

Zeitschrift: Nidwaldner Kalender
Herausgeber: Nidwaldner Kalender
Band: 147 (2006)

Artikel: Der Berg macht, was er will
Autor: Trüssel, Martin
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1033747>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. 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. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

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. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

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. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 23.07.2025

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

Der Berg macht, was er will

Vor drei Jahren blockierten massive Wassereinbrüche die Bauarbeiten im Steilrampen-Bahntunnel nach Engelberg über Monate – und niemand wusste, wo das Wasser herkam. Die Höhlenforscher von Unterwalden sind diesem Rätsel nachgegangen und präsentieren inzwischen erste Antworten. Das Protokoll einer abenteuerlichen Suche.

Von Martin Trüssel

Die Karst- und Höhlenforscherinnen und -forscher sind in Obwalden und Nidwalden seit Jahrzehnten tätig. Sie kennen die Unterwelt mit all ihren faszinierenden und noch ungeklärten Eigenheiten. Sie beobachten und untersuchen aber auch die Wassereinzugsgebiete und Wasseraustritte in den verschiedenen Karstgebieten. Ausgesprochen komplexe und zugleich hoch entwickelte unterirdische Karstwasserwege befinden sich östlich des Engelbergertals. Das unterstreichen auch die ersten Ergebnisse (siehe Tab. 1) eines gross angelegten Wassermarkierungsversuchs der Höhlenforscher-Gemeinschaft Unterwalden (HGU) im Rahmen einer ETH-Diplomarbeit, der im Juli 2005 ausgeführt wurde und dessen Ergebnisse im Frühjahr 2006 vollumfänglich vorliegen werden.

Die Karst- und Höhlenforscher erwarteten beim Bau des Steilrampentunnels der Zentralbahn von Grafenort nach Engelberg Karstphänomene. Da in diesem Gebiet eine grosse Sackungsmasse und weiter südlich zusätzlich Bergsturzmaterial das anstehende (Karst-)Gestein bedecken, sind jedoch von der Erdoberfläche her unmöglich die unterirdischen Wasserwege und Höhlen zu erreichen. Deshalb wurden im Zuge der längst angelaufenen Vortriebsarbeiten mit den Tunnelbauern Kontakte geknüpft, um beim Antreffen von allfälligen Hohlräumen sofort einen Augenschein vornehmen zu können.

Erfahrene Höhlenforscherinnen und -forscher sind in der Lage, anhand von Ablagerungsspuren und der Morphologie (Formgebung) eines Höhlenabschnittes sofort erste Aussagen über die

Im Eingangsraum der Tunnelklufthöhle, die im Steilrampentunnel der Zentralbahn von Grafenort nach Engelberg zu schweren Wassereinbrüchen und Murgängen geführt hat. (Bilder: Martin Trüssel)



Tabelle 1

Wassermarkierungsversuch Griessen/Bannalp 2005 der Höhlenforscher-Gemeinschaft Unterwalden (HGU) in Zusammenarbeit mit einer von der HGU initiierten ETH-Diplomarbeit. Erste Ergebnisse und Erkenntnisse, die im Rahmen des (aus Unwettergründen abgesagten) 2. Unterwaldner Karst- und Höhlentages erarbeitet wurden (umfassende Auswertungen liegen im Frühjahr 2006 vor):

Was wurde bei den ersten Untersuchungen bereits herausgefunden?

- Die Fliessgeschwindigkeiten der unterirdischen Karstwasserwege sind im Vergleich zu bekannten Werten in der Schweiz sehr schnell bzw. praktisch unerreicht (Eingabeort Griessbänder – Austritt Mülibrunnen in Engelberg in 9,5 h: 700 m/h maximale Abstandsgeschwindigkeit bei optimalen Eingabebedingungen).
- Das in den beiden Karstgebieten Griessen und Bannalp versickernde Wasser legt weite Wege zurück (tiefe Zirkulation).
- Der Bannalp-Karst wird zu einem grossen Teil durch die Chaltibachquelle, der Griessen-Karst durch die in Engelberg liegenden Talquellen entwässert. In der Zentralbahn-Steilrampe ist Wasser aus beiden Gebieten ausgetreten. Zumindest bei Hochwasser sind die beiden Karstwasser-Abflusssysteme gekoppelt.
- Bei Hochwasser in den Karstsystemen verteilt sich der Farbstoff nur sehr gering, d.h. er bleibt nirgends liegen (keine grossen unterirdischen Seen, sondern eher röhrenartige Höhlengänge und Spaltensysteme).
- Die während dem Versuch gemachten Abflussmessungen bei den Karstquellen zeigen, dass die Talquellen im Raum Engelberg (Mülibrunnen, Sieben Quellen, Vorder Horbis, Löcherflue) ein Überlaufsystem bilden (d.h. wenn z.B. die Schüttungskapazität der Sieben Quellen überschritten ist, springt die Vorder Horbis-Quelle an; nimmt der Wasseranfall weiter zu, tritt auch in der Löcherflue Wasser aus).
- Das bei verschiedenen Eingabestellen im Griessen-Karst versickernde Wasser scheint sich nach gewisser Fliessstrecke zu vereinen. Vor dem Austritt teilt es sich wieder auf die verschiedenen Überlaufquellen über dem Talboden auf.

Warum sind Wassermarkierungsversuche nötig?

Häufig sind die Fliesswege des unterirdisch zirkulierenden Wassers nicht zugänglich. Wassermarkierungsversuche sind deshalb eine bewährte Methode für folgende Abklärungen:

- Abgrenzung von Einzugsgebieten
- Herkunft des Wassers (aus Quellen/im Grundwasser)
- Erkundung der Zirkulation (Fliesszeit, Speichervolumen, Alter des Wassers, Fliesswege)
- Auswirkungen auf Grundwasservorkommen durch Bauvorhaben oder Schadstoffeinträge
- Klärung von hydrologischen Fragen bei Bauprojekten, konkret Neubau Eisenbahntunnel-Steilrampe nach Engelberg

längst vergangenen, aber auch aktuellen Verhältnisse einer Höhle zu machen. Dazu gehören beispielsweise Aussagen, ob der betreffende Höhlenabschnitt trocken bleibt oder überflutet wird und wenn ja, in welcher Form (frei fliessendes oder aufgestautes Wasser). Karstwasserwege haben ihre eigenen Gesetzmässigkeiten, z.B. rasches Ansteigen des Karstwasserspiegels, massive Wassereinbrüche bei Regen oder Schneeschmelze, punktuell grosse Wassermengen beim Anschneiden von Höhlengängen oder -spalten.

Da solche Kenntnisse für den Tunnelbau von Bedeutung sind, wurde bei Bedarf eine Zusammenarbeit vereinbart. Dass diese nur ein halbes Jahr später bereits aktuell werden sollte, ist dem ersten Wassereinbruch im August 2002 bei Tunnelmeter 1700 (ab Nordportal Grafenort) zuzuschreiben. Aus vier Vortriebsbohrlöchern schoss das Wasser bis zu 22 m weit in den bereits ausgebrochenen Tunnelbereich. Eine geologische Beurteilung zeigt, dass hier massiv unter Druck stehendes Wasser führendes Karstgestein (Quintner Kalk) erreicht wurde. Die Tunnelarbeiten mussten längere Zeit eingestellt bleiben. Die Abklärungen von Ursache und Auswirkung liefen nun auf Hochtouren. Die Karst- und Höhlenforscher, die mit einem Geologiebüro die Arbeitsgemeinschaft Arge Magma AG/HGU bildeten erhielten ein Mandat, die Karsthydrologie von Grafenort bis Engelberg in einem Monitoring zu erfassen, um daraus für die weiteren Tunnelbauarbeiten Empfehlungen und Massnahmen abzuleiten.

Diese Tätigkeit konnte die Arge Magma AG/HGU bis zum heutigen Zeitpunkt fortsetzen. Erst nach dem Absinken des Karstwassers unter das Tunnelniveau, was zum Versiegen des Chaltibachs bei Obermatt (nicht zu verwechseln mit dem Chaltibach bei Grafenort) mit seinen so genannten Bergwaldquellen Nord und Süd führte, konnte der Vortrieb wieder unter entsprechenden Vorkehrungen fortgesetzt werden. Besonders heikel wurde die Situation von den Karst- und Höhlenforschern eingeschätzt, wenn die Hochlagen-Schneeschmelze im Frühling/Frühsummer zum Wirken kam und zu einem noch nicht abschätzbaren, aber vermutlich bis 200 m über das Tunnelniveau steigenden Karstwasserspiegel führen könnte. Tatsächlich ereignete sich am 28. Mai 2003 bei Tunnelmeter 1954 ein Niederbruch, bei dem grosse Wassermassen und mehrere Murgänge austraten (siehe Tab. 2). Nach dem Abflauen der Wassermassen kam eine Höhle zum Vorschein. Die spätere Vermessung durch die HGU ergab eine Länge von 134,5 m und einen Höchstpunkt, der 53 m über dem Tunnelniveau lag (Stand: 19. Oktober 2003). Nachfolgend sei diese Höhle und ihre Forschungsgeschichte beschrieben. Die Tunnelklufthöhle stellt noch heute im Jahr 2005 die Tunnelbauer vor besondere geotechnische Herausforderungen. Zudem werden sich die Entscheidungsträger erneut mit weiteren zeitlichen Verzögerungen und finanziellen Auswirkungen auseinanderzusetzen haben.

Nach 1,7 km im Tunnel-
Nordvortrieb wurde die
Quintner-Kalk-Zone erreicht.
Das Wasser schoss aus vier
Bohrlöchern bis 22 m weit
in den Tunnel.



Die Sieben Quellen bei Engelberg unmittelbar nach dem Quellaustritt am 11. Juni 2003 bei Hochlagen-Schneeschmelze. Sie sind die grössten Karstquellen der Region. Das Einzugsgebiet ist der Griessenkarst, aus dem auch ein Teil des Niederschlags- und Schmelzwassers Richtung Zentralbahn-Steilrampentunnel Grafenort-Engelberg unterirdisch zufliesst.



Höhlenbeschreibung

Die Tunnelklufthöhle befindet sich knapp 2 km im Bergesinnern ab dem Tunnelportal Nord (Grafenort). Der neu entstandene Höhleneingang liegt



255 m unter der Erdoberfläche in einem weit reichenden Sackungsgebiet (Sackung Schwand). Die gesamte Höhle hat sich entlang einer markanten Störung entwickelt, die schräg bergaufwärts verläuft. Der grossvolumige Eingangsraum ist im Streichen (horizontal), der anschliessende Hauptteil der Höhle jedoch im Fallen der Störung angelegt. Erst der letzte Gangabschnitt kurz vor dem Höhlenende ist wieder horizontal angelegt. Danach bildet ein Blockversturz 53 Höhenmeter über dem Eisenbahntunnel ein abruptes Ende. Bevor durch den hohen Wasserdruck – bedingt durch die intensive Schneeschmelze, die zu einer weit über 100 m hohen Wassersäule über dem Tunnel im Bereich der Einbruchsstelle Tm 1954 geführt haben dürfte – gegen tausend Kubikmeter Material bei zwei Wassereinbruchseignissen der Störung entlang ausgeräumt worden sind, waren mit hoher Wahrscheinlichkeit nur kopfgrosse bis maximal schulterbreite phreatische (unter voller Wasserfüllung befindliche) Gangröhren vorhanden. Sie dürften grösstenteils mit Sediment-

Der ausgetrocknete Chaltibach bei Obermatt zeitgleich fotografiert mit den Sieben Quellen (siehe Foto 3). Er ist trocken gefallen, nachdem im Zentralbahn-Steilrampentunnel die versackte Quintner-Kalk-Karstzone angebohrt wurde.

Bei Tunnelmeter 1954 (ab Tunnel-Nordportal) ist die Tunneldecke seitlich eingebrochen. Nachdem die eindringenden Wassermassen abgeklungen sind, wird eine erste Erkundung vorgenommen. Es zeigt sich, dass mit weiteren Murgängen aus der Tunnelklufthöhle zu rechnen ist.

ablagerungen verfüllt gewesen sein. Die Zerschierung dieser Ablagerungen ist ein Indiz für die erst nach der schwachen Verkarstung erfolgten Bewegung(en) entlang der erwähnten geologischen Störzone. Erst nach dem plötzlichen Ausräumen der Kluft Anfang Juni 2003 ist somit eine für Menschen begehbare Höhle entstanden. Es darf als ausserordentliches Ereignis bezeichnet werden, dass die weitere, sprunghafte Entwicklung der Höhle in den nächsten Wochen beobachtet und dokumentiert werden konnte:

30. Juni 2003

Am 30. Juni schien ein erster Augenschein riskierbar zu sein. Der Hohlraum, der sich leicht seitlich und direkt über der Tunneldecke gebildet hatte, war rund 12 m lang, 8 m breit und bis zu 6 m hoch. Der Übergang in den mit knapp 40° Steigung angelegte kastenförmige Gang war bedingt durch die starke Schüttung von tiefen Erosionseinschnitten geprägt. Es fiel auf, dass der an sich kompakt wirkende Boden bei bereits kleiner Beanspruchung in grössere und kleinere Bestandteile zerfiel und ein erhebliches Verschüttungspotenzial in sich barg. Die ersten 20 m wurden trotzdem erkundet. Dabei fielen die grossflächigen, gestriemten Gleitflächen vor allem links, aber auch rechts an den Gangwänden auf. Die Gangfortsetzung war damals rund 3 m breit und maximal 2 m hoch. Im Scheinwerferlicht konnte durch die Wassergischt eine weitere Verengung festgestellt werden. Helles «Gesteinsgriess» stach dabei besonders im Licht hervor.

13. August 2003

Sechs Wochen später konnte die Höhle nach weiteren murgangartigen Wassereinbruchereignissen erneut besucht werden. Der Karstwasserspiegel war inzwischen durch die dauernde «künstliche» Entwässerung durch den Tunnel und bedingt durch eine Trockenperiode so weit gesunken, dass die zuvor permanente Schüttung in der



Höhle versiegte. In der Zwischenzeit wurde der Boden des Eingangsraumes um mindestens 1 m tiefer erodiert. Beeindruckend war die enorme Raumvergrösserung im «aufsteigenden» Gang. Wo am 30. Juni ein 3 m breiter und knapp 2 m hoher Gang gewesen war, präsentierte sich am 13. August ein Raum (Verzweigungshalle) von 16 m Länge, 8 m Breite und ca. 7 m Höhe, was einem Volumen von mindestens 800 m³ entspricht. Auf eindruckliche Weise wurde einem vor Augen geführt, wie die Ausräumung der Störung mit bis über 2 m mächtigem Kakirit (durch Gebirgsbewegung zerriebenes Gestein) und nachbrechenden Felslagen, bedingt durch die Wassereinbrüche, sehr schnell voranschreitet.

An der Nordwestwand der Verzweigungshalle befanden sich zwei kleinere Abzweigungen. Beide waren ebenfalls auf der Störung angelegt. Die eine führte abwärts, war schulterbreit und schien nach zirka 4 m mit Geröll verschüttet zu sein. Das Deckenmaterial erwies sich als so brüchig, dass keine Begehung möglich war. Die zweite Abzweigung hatte sich aufwärts entwickelt, verengte sich aber bereits nach 3 m bis zu einer kopfgrossen Röhre. In der Decke hingen angerissene, bis

Seit der ersten Besichtigung vor sechs Wochen hat sich im tunnelnahen Bereich die Tunnelklufthöhle durch starke Erosion bei Wasser-einbrüchen massiv geweitet. Das Gestein ist stark zerrüttet.



80 cm mächtige Felsrippen. Im Gegensatz zur übrigen Höhle waren hier die Wände und der Boden mit nicht weggeschwemmtem Kies und griessigem Material bis 60 cm hoch bedeckt. Dieser Bereich scheint somit nicht vom Wasser durchflossen worden zu sein. Das Felsmaterial ist vielmehr auf dem griessigen Horizont abgeglitten und nachgebrochen.

Am oberen Ende der Verzweigungshalle wurde das Ende der rückwärts schreitenden Bodenerosion angetroffen. Hier galt es einen Aufschwung

über brüchiges Material zu überwinden. Der gesamte Felsaufschwung von 4 m Höhe war instabil. Oberhalb des Aufschwungs präsentierte sich ein flachelliptisches Gangprofil mit 2,5 bis 3 m Breite und durchschnittlich 2 m Höhe. Das ganze «Ganggefüge» dieses Höhlenabschnitts von rund 30 m Länge wirkte wesentlich kompakter. Ein geradezu bilderbuchhaftes Ellipsenprofil zeigte sich im kurzen Horizontalteil unmittelbar vor dem Höhlenende. In der Höhlenforschung sind solche Profile bestens bekannt und lassen



Kurz vor dem Ende des begehbaren Höhlenteils hat sich 50 m über dem Tunnel-niveau ein eindruckliches Ellipsenprofil gebildet.

sich als phreatische, also unter voller Wasserfüllung entstandene Gangsysteme einordnen, die unter herkömmlichen Bedingungen über längere Zeiträume entstehen.

Hier in der Tunnelklufthöhle sind jedoch die Wände nicht abgerundet und auch nicht beispielsweise von Fliessfacetten modelliert, vielmehr sind die Wandoberflächen trotz Ellipsenprofil kantig und rau. Nur entlang der Decke lässt sich abschnittsweise eine geschliffene Deckeneinkerbung oder sogar Röhre (ehemalige Initialröhre) erkennen. Dies lässt die Interpretation zu, dass die klein bemessene Deckenröhre bereits seit langem bestanden hat, die begehbare Ellipse aber in einem einmaligen Ereignis am 4. und 5. Juni 2003 entstand – und dies auf einer Länge von über 100 m!

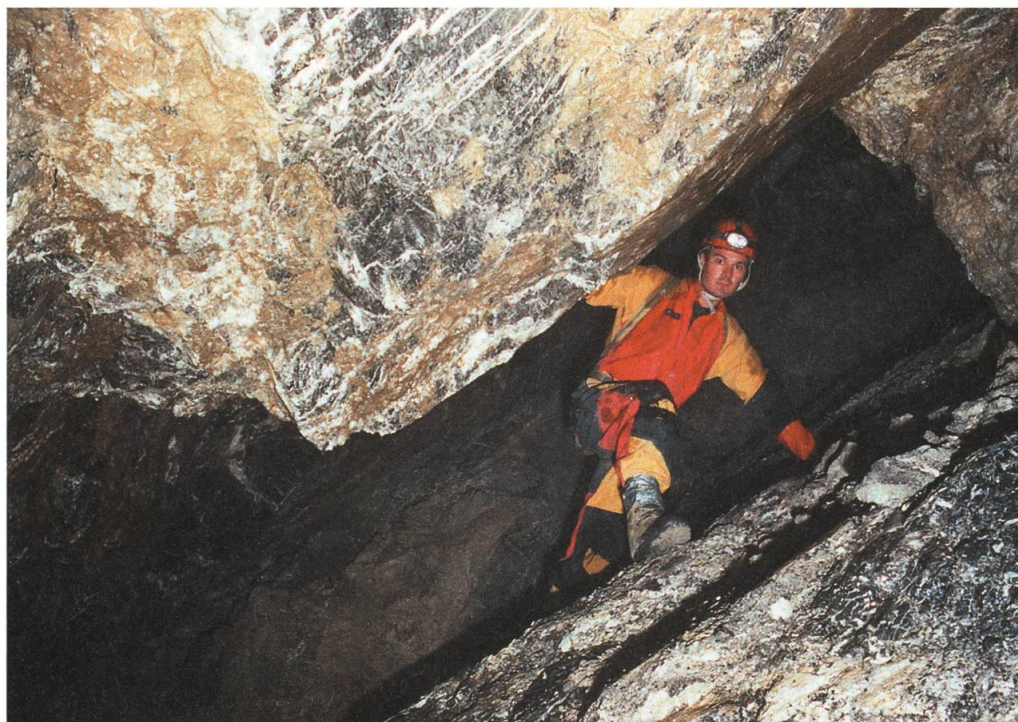
Das Höhlenende besteht aus mehreren verkeilten Felsblöcken, die in den hier 2,5 m breiten und nur etwas mehr als 1 m hohen Gangquerschnitt gerutscht sind. Aufgrund der Blockgrössen darf angenommen werden, dass sich der Gang dahinter wieder vergrössert.

5. September 2003

Seit der speläologischen (höhlenforscherischen) Erkundung samt fotodokumentarischen und messtechnischen Aufnahmen am 13. August 2003 wurde die Höhle nach dem Wassereintrich von Ende August erneut besichtigt. Beachtens-

werte morphologische Veränderungen wurden neben kleineren Erosionsereignissen an zwei verschiedenen Stellen beobachtet: Direkt in der Verzweigungshalle hat sich entlang der Störung im Übergang von der Wand zur Decke einige Meter über Boden eine neue Gangabzweigung geöffnet. Das für nur kurze Zeit eindringende Wasser leitete dort eine rückwärtige Erosion ein. Die Eingangsöffnung ist bereits rund 2 m breit und 1 m hoch. Die Fortsetzung des Ganges ist zurzeit kopfgross. Im Gegensatz zu diesem neuen erosiven Ansatz ist die gegenüberliegende, stark erosionsgefährdete Kluftabzweigung inaktiv geblieben.

Der ab der Verzweigungshalle in Richtung Tunnelniveau abwärts führende Gangquerschnitt hat sich mindestens verdoppelt. Zudem wurde auf dem Gangboden, der bei der letzten Begehung mit kantigem Geröll bedeckt war, bei nachlassender Strömung eine wenige Zentimeter dicke Sandschicht abgelagert. Auf der Oberfläche der Sandschicht zeigen flache, lobenförmige Strömungsrippel, dass die Strömung im Nebengang von unten nach oben (!) bis zum Hauptgang und von dort in freiem Fliessen zum Tunnel hinunter erfolgte. Die aufwärts führende Strömung war offenbar so stark, dass eine Ausräumung des anstehenden zerrütteten Felsens möglich war. Der Wasserüberlauf in die Abzweigungshalle liegt 30 Höhenmeter über dem Tunnelniveau.



In den Seitengängen der Tunnelklufthöhle sind die Deckenpartien stark einsturzgefährdet. Das griessige Feinmaterial, das bis zu 1 m hoch vorhanden war, ist beim letzten Wassereintrich ausgewaschen worden.

Diese Beobachtungen lassen folgende Beurteilung zu: Unter vadosen (bachähnlichen) Karst- bzw. Kluftwasserbedingungen führt der Hauptgang vom höchsten Punkt ab lokalem Blockversturz (53 m über Tunnelniveau) nur einen Teil der beobachteten Wassermengen heran. Die neue Gangbildung ab der Verzweigungshalle könnte ein Hinweis darauf sein, dass sich dort eine Abkürzung neben dem gekrümmten Hauptgang mit verblocktem Ende aufbaut, sei dies, weil die Erosionsprozesse erst in Gang gesetzt wurden und/oder weil der 25 m höher liegende Blockversturz einen lokalen Rückstau und somit Druckaufbau auf die umliegende, ebenfalls geschwächte und erosionsanfällige Zone verursacht. Bei künftigen Niederschlagsereignissen kann erneut ein mittlerer bis grosser Murgang ausgelöst werden. Es ist auch mit grossem Blockwerkeintrag zu rechnen (insbesondere bei einem allfälligen Einsturz der Verzweigungshalle).

Das aufsteigende Wasser im Kluftgang abwärts ab Verzweigungshalle ist ein Indiz dafür, dass sich die Wasser führenden Hauptklüfte sehr rasch füllen können. Es bildet sich mindestens bis 30 m über dem Tunnel (bei der 2. Wassereinbruchsstelle Tm 1955) ein Aufstau. Die Erosionsanfälligkeit ist durch die aktuellen Beobachtungen belegt, die möglichen Ausmasse sind aber nicht abschätzbar.

19. Oktober 2003

Seit Anfang September ist kein schwerer Wassereinbruch mehr erfolgt. Dementsprechend sind auch weitere erosive Vorgänge ausgeblieben. Nachgebrochenes Deckenmaterial lässt sich ebenfalls keines feststellen.

Anfang Januar 2004

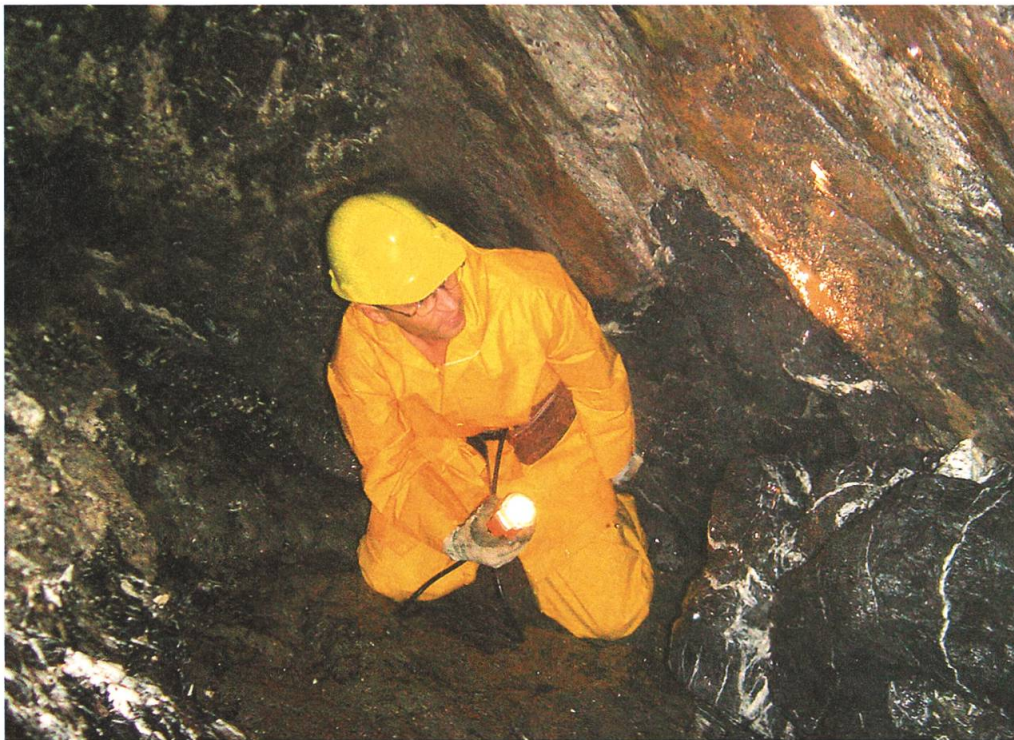
Erstellung eines massiven Betongewölbes in der gefährdeten Kluftzone sowie Verfüllung des Höhleneingangsraumes mit Rundkies. Bis zur definitiven Erstellung eines Druckgewölbes soll durch mehrere Röhren das Wasser aus der Höhle in die Tunnelrigole abfliessen können (bis zu 1000 l/s).

Frühjahr und Sommer 2004

Nachdem in den Wintermonaten bei tiefem Karstwasserstand (der unter dem Tunnelniveau liegt) kein Ausfluss erfolgte, floss ab der Gebirgsschneesmelze 2004 wie geplant zeitweise Wasser aus den Röhren (allerdings zeitweise unter Druck). Ende der Schneesmelze und im Laufe des Sommers zeigte sich nach Gewittern ein neues, auffälliges Schüttungsverhalten: Unmittelbar bei den niederschlagsbedingten Wassereinbrüchen in der Tunnelklufthöhle war in den Wasserröhren ein zunehmend markanter Schüttungsabfall zu beobachten, was ein Wasserrückstau in der Höhle bewirkte. Ein starker Schüttungsan-

Nach den schweren Unwettern am 22. August 2005 hat der druckhaltige Ausbau des Gewölbes bei der Tunnelklufthöhle nicht Stand gehalten. Beim nun bereits dritten Wassereinbruch ergiesst sich anfänglich schätzungsweise 700 l/s Wasser in den Tunnel.





Der Geologe sowie Karst- und Höhlenforscher Thomas Gubler besichtigt am 27. September 2005 zum ersten Mal die neue Wassereinbruchsstelle. Direkt über dem Tunnelgewölbe hat sich ein neuer Höhlengang gebildet, durch den der Zugang in die erst vor zwei Jahren entstandene Tunnelklufthöhle wieder möglich ist.

stieg erfolgte in der Regel erst einige Tage später. Dieses Schüttungsverhalten ist Ausdruck der erneuten erheblichen Erosionsvorgänge oberhalb der Tunnelverbauung und Verschlemmung der Abflussröhren. Die Analyse der einzelnen vom üblichen Verhalten abweichenden Schüttungsergebnisse lässt vermuten, dass die «Verzweigungshalle» teilweise eingestürzt ist.

Winter 2005

Es wird ein druckhaltiges Gewölbe im Bereich der rund 300 m langen versackten Karstzone erstellt, sodass ab Frühjahr 2005 das Karstwasser wieder die ursprünglichen Wege durch die Sackungsmasse nehmen sollte und damit auch die Tunnelklufthöhle wieder unter volle Wasserfüllung fällt (ausser in den Wintermonaten bei tief liegendem Karstwasserspiegel). Damit würde die dramatische weitere innere Erosion des zerrütteten Gesteins unterdrückt. Die Bauarbeiten kommen aber nicht genügend schnell voran. Deshalb müssen diese Arbeiten nach dem ersten Schneeschmelzeereignis verbunden mit einem Karstwasseranstieg Ende März abgebrochen werden. Die Tunnelklufthöhle ist davon aber nicht direkt betroffen, da sie sich im bereits druckhaltig ausgebauten Tunnelabschnitt befindet.

Frühjahr 2005

Damit der Tunnelabschnitt in der Quintnerkalkzone, der noch nicht fertig ausgebaut ist, bei den generell zu erwartenden Sommer-Starkniederschlägen nicht durch den rasch ansteigenden Karstwasserspiegel und den damit aufbauenden Wasserdruck beschädigt wird, werden zahlreiche Entlastungsbohrungen vorgenommen.

22. August 2005

Trotz druckhaltigem, 80 cm dickem Spritzbeton-Gewölbe, das auf eine Wassersäule von mindestens 200 m ausgelegt ist, ereignet sich erneut bei der Tunnelklufthöhle ein Niederbruch. Erneut fließen grosse Wassermassen (anfänglich mind. 700 l/s), begleitet von Geröll und Blockwerk, dem über 1,9 km entfernten Nordportal entgegen. Ein erster Augenschein zeigt, dass das Tunnelgewölbe am stärksten im nördlichen Teil der versackten Karstzone als Folge der anhaltenden unwetterbegleitenden Starkniederschläge deformiert wurde. Die genauen Ursachen und die räumliche Ausdehnung («nur» lokal oder aber grössere Teile der Sackung) sowie die allenfalls weit reichenden Konsequenzen müssen noch detailliert untersucht bzw. eingeschätzt werden (Stand: 6. September 2005).

Geologie

Die Höhle ist im Quintner Kalk angelegt, der zwischen wasserunlöslichen Formationen eingekeilt ist. Sie befindet sich mit grosser Wahrscheinlichkeit bereits in einem versackten Karst (Sackungsmasse «Schwand») bzw. auf dessen Gleithorizont. Diese Beurteilung von Thomas Gubler, Geologiebüro Magma AG und Mitglied der Höhlenforscher-Gemeinschaft Unterwalden (HGU), gründet auf einer Erkundungstour vom 5. September 2003 in der Tunnelklufthöhle mit folgenden geologischen Beobachtungen und Folgerungen:

Verlauf der Störung:

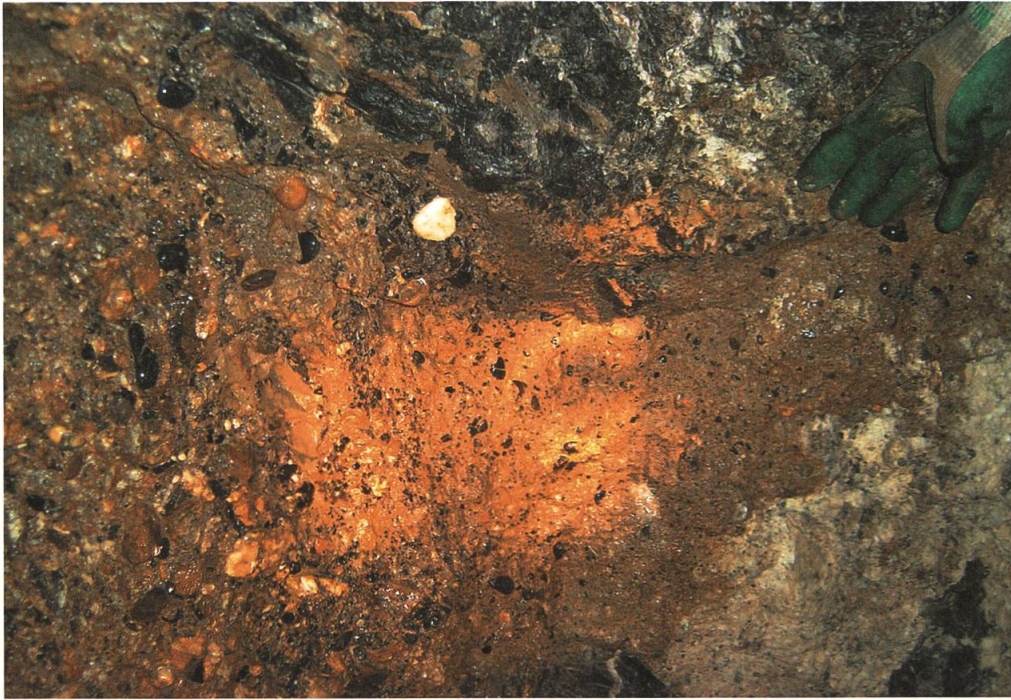
Der aufsteigende Höhlenhauptgang ist auf einer ca. 235° (Fallazimut) / 37° (Fallwinkel) verlaufenden Störfläche im Quintner Kalk angelegt. Die Störung (145° Streichrichtung) streicht in spitzem Winkel von 11° zur Tunnelachse (Streichen ca. 156°) und schneidet diese bei ca. Tm 1980. Das heisst, nördlich Tm 1980 liegt der Tunnel unter der Störung, wobei der Abstand zwischen Tunnel und Störung in nördlicher Richtung zunimmt. Südlich von Tm 1980 liegt der Tunnel talseits der Störung bzw. Gleitfläche.

Kurzbeschreibung der Störzone:

Die Störzone ist zwischen 0,5 m und 2 m dick und besteht aus zerbrochenem und zermahltem Kalkgestein (Kakirit). Beim Kakirit handelt es sich um einen sehr hart gelagerten, aber kohäsionslosen sandigen Silt (Gesteinsmehl), in dem reichlich bis viel eckiger Kies und Steine schwimmen (matrixgestütztes Sediment). Schichtweise – so vor allem an der Basis, wo nur kleinere Bewegungen stattgefunden haben – dominiert die Kiesfraktion (korngestütztes Sediment), wobei auch viele Steine und vereinzelt Blöcke bis 0,5 m Durchmesser auftreten. Die eigentliche Störfläche ist eine messerscharfe Bewegungsfläche mitten durch den Kakirit, entlang welcher die in die feinkörnige Matrix eingelagerten Kieskomponenten glatt durchgetrennt, poliert und gestriemt wurden. Neben der Hauptscherfläche treten untergeordnete, weitere Scherflächen auf. Die Hauptscherfläche ist in frischem Zustand als spiegelblanker Rutschharnisch ausgebildet. Die Striemung (Fallrichtung 245°) verläuft parallel zum Fallazimut der Scher- resp. Gleitfläche (= Falllinie). Der Schersinn lässt sich auf der spiegelglatten, gestriemten Gleitfläche nicht ablesen, geht aber aus der Verformung der einzelnen Lockerge-



Detailansicht der Störzone, auf der die gesamte Tunnelklufthöhle angelegt ist. Die Störzone ist entstanden durch das Talwärtsgleiten der oberen Felsmasse über die untere. Das zwischen den Felsmassen liegende Gestein wurde zum Teil zu Mehl zerrieben.



Gerundete Kieselsteine kleben verbacken und zum Teil zerschert umgeben von braunem Lehm an der Höhlendecke. Solche für den Laien unscheinbaren Ablagerungen sind für die Karstspezialisten wichtige Indizien, um die geologische Geschichte und den zeitlichen Ablauf der Höhlenentstehung zu klären.

steinslinsen entlang der Störung und dem Rotationssinn einzelner, in die siltige Grundmasse eingebettete Gerölle klar hervor: Das hangende Gesteinspaket ist in der Falllinie über das untere talwärts geglitten.

Höhlensedimente in der Scherzone:

In den Kakirit der Störzone eingelagert finden sich an einigen Stellen linsenförmige Nester von braunem Lehm, z.T. mit durchwegs (auffallend) gut gerundeten Geröllen. Auch diese Ablagerungen sind zerschert. Der bräunliche Lehm wurde aufgrund seiner tonigen Beschaffenheit häufig in der Hauptscherfläche «hineingezogen» und bis zu einem dünnen Film ausgewalzt. Es handelt sich um Höhlensedimente früherer, kleiner Karstgänge, die noch auf der primären, alpin-tektonischen Scherfläche (Fuge) entstanden sind und später im Laufe der Reaktivierung und Kakiritisierung der Störfläche durch das Niedergleiten des hangenden Gebirges zerschert worden sind.

Reaktivierung einer alpin-tektonischen Scherfläche:

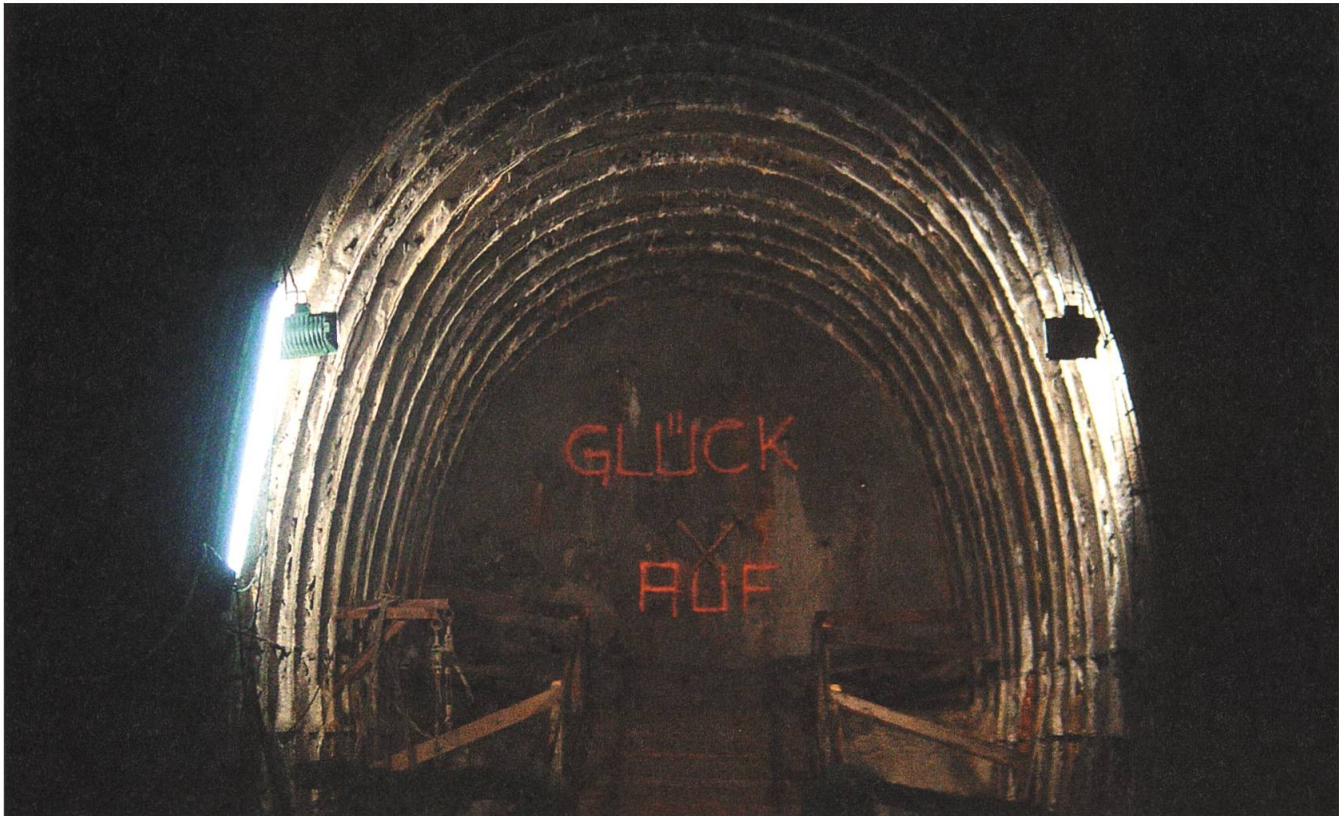
Unter und über der heutigen Störzone zeigt der Kalkfels zahlreiche mit Kalzit verheilte Scherklüfte und Scherflächen. Daraus geht klar hervor, dass die heutige Störzone zumindest im durch die Klufthöhle aufgeschlossenen Bereich dieser älteren Scherfläche folgt.

Interpretation der Störzone als Gleitfläche der grossen Sackungsmasse «Schwand»:

Obige Beobachtungen – zerscherte Höhlensedimente (die sicher pleistozänen Alters sind), sprödes Zerbrechen (Gesteinsmehl) und Abwärtsgleiten der hangenden Gesteinsmasse in der Falllinie – lassen nach unserem Dafürhalten nur einen Schluss zu: Es handelt sich um die oder eine der basalen Hauptgleitflächen der grossen Sackung von Schwand. Das heisst, der Tunnel befindet ab Tm 1980 mit Sicherheit in der Sackungsmasse, was auch die sehr schlechte Felsqualität und die mit dem geologischen Prognoseprofil nicht zu vereinbarende Schichtabfolge im weiteren Tunnelverlauf erklären würde. Allenfalls liegt schon bei Tm 1700 m am Kontakt der Palfries-Formation / Quintner Kalk eine Gleitfläche der Sackung vor, was mit der geologischen Situation bei den Bergwald-Quellen völlig übereinstimmen würde. (Ende Zitat Th. Gubler)

Morphologie

Durch die spezielle und zugleich junge Entstehungsgeschichte der Höhle im Zusammenhang mit dem Tunnelbau hat sich die Morphologie im unteren und mittleren Höhlenteil innert weniger Wochen verändert. So entstand nach einem hefti-



«Glück auf» für die Tunnelbauer anlässlich des Tunneldurchstichs Ende Oktober 2004.

gen Wassereinbruch mit Materialausräumung aus einem flachelliptischen Gang ein hallenartiger Raum (Verzweigungshalle). Die von unten nach oben rückschreitende Erosion bewirkte eine rasche Abtiefung des Gangbodens bis zum Ende der Verzweigungshalle, wobei die Eintiefung bis zu 4 m beträgt, was zu vollständig anderen Gangprofilen führte. Die pleistozänen, etwa kopfgrossen Gangröhren waren an einzelnen Stellen noch erkennbar.

Die Wassereinbrüche nach der ersten Höhlenbesichtigung bewirkten auch das Öffnen neuer Abzweigungen (Südostseite der Verzweigungshalle) sowie die Ausweitung bereits bestehender bis zu doppelter Grösse (abwärts führende Abzweigung ab Verzweigungshalle). Alle haben sich entlang der gleichen Störung gebildet. Bemerkenswert sind die teilweise perfekt ausgebildeten ellipsenförmigen Gangprofile im oberen Höhlenteil. Ihre Abweichung von der herkömmlichen Entstehungsgeschichte wurde bereits im Kapitel «Höhlenbeschreibung» erwähnt.

Sedimente

Der Hauptgang ist mehrheitlich blank gespült, abgesehen von Block-«Nestern» im Eingangsraum, in den Erosionsgräben im unteren Hauptgang, in der Verzweigungshalle und als Versturz am Höhlenende. In Nischen und in den kurzen Seitengängen ist Geröll und griessartig zerriebenes Gestein zu finden. In der abwärts führenden Abzweigung ab Verzweigungshalle wurde zwischen den einzelnen Hochwasserereignissen Sand abgelagert mit augenfälligen Strömungsrippeln, die zeigen, dass das Wasser aufwärts floss.

Bei den Murgängen war auch vereinzelt bis zu faustgrosses, kantengerundetes Doggergeröll (Hochstollen-Formation) aus der Höhle gespült worden. In Nischen des Hauptganges sind weitere Doggergerölle liegen geblieben. Da im erforschten Höhlenteil bis auf 53 m über Stollenniveau kein Doggergestein vorhanden ist, muss davon ausgegangen werden, dass die Störung bis ins Doggergestein reicht.

An Wänden und Decke sind fleckenweise braune Lehmablagerungen erhalten geblieben. Eine kopfgrosse Röhre in der Decke im unteren Hö-

lenabschnitt ist mit diesem Material vollständig verfüllt. Es ist stellenweise auch in der Störzone im Kakirit eingelagert und deformiert worden (siehe Rubrik «Geologie»).

Hydrologie

Durch den Tunnelbau und dem damit verbundenen Anschneiden von Wasser führenden Klüften ist der Karstwasserspiegel stark abgesenkt worden. Vorher lag der gesamte keilartige Karstkörper im tiefphreatischen Bereich. (Nach dem Erstellen des druckhaltigen Gewölbes sollte dieser Zustand wieder hergestellt sein.) Aufgrund der Wasserdruckberechnungen der 1. Wassereinbruchsstelle bei Tunnelmeter 1700 kann davon ausgegangen werden, dass der durch den Tunnelbau angeschnittene Bereich zirka 100 m und bei Schneeschmelze und Spitzenhochwässern wahrscheinlich mindestens 200 m unter Wasser liegt.

Nach dem Anschneiden der Kluft durch den Tunnelbau lag die Schüttung anfänglich kurzfristig bei 1000 l/s. Nach zirka sechs Wochen ist die Höhle beinahe trocken gefallen. Niederschlagsereignisse haben in der Folge erwartungsgemäss eine stark schwankende Schüttung verursacht (mit Spitzen von rund 750 l/s). Bei stärkeren Niederschlägen erreicht die Schüttung nach kurzer Zeit Spitzenwerte, um danach ebenso rasch wieder abzufallen. Die Reaktionszeit beträgt 8 bis 12 Stunden.

Das Einzugsgebiet dürfte aufgrund der aktuell laufenden Auswertungen eines gross angelegten Wassermarkierungsversuchs der Höhlenforscher-Gemeinschaft Unterwalden im Rahmen einer ETH-Diplomarbeit schwergewichtig im Gebiet Planggen und Griessenbändern (nord- bis nordwestlicher Teil des Griessenkarstes) und von den Oberfeldcharen (südlich gelegener Karst der Bannalp) liegen. Die Auswertungen dieses Projektes werden voraussichtlich im Frühjahr 2006 vorliegen. Die bereits über längere Zeit durchgeführten Schüttungsbeobachtungen im Vergleich zu den Niederschlagsereignissen und die Isotopenmessungen des analysierten Wassers verdeutlichen ein Haupteinzugsgebiet des Wassers über 2200 m ü.M.

Literatur

TRÜSSEL, M. (2002): Vom Fuchsloch zur Schratenhöhle (Bd. 3) – eine Forschungschronik der Höhlenforscher-Gemeinschaft Trüssel (HGT). S. 873, 884–885, 914–915, 916, 931, 933–935, Bildtafel VI-VII. HGT-Verlag, c/o M. Trüssel Alpnach.

HENDRY, F. und TRÜSSEL, M. (2004): HGU-Tätigkeitsbericht 2003, Stans.

GUBLER, Th. und TRÜSSEL, M. (2004): LSE-Tunnel Engelberg – Karstquellen-Monitoring 2002–2003 und Karsthydrogeologie (unpubl.), Zürich + Alpnach.

GUBLER, Th. und TRÜSSEL, M. (2005): LSE-Tunnel Engelberg – Karstquellen-Monitoring 2004 (unpubl.), Zürich + Alpnach.

HENDRY, F. (2005): Erste Ergebnisse und Erkenntnisse Markierungsversuch Griessen/Bannalp 2005 (unpubl.). Verfasst im Zusammenhang mit dem (wegen Unwetter kurzfristig abgesagten) 2. Unterwaldner Karst- und Höhlentag in Engelberg vom 26. bis 28. Aug. 2005.

Weiterführende Informationen

Internet: www.hgu.ch und www.neko.ch.

Tabelle 2**Forschungsgeschichte der Tunnelklufthöhle im Zentralbahn-Steilrampentunnel von Grafenort nach Engelberg**

28. Mai 2003	Deckeneinbruch bei Tunnelmeter (Tm) 1954 wegen ansteigendem Wasserdruck (Hochlagen-Schneesmelze).
1. Juni 2003	Nachdem bei Tm1954 bereits an den Vortagen weitere Risse in den Wänden entstanden sind, ereignet sich heute der erste murgangartige Einbruch mit Schlamm, Geröll und viel Wasser. In den nächsten beiden Tagen verschärft sich die Situation weiter. Die Schüttung beträgt nach dem Ereignis schätzungsweise 200 l/s.
4. und 5. Juni 2003	Durch zwei heftige murgangartige Wassereinbrüche, bei denen mind. 700 bis 1000 Kubikmeter Felsblöcke, Geröll und Schlamm in den im Bau befindlichen Tunnel gelangen, öffnet sich der Zugang im Wand-Decken-Bereich des Tunnelprofils. Die Schüttung beträgt nun schätzungsweise 1000 l/s. Sie nimmt erst Mitte Juni langsam ab.
30. Juni 2003	Erste Erkundung des Eingangsraums durch Hubert Blättler und Martin Trüssel (HGU) bei einer Schüttung von 250 l/s. Der exponierte Aufstieg entlang der stark Wasser führenden Kluft über loses und brüchiges Blockwerk muss wegen plötzlicher Wassertrübung aus Sicherheitsgründen abgebrochen werden.
4. Juli 2003	Nach einem plötzlichen Schüttungsabfall ereignet sich ein neuer kleinerer Wassereinbruch (900 l/s) mit viel Schlammanteil. Die vorgängige Murgangwarnung an die Bauleitung durch die Karstspezialisten aufgrund der Schüttungsveränderung erweist sich somit als zutreffend.
25. Juli 2003	Nachdem die Schüttung Mitte Juli bis auf 2 l/s zurückgegangen ist, erfolgt nach Gewittern ein erneuter Wassereinbruch (750 l/s) samt erneuter Geröllausräumung aus der Höhle (das Geröll wird bis zum Tunnelportal Nord gespült).
13. August 2003	Die Höhle wird durch Beat Liem, Fidel Hendry, Beat Niederberger und Martin Trüssel (alle HGU-Mitglieder) auf eigene Verantwortung erforscht, fotografiert sowie skizziert. Beeindruckend ist die enorme Gangquerschnittsvergrößerung in der seit dem 30. Juni 2003 (6 Wochen) entstandenen «Vezweigungshalle».
31. August 2003	Nach einem kräftigen Gewitter (40 l/m ² Niederschlag) ereignet sich ein weiterer Wassereinbruch mit Wasserspitzen bis zu 1000 l/s.
5. September 2003	Kurze geologische Besichtigung bis zur Verzweigungshalle durch Thomas Gubler (Büro Magma AG und HGU), Martin Trüssel (HGU) und Reto Murer (SKH-Geologen).
19. Oktober 2003	Detaillierte Vermessung der gesamten Höhle sowie Dokumentation der erneuten Raumveränderungen und -ablagerungen sowie der neuen Seitengangbildungen bei durchwegs trockenen Bedingungen durch Evi Amstalden, Rolf Boller, Beat Niederberger und Martin Trüssel (alle HGU).
Januar 2004	Verschluss des Zugangs zur Höhle durch den Bau eines im Endausbau druckhaltigen Betongewölbes mit Kieshinterfüllung. Einrichten einer provisorischen Karstwasser-Entwässerung.
22. August 2005	Neuer Niederbruch bei der Tunnelklufthöhle mit einem Wasseraustritt von mind. 700 l/s und begleitet von einem kleineren Murgang trotz druckhaltigem, 80 cm starkem Spritzbetongewölbe. Ursache sind heftige Niederschläge (über 200 l/m ² in drei Tagen) durch die im gesamten Engelbergertal schwere Schäden entstehen und das Dorf Engelberg für rund zwei Wochen per Bahn und Strasse von der Umwelt vollständig abgeschnitten wird.