 1222/1354, and prehistoric slides. Today, signs of activity can be observed along the upper scarp of the slide, and the potential for failure along the neighbouring slopes is high. The last recent event occurred August, 22nd 2005 and involved a landslide of roughly 200'000 m³ near the hamlet of Gribisch, followed by a debris flow. - Given the potential for future landslides, a detailed field investigation was conducted. This paper presents an overview of its findings. Given the propensity for failures in the Molasse rocks, the study also focussed on rock slope failure mechanisms in bedded marls and conglomerates. One of the key objectives was to understand failure evolution processes leading to unstable slope conditions due to weathering of marls: weathering leads to increased 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.

¹ Lehrstuhl für Ingenieurgeologie, Technische Universität München, Arcisstr. 21, 80333 München, Deutschland, thuro@tum.de

² Christof Berner, Dr. H. Jäckli AG, Kronengasse 39, 5400 Baden, Schweiz, berner@jaeckli.ch

³ Erik Eberhardt, Geological Engineering/EOS, University of British Columbia, Vancouver, BC, V6T 1Z4, Kanada, erik@eos.ubc.ca

1. Einführung

Vor fast genau 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. m³ Fels, welcher die damaligen Dörfer Goldau, Röthen und Buosigen unter sich begrub und 457 Menschenleben forderte. Zudem wurden 111 Wohnhäuser, 2 Kirchen, 220 Scheunen und Ställe mit Vieh zerstört, sowie 6.5 km² Land von den Schuttmassen bedeckt und für Ackerbau und Viehzucht zunächst unbrauchbar gemacht (Meyer 1806, Zay 1807). Eine im Lauerzer See ausgelöste, nach Augenzeugenberichten 20 m hohe Flutwelle zerstörte ein Gebäude und eine Kapelle auf der Insel Schwanau. Die Fläche des Lauerzer Sees wurde durch die Schuttmassen angeblich um 1/7 verkleinert. Als Ereignis mit einem bewegten Volumen von weit mehr als 1 Mio. m³ und extrem hoher Bewegungsgeschwindigkeit (Heim 1932 schätzt 70 m/s) wird das Ereignis als «Bergsturz von Goldau» bezeichnet. 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 entwickelnden Naturwissenschaften zumindest von den Naturwissenschaftlern nicht als «Bestrafung Gottes» hingenommen wurde. In der Folge beschäftigten sich deshalb sowohl Gelehrte (Meyer 1806, Zay 1807, Blatzer 1875, Riedl 1877, Ott 1905, 1920, Heim 1932, Kopp 1936, Lehmann 1942) wie auch Künstler z. B. W. Turner, H. Keller oder D. A. Schmid mit dieser Naturkatastrophe.

2. Untersuchungen

Nach Heim (1932), Kopp (1936) und Lehmann (1942) fand lange Zeit keine moderne Neubearbeitung des Bergsturzareals mehr

statt. Mit einer kleinen Arbeitsgruppe sollte eine Neukartierung mit einer Gefahrenbeurteilung durchgeführt werden und durch eine erste Probennahmekampagne aus Oberflächenaufschlüssen geeignete geotechnische Kennwerte für eine Modellierung des Rutschmechanismus gewonnen werden (Berner 2004). Diese Kartierung war unter anderem auch eine Grundlage für das Geologische Atlasblatt 1151 Rigi im Massstab 1: 25'000 (Hantke 2006), das den Bergsturzsbereich vollständig erfasst.

Die wohl wissenschaftlich am meisten akzeptierte Darstellung gibt Heim (1932) in seiner Monographie «Bergsturz und Menschenleben». Die aktuellen Untersuchungen zeigen jedoch einige Abweichungen vom dort beschriebenen Bild auf. Obwohl die Arbeiten hierzu noch nicht abgeschlossen sind, sollen die wichtigsten Ergebnisse der bisherigen Arbeiten in vorliegendem Beitrag kurz zusammengefasst werden.

2.1 Geologische Verhältnisse

Der Rossberg besteht aus einer Wechselfolge von Tonmergel- und Sandsteinbänken mit mächtigen, kalkig gebundenen Nagelfluh- (d. h. Konglomerat-) Bänken der Unteren Süsswassermolasse USM (Fig. 1, 2; Vogel et al. 1988, Heim 1932).

Das sedimentologische Modell dieser Ablagerungen ist das eines alluvialen Fächers mit grobkörnigen Rinnenfüllungen und Muren sowie feinkörnigen und feinstkörnigen Stillwasserbereichen (Keller 2000). Dies erklärt die oftmals kleinräumigen Korngrößenwechsel und die enge Verzahnung von groben Konglomeraten, die in feinkörnigere Sandsteine und schliesslich in Mergel übergehen. Bei den Mergeln handelt es sich um Tonsiltsteine mit deutlichem Kalkgehalt von bis zu 40% im frischen Zustand. Die Konglomeratbänke können dabei Mächtigkeiten von wenigen Metern bis über 20 m aufweisen (Fig. 1); stellenweise erreichen sie bis zu 80 Meter ohne Mergelzwischenlagen. Wegen ihres oft strukturlosen und fast schon als

homogen anzusehenden Aufbaus müssen diese Grobschüttungen als Muren oder verwandte, fließende Hangbewegungen auf den zu dieser Zeit (ca. 24 Mio. Jahre vor heute, oberes Oligozän/unteres Miozän) riesigen Schwemmfächern abgelagert worden sein. Richtung Norden bzw. nach oben hin nehmen die Mergel an Häufigkeit zu und sind oft mit Sandsteinbänken verzahnt oder wechsellagern engräumig mit ihnen - bei Mächtigkeiten von wenigen Dezimetern bis einigen Metern (Fig. 2). Im Bereich der schräg gestellten, subalpinen Molasse fällt die Schichtung im Bergsturzge-

biet mit im Mittel 20-25° auf der Gleitfläche nach Süden ein, im Talbereich mit 15°. Im Abrissbereich am Grat zwischen Gnipen und Rossberg wurden bis zu 30° Schichteinfallen gemessen. Gegenüber der Darstellung von Heim (1932) weist insbesondere die genaue Kartierung der östlichen Abbruchwand eine wesentlich komplexere Struktur auf (Fig. 7), die in den geschilderten Sedimentationsbedingungen begründet liegt. Die schräg gestellten Konglomeratbänke mit ihrer Mergelaufgabe wirken dabei insgesamt als ideale Gleitfläche.

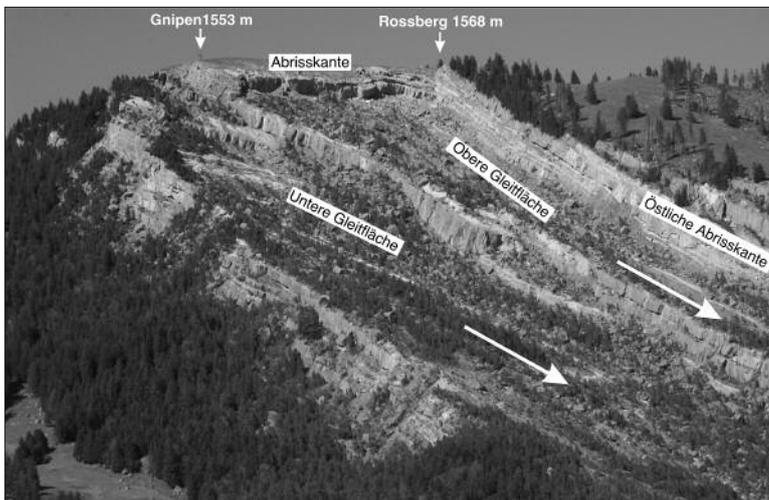


Fig. 1: Oberer Bereich der Gleitfläche mit Konglomeratbänken und östlicher Begrenzung des Bergsturzes vom Rossberg. Links Gipfelkreuz des Gnipen (1553 m ü. M.).



Fig. 2: Detail einer Sandstein-Mergel-Wechselfolge. Grösse des Massstabs 20 cm.

2.2 Hangbewegungstyp

Es handelt sich nach der vorgenommenen Neuberechnung unter Berücksichtigung einer angenommenen Topographie vor dem Ereignis mechanisch gesehen um eine Felsrutschung von rund 36 Mio. m³. Das Ereignis wird wegen des hohen Volumens (> 1 Mio. m³) jedoch häufig als «Bergsturz» bezeichnet. Durch die grosse Masse entwickelte sich eine Eigendynamik: Das in Schollen und Blöcke aufgelöste Material verhielt sich beim Transport wie eine Flüssigkeit - ähnlich wie eine Schneelawine - 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 et al. 1984) bezeichnet. Seine Geschwindigkeit

schätzte Heim (1932) offensichtlich mithilfe der Zeitangaben aus den historischen Quellen mit rund 250 km/h (70 m/s) ab. Die Mächtigkeit der Schuttdecke lässt sich nur ganz selten durch Bohrungen exakt bestimmen und kann im Bereich von Goldau heute noch mit 20 bis 50 m abgeschätzt werden.

2.3 Gleitflächen

Die Form der Gleitflächen wird von den harten Konglomeratbänken vorgegeben: Entsprechend des Einfallens verlaufen die Gleitflächen parallel zur Schichtung der Konglomerate bzw. im oberen Hangbereich in den Mergellagen. Nach unten greift die Gleitfläche treppenförmig weiter in tiefere Gesteinsschichten ein und nutzt dabei die steil stehenden Klüfte der spröden Konglomerate (Fig. 1).

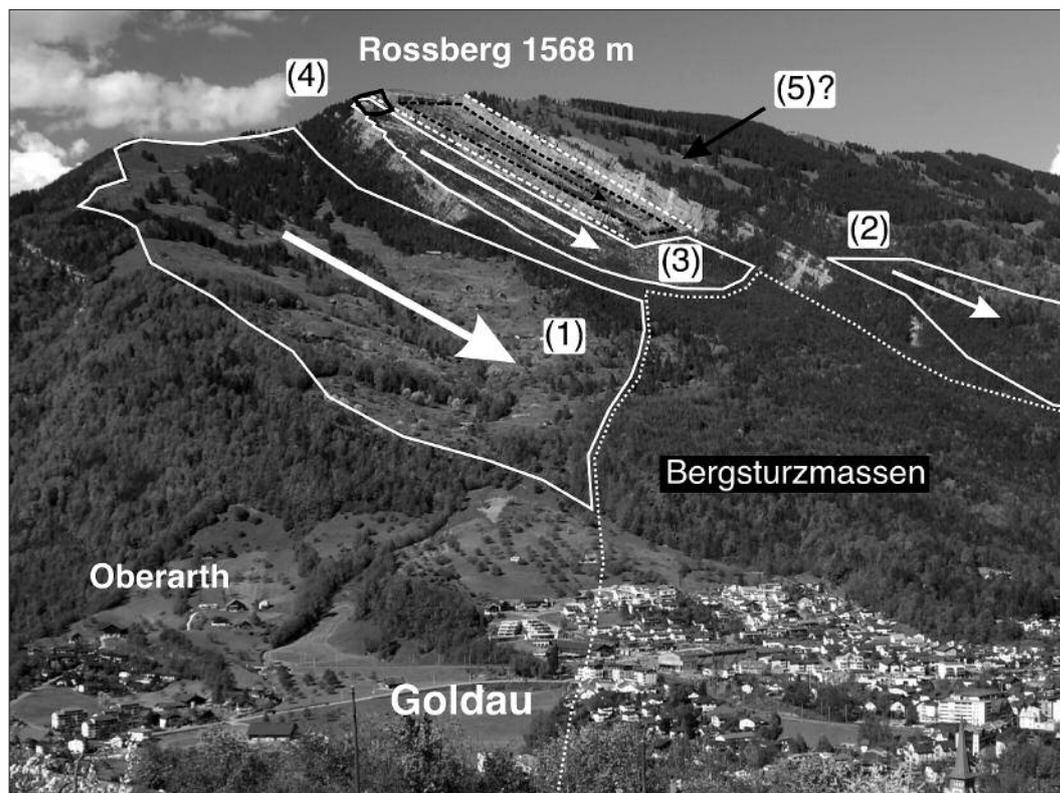


Fig. 3: Treppenartig gestufte Gleitflächen am Rossberg mit (1) prähistorischem Bergsturz, (2) Röhthener Bergsturz von 1222, (3) Bergsturz von 1806, (4) Felssturz von 2002, (5) Bewegungsanzeichen (künftiges Ereignis?). Im Vordergrund Bergsturzmassen und das heutige Goldau (Foto 2003).

Neben den Gleitflächen der Felsrutschung von 1806 findet sich aber am Rossberg eine Reihe weiterer solcher pultförmiger Flächen (Fig. 3). Dabei baut der prähistorische und mit grob geschätzt mindestens 100 Mio. m³ Material vermutlich grösste Oberarther Bergsturz die Wasserscheide zwischen Zuger See und Lauerzer See auf. Der Röthener Bergsturz von 1222 (nach historischen Quellen oft auch auf 1354 datiert), ist mit weniger als 20 Mio. m³ deutlich kleiner als der Bergsturz von Goldau 1806. Kleinere Ereignisse wie Felsstürze, beispielsweise beschrieben von 1970, der Felssturz, der am 15. Oktober 2002 beobachtet werden konnte und die Ereignisse im August 2005 (insbesondere bei Gribisch), zeigen die ständige Aktivität in diesem Gebiet. Vor allem von Heim (1932) werden die an der Basis der östlichen Abrisswand aufgeschlossenen Mergelschichten als Versagensfläche für den Bergsturz angesehen (Fig. 4). Die Neukartierung der Gleitfläche und Abrisskanten zeigte jedoch, dass dies nur im oberen Teil der Rutschmasse in Frage kommt. In grossen Bereichen muss sich die Versagensfläche durch die Konglomerate hindurch entwickelt haben. In Fig. 5 ist zu sehen, wie eine Rinnenfüllung mit Konglomeraten die bis dahin vorkommende Mergellage abschneidet (vgl. auch Fig. 7: Stelle Übergang Mergel - Konglomerat). An keiner Stelle ist zu sehen, dass hier eine Mergellage auf den Konglomeraten aufliegt

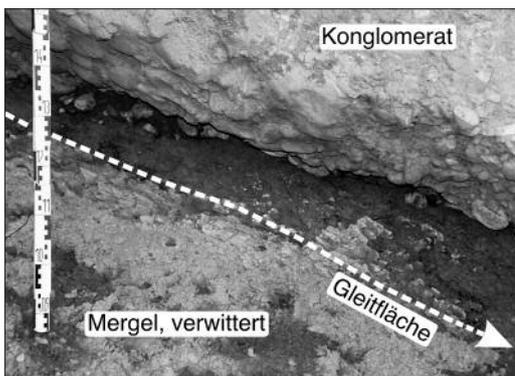


Fig. 4: Kontakt Konglomerat auf Mergel. Die Rutschfläche entwickelt sich in dem oberen, stark verwitterten Teil des Mergels.

und daher für das Versagen verantwortlich ist. Dafür sind in den Konglomeraten immer wieder treppen- und nischenartige Ausbrüche zu sehen, welche die Gleitfläche auf ein niedrigeres Niveau absenken und einen Sprödbbruchmechanismus innerhalb der Konglomeratbänke anzeigen. Obwohl es im Übersichtsprofil durch die Gleitfläche (Fig. 6) wegen der geringen Auflösung den Anschein hat, dass die Mergellagen, wie schon von Heim (1932) angenommen, bis in das Tal durchziehen, zeigt beispielsweise das Detailprofil der östlichen Abrisswand (Fig. 7), dass die prominente Mergellage von Konglomeraten abgeschnitten wird (Fig. 5). Im weiteren Verlauf folgt die Gleitfläche generell der Schichtung in den Konglomeraten und Sandsteinen - mit den beschriebenen treppenartigen Abbrüchen - und verläuft nur sehr untergeordnet in den Mergeln.

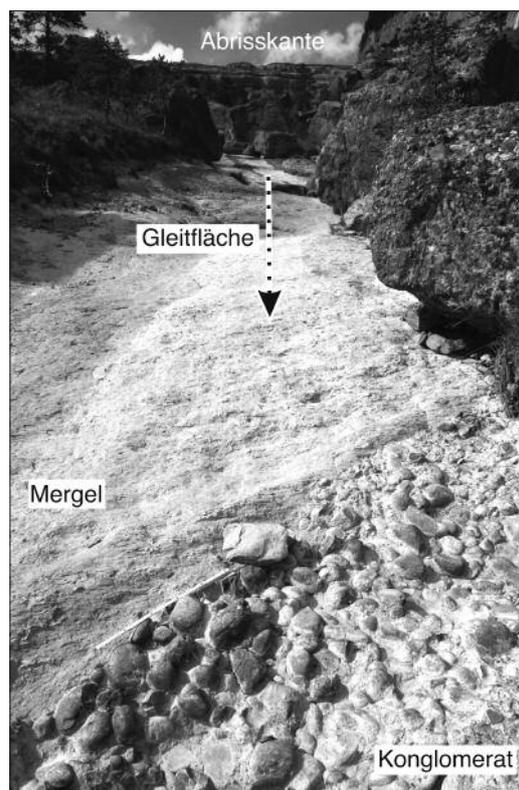


Fig. 5: Blick in Richtung Abrissnische. Die höhere Gleitfläche (Nr. 3 in Fig. 3) liegt im oberen Teil in Mergeln, im unteren Bereich durchschneidet sie Konglomerate.

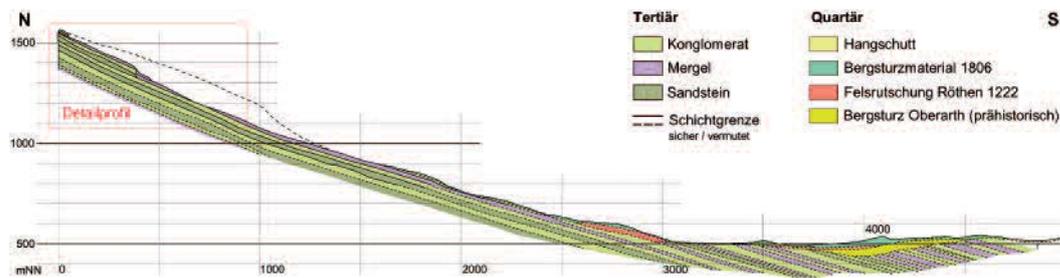


Fig. 6: Aktueller Längsschnitt durch die Gleitfläche des Bergsturzes von Goldau 1806 (Berner 2004).

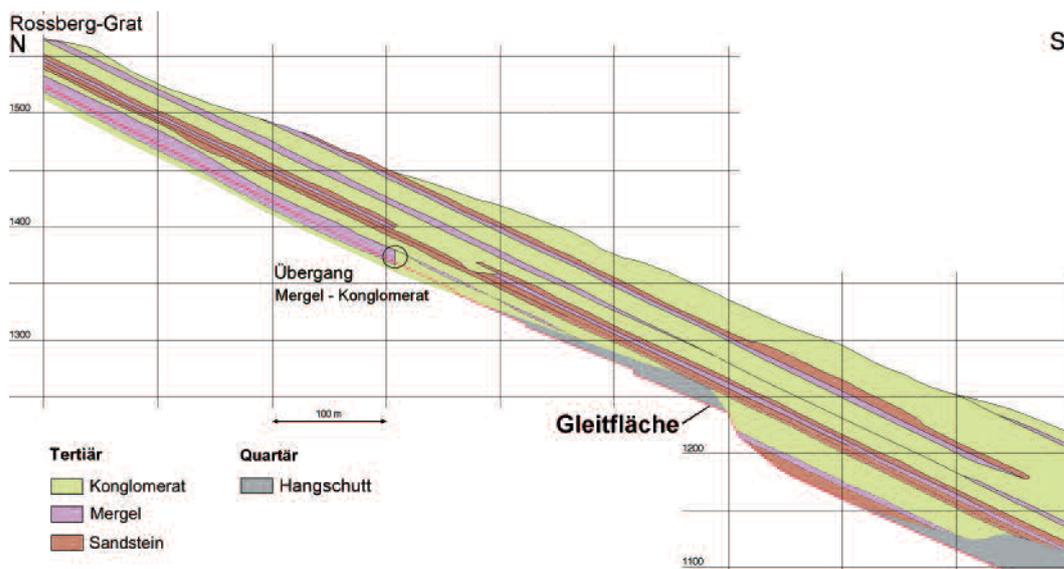


Fig. 7: Detaillierte Ansicht entlang der östlichen Abrisswand des Bergsturzes von Goldau 1806 (Berner 2004) mit Gleitfläche.

2.4 Versagensmechanismus

In den Mergeln kommt es - insbesondere durch chemische Verwitterungsprozesse - nachweislich zu einer Entkalkung und daher Umwandlung in kalkärmere Ton-Silt-Gemische (Fig. 8). Damit einhergehend ist eine signifikante Erniedrigung der Kohäsion und Reibung. Dabei ist die Entkalkung in den Verwitterungsstufen W1 (schwach verwittert) bis W3 (stark verwittert) nur etwa 5% und trotzdem ist das Absinken der Kennwerte geradezu dramatisch. Dies ist damit zu erklären, dass bei beginnender Verwitterung

bzw. Lösung des Kalks bereits eine weitgehende Gefügauflockerung und Zunahme der Porosität einhergeht. Alle Festigkeitskennwerte werden von dieser Auflockerung wesentlich beeinflusst und sinken stark ab. Dabei weisen die Gesteine dieser Verwitterungsgrade eine charakteristische Bröckelstruktur auf. Erst die Gesteine der Verwitterungsgrade W4 (vollständig verwittert) und W5 (Bodenbildung) sind überwiegend bzw. vollständig als Lockergesteine (magerer Ton mit Sand) anzusprechen. Zu ähnlichen Ergebnissen kommen Eberhardt et al. 2005 für die ebenfalls in der aufgerichteten Molass-

se gelegene Rutschung Ruffi bei einem Einfallen von etwa 20° , die jedoch oberflächennah nur in Mergeln stattgefunden hat.

Die Reibungswinkel im Verwitterungsgrad W3 und W4 (Stufen nach Einsele et al. 1985) sind in der gleichen Grössenordnung wie die Hangneigung von $20-25^\circ$. Legt man diese Reibungswinkel in erster Näherung als Grenzbedingung fest, so würde ab diesem Verwitterungsgrad ein Versagen im verwitterten Mergel stattfinden können. Die Versagensfläche dürfte daher in den verwitterten (entkalkten) Mergeln an die Grenze von W3 (stark verwittert) zu W4 (vollständig verwittert) zu liegen kommen (Fig. 9). Allerdings gilt diese Grenzbedingung streng genommen nur für oberflächennahe Mergel, die tiefgründig verwittert sein können. Für Mergelzwischenlagen, die in grösserer Tiefe angetroffen werden - beispielsweise unter einem Schichtpaket von 80-150 m (der grössten Mächtigkeit des abgeglittenen Materials), dürfte auch hier ein spröder Bruchmechanismus massgeblich sein.

In den Konglomeraten wurden, wie schon beschrieben, treppenartige und muschelförmige Abrissnischen beobachtet. Dies spricht für einen Sprödbbruchmechanismus in den Konglomeraten, der insbesondere durch eine kombinierte Scher-/Zugbeanspruchung aufgetreten ist. Als steil stehende Ablösefläche wirkt hier die hangparallel auftretende Klüftung, die normal zur grössten Einengung der tektonischen Hauptschubrichtung verläuft. Die östliche Abrisswand wird dabei von einer Störung gebildet, die in etwa parallel zur Hauptschubrichtung verläuft und gleichzeitig die zweite Hauptkluftrichtung darstellt. Ein rautenförmiges Muster von Scherklüften ist ebenfalls in den Konglomeraten zu beobachten. Die hohen einaxialen Druckfestigkeiten (≈ 85 MPa) und mittleren Zugfestigkeiten (≈ 4 MPa) der Konglomerate und Sandsteine deuten an, dass ohne Prozesse der progressiven Bruchausbreitung vermutlich kein Versagen in diesen Gesteinen zu erzeugen ist.

Eine erste Modellierung mit einem einfachen

Grenzgleichgewichts-Code (Slide[®] 5.0, Roc-Science 2006) zeigt wie erwartet ein Versagen in den verwitterten Mergeln erst bei hohem Porenwasserdruck (Fig. 10), d. h. wenn ein zusammenhängender Bergwasserspiegel bis zur Gratregion hinauf angenommen wird.

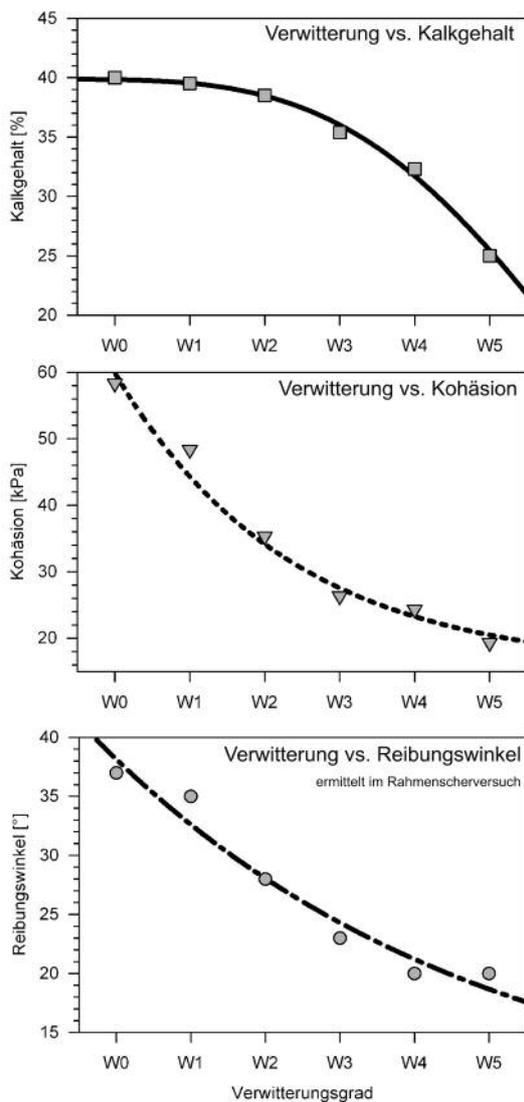


Fig. 8: Abnahme der Bodenkennwerte mit zunehmender Verwitterung.

Die Geländeuntersuchungen zeigen dagegen einen kombinierten Mechanismus: im oberen Teil der Gleitfläche ein Versagen entlang der stark verwitterten, in Kohäsion und Reibung herabgesetzten Mergel, im unteren Teil ein Spröbruchversagen mit einem progressiven Spröbruch in den Konglomeraten und Sandsteinen. Bei diesem Szenario reicht diese einfache Modellierung nicht aus, um ein befriedigendes Ergebnis zu erhalten, da mit den vorliegenden Gesteinskennwerten im Programm Slide[®] 5.0 kein Versagen herbeigeführt werden kann. Für das Profil von Fig. 10 resultiert aufgrund der hohen Festigkeit der Konglomerate ein stabiler Zustand (Sicherheitsbeiwert = 1.8). Die Modellierung wird zurzeit in Form einer Dissertation mit verschiedenen Codes (UDEC[®], FLAC[®] und PFC2D[®] von Itasca) fortgeführt, die auch das Verformungsverhalten des Gebirges und das Trennflächengefüge berücksichtigen können.

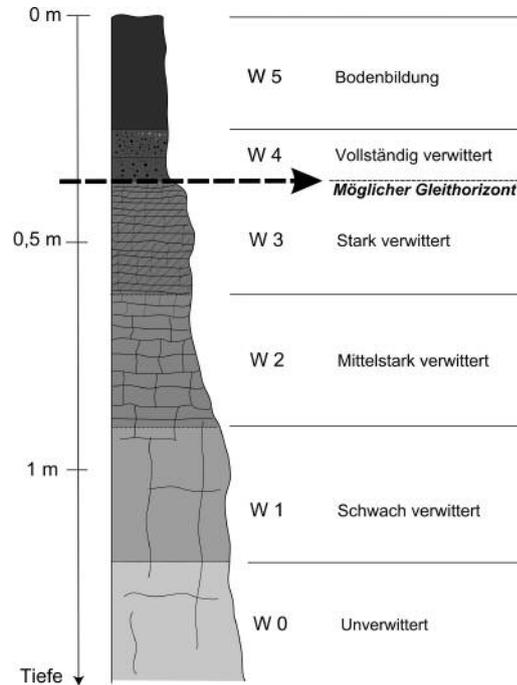


Fig. 9: Verwitterungsprofil der Mergel mit Klassifikation der Verwitterungsgrade nach Einsele et al. 1985 mit möglichem Gleithorizont.

3. Gefahrenbeurteilung

Der Bereich des Rossbergs wurde einschliesslich des Auslaufbereichs des Bergsturzes bis ins Tal im Massstab 1:10'000 geologisch kartiert. Durch die Aufnahme der Blockgrössenverteilung sollen auch Rückschlüsse auf die Kinematik ermöglicht werden (Berner 2004).

Diese Angaben sollen im Zuge eines kinematischen Modells der Rekonstruktion des Bergsturzes dienen. Der obere Bereich der Gleitfläche wurde im Massstab 1: 5'000 detaillierter aufgenommen (Fig. 11). Mithilfe dieser Karte können die Phänomene im Hinblick auf ihr Gefährdungspotential besser

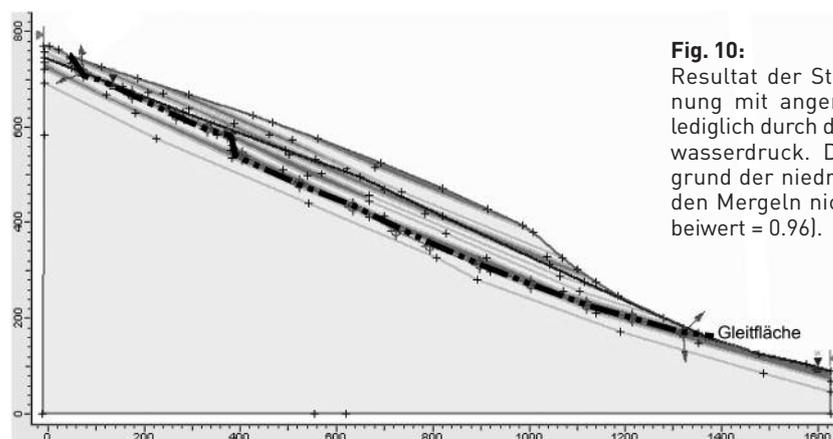


Fig. 10: Resultat der Standsicherheitsberechnung mit angenommener Gleitfläche lediglich durch den Mergel unter Porenwasserdruck. Dieses Modell ist aufgrund der niedrigen Scherfestigkeit in den Mergeln nicht stabil (Sicherheitsbeiwert = 0.96).

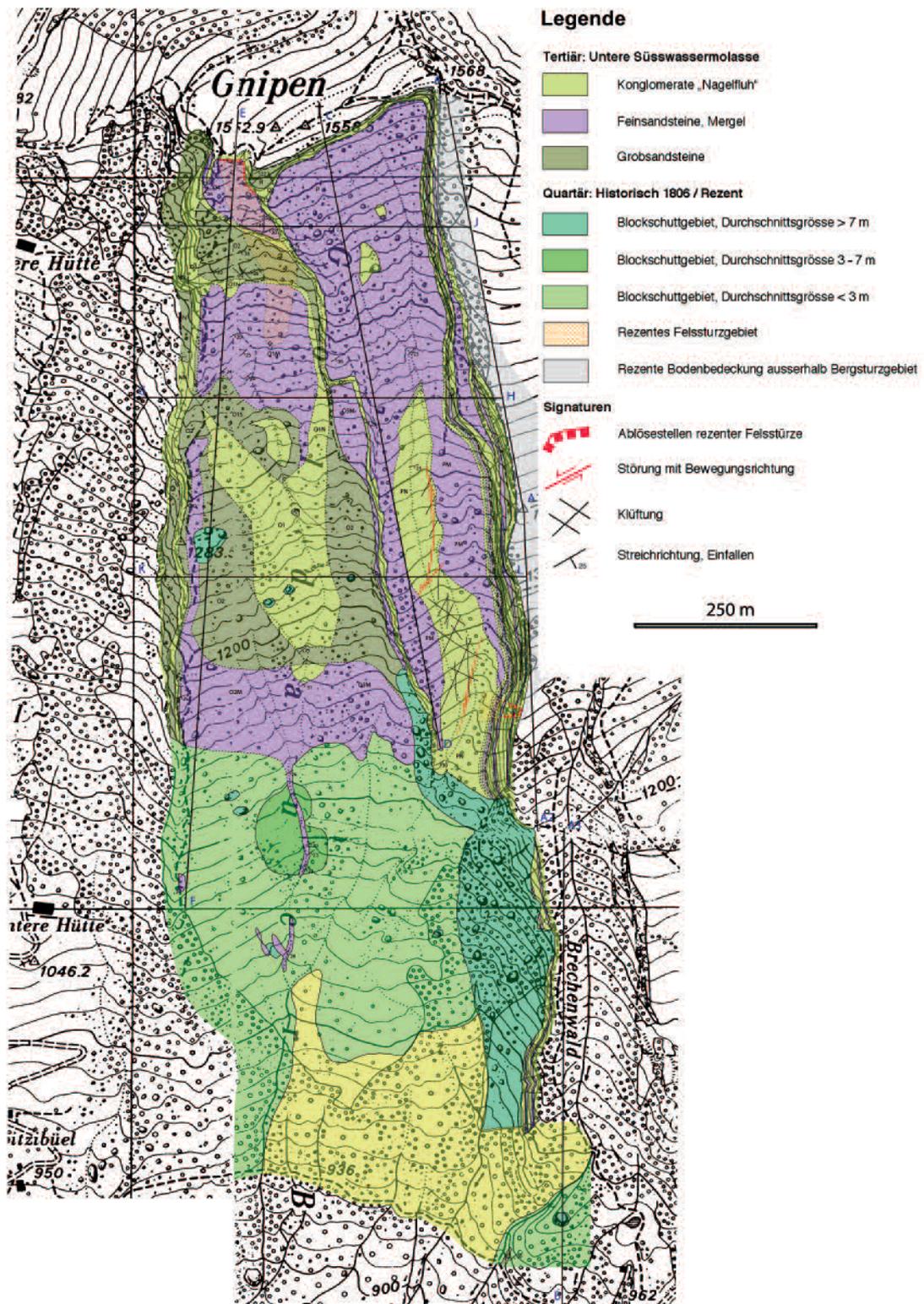


Fig. 11: Detailkarte des Abriss- und Gleitbereichs 1:5'000 des Goldauer Bergsturzes (Berner 2004).

beurteilt werden. Hilfreich war auch die Befliegung des Bergsturzareals mit einem Leichtflugzeug (Fig. 12). Dabei konnten die an den Abbruchkanten bereits kartierten Phänomene im Zusammenhang beobachtet und gleichzeitig auf dem Luftbild eingezeichnet werden.

Fig. 13 zeigt beispielhaft die risikorelevanten Prozesse des Topplings, des Rutschens und Stürzens, sowie des Kriechens bzw. Fließens im Bereich des Gnipen - Rossberg - Grates. Noch während der Kartierarbeiten erfolgte dabei ein kleinerer, etwa 5'000 m³ Material umfassender Felssturz kurz unterhalb und westlich des Gnipen - Gipfelkreuzes (Fig. 14).

Schliesslich erfolgte im August 2005 nach langen und ergiebigen Regenfällen eine ca. 200'000 m³ umfassende Rutschung bei Gribtsch

(siehe Thuro et al. 2006), deren Schuttmassen durch ihren grossen Wasserreichtum im unteren Teil in einen Schuttstrom übergingen. Diese immer wieder auftretenden, kleineren Ereignisse zeugen von der andauernden Hangbewegungsaktivität am Rossberg.

Eine Gefahr durch Ablösung der östlichen Abbruchwand in einem grösseren Ereignis scheint momentan jedoch nicht gegeben. Somit verbleiben Goldau und Umgebung im Bereich des Restrisikos, also der Gefährdung mit einer sehr geringen Eintretenswahrscheinlichkeit. Es ist dabei davon auszugehen, dass eine Erhöhung der Gefährdung mit einer Erhöhung der Hangbewegungsaktivität einhergeht und sich daher so frühzeitig ankündigt, dass bereits in einem sehr frühen Stadium Überwachungsmassnahmen eingeleitet werden können.



Fig. 12: Luftansicht einiger aktueller und potentieller Ereignisse mit hohem Gefahrenpotential in der Abrissnische des Goldauer Bergsturzes (Luftbild: Sturzenegger).



Fig. 13: Darstellung aller risikorelevanten Prozesse im Gratbereich. Geschwungene Pfeile: Toppling (starke Intensität). Gestrichelte Pfeile: Kriechen, Gleiten und Stürzen von Festgestein und einzelnen Blöcken (mittlere Intensität). Ausgezogene Pfeile: Langsames Abgleiten von Oberboden/Lockermaterial auf Mergelschicht (schwache bis mittlere Intensität). Am rechten unteren Bildrand ist dieser Prozess in fortgeschrittenem Stadium zu sehen.



Fig. 14: Felssturz vom 15. Oktober 2002 von der Westseite des Gnipen mit etwa 5'000 m³ Material (Aufnahme Mai 2003). Östlich (rechts) anschliessend ist noch ein Teil des Rossberggrats mit der Abrisskante und Gleitfläche des Bergsturzes von 1806 zu sehen.

Dank

Wir bedanken uns bei Daniel Bollinger für die Unterstützung bei der Gefahrenkartierung im Gelände und zahlreichen fruchtbaren Diskussionen. Simon Löw, Professur für Ingenieurgeologie der ETH Zürich, unterstützte das Projekt finanziell und ideell in den Jahren 2002-2004 - herzlichen Dank dafür!

Literatur

- Berner, Ch. 2004: Der Bergsturz von Goldau. Geologie, Ausbreitung und Dynamik des grössten historischen Bergsturzes der Schweiz. Diplomarbeit und Diplomkartierung, ETH Zürich, unveröffentlicht, 105 S.
- 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., Schweizerbart, Stuttgart, 15-26.
- Eberhardt, E., Thuro, K. & Luginbuehl, M. 2005: Slope instability mechanisms in dipping interbedded conglomerates and weathered marls - the 1999 Ruffi landslide, Switzerland. Engineering Geology. 77, 35-56.
- Einsele, G., Heitfeld, K.-H., Lempp, C. & Schelelig, K. 1985: Auflockerung und Verwitterung in der Ingenieurgeologie: Übersicht, Feldansprache, Klassifikation (Verwitterungsprofile). In: Heitfeld, K. H. (Hrsg.): Ingenieurgeologische Probleme im Grenzbereich zwischen Locker- und Festgesteinen. Springer-Verlag, Berlin, 2-23.
- Eisbacher, G. H. & Clague, J. J. 1984: Destructive Mass Movements in High Mountains: Hazard and Mitigation. Geological Survey of Canada, Ottawa, 230 S.
- Hantke, R. 2006: Geologischer Atlas der Schweiz, 1:25'000, Blatt 1151, Rigi (Atlasblatt 116). Karte und Erläuterungen, 80 S. Bundesamt für Landestopografie. Bern.
- Heim, A. 1932: Bergsturz und Menschenleben. Vjschr. d. Naturforsch. Ges. Zürich, Fretz und Wasmuth, Zürich. 218 S.
- Keller, B. 2000: Fazies der Molasse anhand eines Querschnitts durch das zentrale Schweizer Mittelland. - Jber. Mitt. oberhein. geol. Ver., N. F. 82, 55-92.
- Kopp, J. 1936: Die Bergstürze des Rossbergs. Vjschr. d. Naturforsch. Ges. Zürich, Fretz und Wasmuth, Zürich. 218 S.
- Lehmann, O. 1942: Über Böschungswinkel und Böschungshöhen im Hinblick auf den Bergsturz von Goldau. Eclogae geol. Helv. 35, 55-65.
- Meyer, J. H. 1806: Der Bergfall bey Goldau im Canton Schwyz, am Abend des zweyten Herbstmonats 1806. Orell Füssli & Co., Zürich. 19 S.
- Ott, G. 1920: Goldau und der Bergsturz vom Rossberg. Selbstverlag, Goldau. 128 S.
- Ott, G. 1905: Kurze Beschreibung des Bergsturzes vom Rossberg bei Goldau (Kt. Schwyz). Schill, Luzern. 112 S.
- Riedl, E. 1877: Ueber Bergsturz und Rutschung. Neues Jahrb. Min., Geol. und Paläont., Schweizerbart, Stuttgart, 914-924.
- RocScience 2006: Slide 5.0 Slope Stability & Groundwater Software, User Manual. RocScience Inc., Toronto.
- Thuro, K., Kuroschi, Rick, Beat & Bollinger, Daniel (2006): Die Bergstürze am Rossberg und die Massenbewegungen in Folge des Unwetters vom August 2005 - ein Exkursionsführer. Bull. angew. Geol. 11(2), 45-56.
- 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. Orell Füssli & Co., Zürich. 390 S.
- Zehnder, J. N. 1988: Der Goldauer Bergsturz. Seine Zeit und sein Niederschlag. 3. Aufl., Verlag Stiftung Bergsturz-museum, Goldau. 272 S.