

Der Schuttstrom vom 15./16. Juli 1795 in Weggis – Rekonstruktion des Ereignisses und Beurteilung des vorhandenen Gefahrenpotenzials

Klaus Louis¹, Peer Bänninger¹, Jürg Luterbacher², Tobias Zwyer³

Stichworte: Rigi, USM, Horizontalverschiebungen, Klimarekonstruktionen, Extremereignis, Hybride Seismik, Vitznauerbecken, subaquatische Ablagerung, Turbidit, Gefahrenbeurteilung, Klimawandel.

Inhalt

Zusammenfassung .....	.56
Abstract .....	.56
1. Einführung .....	.56
2. Ereignisablauf .....	.58
3. Grundlagen .....	.61
3.1 Geologische und hydrogeologische Übersicht .....	.61
3.2 Klima und Wetter im Jahr 1795 .....	.63
4. Terrestrische Untersuchungen .....	.64
5. Subaquatische Fortsetzung des Schuttstromes .....	.70
6. Wetterrekonstruktion im Jahr 1795 .....	.74
7. Beurteilung des vorhandenen Gefahrenpotenzials .....	.78
Dank .....	.79
Literatur .....	.80

¹ Louis Ingenieurgeologie GmbH, Postfach 143, 6353 Weggis

² Oeschger Centre for Climate Change Research (OCCR),
NCCR Climate und Geografisches Institut der Universität
Bern, Klimatologie und Meteorologie, Hallerstrasse 12,
3012 Bern

³ Zwyer Tobias, Bachmattstrasse 4, 6452 Sisikon

Zusammenfassung

Am 15. Juli 1795 brach am Südfuss der Rigi ein 0.6-0.7 Mio. m³ grosser Schuttstrom aus. Die dickflüssige Masse bewegte sich im Schritttempo bis zum 1.5 km weit entfernten Vierwaldstättersee und zerstörte über 40 Wohnhäuser und Landwirtschaftsgebäude.

Nach wochenlangem Dauerregen löste sich der Schuttstrom entlang einer NNW-SSE streichenden Horizontalverschiebungszone im Übergangsbereich eines 50 m mächtigen Nagelfluhbandes zu einer Schlammsteinabfolge. Im Ausbruchbereich wurden während des Ereignisses zahlreiche Wasseraufstösse aus Felsklüften beobachtet. Geophysikalische Abklärungen ergaben, dass darunter steil stehende Brüche existieren, durch die Wasserzutritte aus grösseren Tiefen möglich sind.

Mittels limnogeologischer Untersuchungen im Seebecken wurde die subaquatische Fortsetzung des Schuttstromes kartiert und die Menge des im See abgelagerten Materials auf 140'000 m³ bestimmt.

Die synoptische Analyse diskutiert mögliche grossräumige atmosphärische Prozesse, welche für die ausserordentlich hohen Niederschläge verantwortlich waren.

Weder in historischen Überlieferungen noch in Sondierungen finden sich Hinweise auf weitere Grossereignisse dieser Art in Weggis. Beim verheerenden Schuttstrom von 1795 handelte es sich seit dem Ende der Würm-Eiszeit vor rund 12'000 Jahren um ein einmaliges Ereignis. Der 1795 zerstörte Dorfteil ist heute viel dichter überbaut als vor 213 Jahren. Das Szenario eines erneuten grossen Schuttstromes wird als Restgefährdung eingestuft.

Abstract

On the 15th of July 1795 a large debris flow occurred at the south face of mount Rigi. Approximately 0.6-0.7 Mio. m³ crept downhill at walking pace in a highly viscous matter. More than 40 houses and agricultural buildings were destroyed on the 1.5 km advance [surge] down to Lake of Lucerne.

After weeks of continuous rainfall the debris flow started from a NNW-SSE striking horizontal displacement zone at the transition from a 50 m high conglomerate sequence to mudstone series. During that event numerous springs were observed in the area of the mass detachment. Geophysical survey revealed steep vertical fractures in the conglomerates underneath, thus giving rise to important water influx.

Based on limnogeological studies in the Lake of Lucerne, the subaquatic continuation of the debris flow was mapped and the detritus deposited there was calculated to 140'000 m³.

The synoptical analysis discusses possible large scale atmospheric processes which are responsible for the high precipitation rates, that triggered the debris flow event.

Neither from historic documentation nor from sounding studies, any indication of similar activity could be found in Weggis. The debris flow of 1795 is a unique event ever since the Worm Ice age about 12'000 years ago. The part of the village destroyed in 1795 is presently more densely populated, than it was 213 years ago. The scenario of a similar debris flow can be assessed as a possible remnant risk.

1. Einführung

«Fast eine Stunde über dem Oberdorf von Weggis, in einer noch fruchtbaren Gegend, riss sich unten an einem Wald, einer langen Strecke des Berges nach, eine abhängende Ebene von dem übrigen Erdreiche, welches an der Flue hangen blieb, los; rutschte vorwärts in die Tiefe und hinterliess ein grosses Tobel, aus welchem man jetzt fast senkrecht an die zurückgebliebene Erdwand hinaufstaunt. Von dieses Tobels Grenze stiess sich nun der Schutt in ungeheurer Last fort, und nahm seinen Weg, gleichsam zwischen zwey Borden eingedrängt, bis zum See, an dessen Ufern sich das Oberdorf ausbreitete. Was dem mehr heran fliessenden als stürzenden Schutt im Wege stand, wurde von seiner

drückenden Gewalt umgestürzt und dann begraben; und jetzt kann man sagen: ‚Hier waren die Häuser des Oberdorfes!‘ Wer es vorher nie gesehen, kann sich von dem, was es war keine Vorstellung machen. Wie ein grosses Grab, liegt der Schutt gehäufet, und erweckt, wenn man sich nähert, Empfindungen der Wehmut». [Auszug aus dem Augenzeugenbericht von Thaddäus Müller 1795].

Nach wochenlangem Dauerregen entstand am 15. Juli 1795 am Südfuss der Rigi oberhalb von Weggis (Schweizer Koordinaten LK 676'250/210'850, Kote ca. 800 m ü. M.) ein 350 m langer Hanganbruch. Daraus entwickelte sich ein mit vielen Nagelfluhblöcken durchsetzter, mehrere Meter mächtiger Schutt-

strom, der sich wie ein zäher Brei die 1.5 km lange Strecke bis zum Vierwaldstättersee (Kote 434 m ü. M.) hinunter wälzte und dabei 26 ha Kulturland verwüstete sowie 28 Wohnhäuser und 15 Landwirtschaftsgebäude zerstörte. Alle Betroffenen konnten sich und ihr Vieh in Sicherheit bringen.

Der Schuttstrom von 1795 war die folgenschwerste Naturkatastrophe in der Weggiser Dorfgeschichte. Er ereignete sich am selben Tag, als die Marseillaise in Frankreich zur Nationalhymne erklärt wurde. Wegen der Französischen Revolution (1789-1799) herrschte auch in der Schweiz eine hohe Inflation, was wohl der Hauptgrund dafür war, dass den öffentlichen Spendenaufrufen des Grossen Rates von Luzern zur Unterstützung der in Not geratenen Weggiser Mitbürger kein Erfolg beschieden war.

Der damalige Dorfpfarrer, Joseph Balthasar Krütlin, sah den Schuttstrom als gerechte Strafe Gottes für das lasterhafte Treiben in Weggis an (Krütlin 1797). Demgegenüber anerkannte der damalige Stadtpfarrer von Luzern, Thaddäus Müller, das «den ganzen Berg durchirrende, durch die mannigfaltigsten Krümmungen sich Wege Bahnende, oft in Klüften und Erdritzen sich anhäufende Wasser» als «eine nicht geringe Ursache der von je her erfolgten Erdfälle» (Müller 1795).

11 Jahre später ereignete sich am wenige Kilometer entfernten, geologisch sehr ähnlich disponierten Rossberg der katastrophale Goldauer Bergsturz, an dessen Ursachenerforschung die damaligen Geologen verständlicherweise viel mehr interessiert waren als am Schuttstrom in Weggis.

Rütimeyer (1877) hält 82 Jahre nach dem

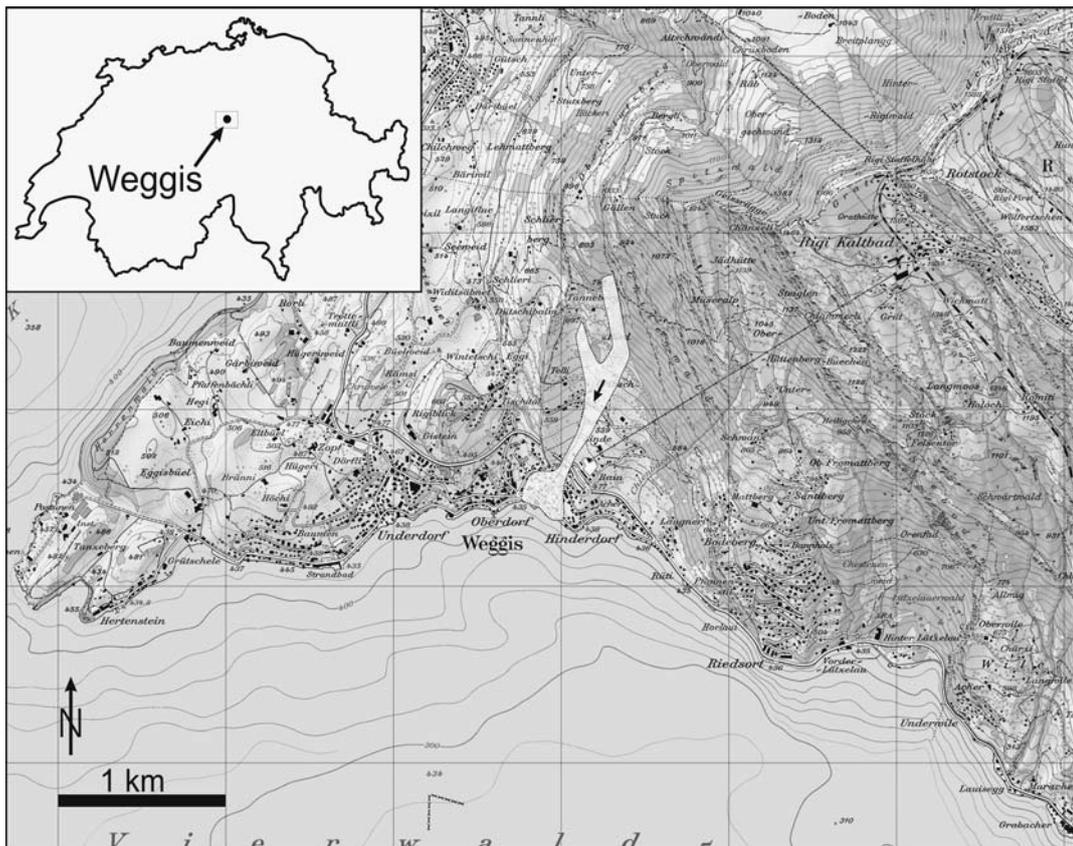


Fig. 1: Geographische Lage von Weggis am Süd Fuss der Rigi. Ausschnitt der Landeskarte 1:50'000. Reproduziert mit Bewilligung von swisstopo [BA081128].

Schuttstrom von 1795 fest, dass die Hangmorphologie im Transitbereich des «Schlammstromes zu Weggis» noch sehr ruppig und uneben war.

Bei der Wieder-Urbarmachung wurde das Gelände von den fleissigen Weggiser Bauern im Laufe der Jahrzehnte jedoch so stark verändert, dass Heim (1932) konstatierte: «Heutzutage kann man keine Spuren des damaligen Ereignisses erkennen». Heim (1932) beurteilt den Schuttstrom von Weggis im Kapitel «Schutrutschungen, die sich in einer einzigen Bewegungsperiode ganz vollziehen» folgendermassen: «Sicher ist aber, dass hier ein grosses Ereignis sich in einem Zuge bis zum Ende vollzogen hat. War es Gehängeschutt, war es Moräne, wir wissen es nicht».

Kopp (1937) hat in seiner geologischen Karte von Weggis 1:5'000 den Schuttstrom von 1795 und den Nachbruch von 1934 detailliert eingezeichnet. Auch im geologischen Atlas der Schweiz 1:25'000, Blatt 1151 Rigi (BWG 2006) ist der Schuttstrom von 1795 dargestellt.

Der 1795 zerstörte Teil des Weggiser Oberdorfes heisst seitdem «Rubi» (Abstammung von Rüfe, Rüfi, Rübi). Dort befinden sich heute rund 70 Wohngebäude und wichtige Infrastrukturanlagen; im oberen Transitbereich des Schuttstromes stehen weitere 25 Wohn- und Landwirtschaftsgebäude.

Während der Starkniederschläge vom 21.-23. August 2005 wurden im Ausbruchbereich des Schuttstromes von 1795 deutliche Deformationen festgestellt. Bei der Überarbeitung der Gefahrenkarte Weggis nach dem Unwetter vom August 2005 stellte sich daher die Frage, wie das Szenario eines grossvolumigen Schuttstromes zu berücksichtigen sei. Ein wesentlicher Teil der diesbezüglichen Abklärungen bestand darin, alle untersuchungsrelevanten Dokumente, von historischen Schriften im Staatsarchiv bis hin zu aktuellen Baugrunderkundungen, zu recherchieren und auszuwerten.

Der Ereignisablauf ist im Augenzeugenbericht von Müller (1795) sowie in den Auf-

zeichnungen von Krütlin (1797) sehr anschaulich beschrieben. Letztere wurden im Jahre 1966 bei Renovierungsarbeiten der katholischen Kirche im Turmknopf (schmiedeeisernes Turmkreuz mit Kupferkugel auf der Kirchturmspitze) gefunden.

Als grosser Glücksfall erwiesen sich auch die Planunterlagen von Jost Pfyffer (1795a und 1795b), der am Tag nach dem Schuttstrom vom Grossen Rat Luzern den Auftrag erhielt, ein «ordentliches Verzeichnis über die beschädigten Güter» zu erstellen. Pfyffer hat hierzu den gesamten Prozessbereich des Schuttstromes aufgenommen und in zwei Plänen mit erstaunlich hoher Genauigkeit dargestellt. Auf dem schwarz-weissen Arbeitsplan (ungefährer Massstab ca. 1:2'000) sind viele geodätische Hilfslinien, markante Geländemerkmale, Flurnamen und Landeigentümer etc. eingetragen, während die handkolorierte «Karte der Phänomene» (ungefährer Massstab ca. 1:5'000) die zerstörten und unversehrten Gebäude, die Quellen sowie den Verlauf des ehemaligen Mühlebaches (heute: Rubibach) zeigt (Fig. 2). Ein Digitalfoto dieses Planes wurde anhand von charakteristischen Referenzpunkten (Kirche, historische Gebäude, markante Geländemerkmale) georeferenziert, im GIS der aktuellen topographischen Karte überlagert und anschliessend digitalisiert.

2. Ereignisablauf

In der Sammlung des Gletschergartenes Luzern befindet sich ein Relief der Rigi und des Rossberges im Massstab 1:25'000 von Joseph Martin Baumann (1816), auf dem die Spuren des Schuttstromes von 1795 beiderseits des Mühlebaches dargestellt sind (Fig. 3).

Dem Ereignis ging eine siebenwöchige Schlechtwetterperiode mit andauernden Niederschlägen voraus (Krütlin 1797). Laut Heim (1882) seien bereits einige Tage bis Wochen vor dem Ausbruch des Schuttstromes Risse im späteren Ausbruchbereich entstanden und man habe die Kirschen auf den



Fig. 2: «Karte der Phänomene» des Schuttstromes von Weggis, von Pfyffer 1795b. Das Seeufer am unteren Kartenrand liegt im Süden. Der Originalplan (Grösse ca. 46.5 × 33.5 cm) ist im Regionalmuseum der Seegemeinden in Vitznau ausgestellt.

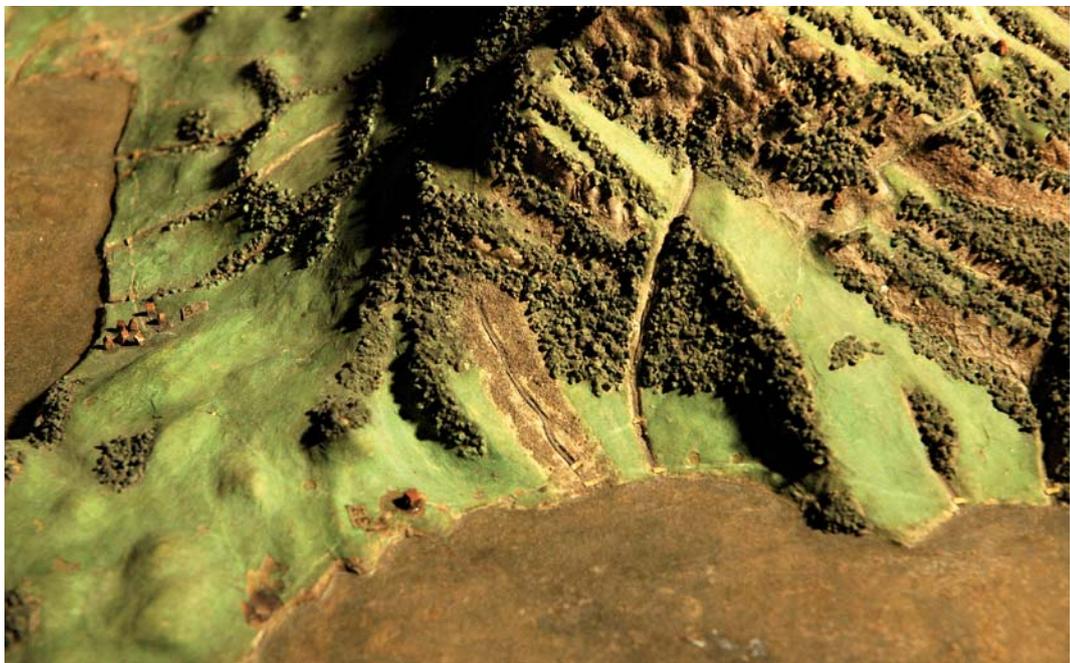


Fig. 3: Ausschnitt aus dem Relief von Baumann 1816. Ansicht der Rigi-Südseite, Blick nach N. Bildmitte: Schuttstrom von 1795 in Weggis.

aufrecht langsam abwärts rutschenden Bäumen gepflückt (Anmerkung: bei unseren Recherchen haben wir allerdings keine weiteren Hinweise gefunden, welche diese Angaben bestätigen).

Am 15. Juli 1795, gegen 15 Uhr, öffnete sich am unteren Rand des Chilewaldes zwischen Kote 730-830 ein langer Spalt. «...allein daraus fürchtete man noch nicht so ein grosses Übel», weil im betreffenden Gebiet immer wieder kleinere Erdbeben und Hangmuren aufgetreten waren (Müller 1795).

Zwischen 19 und 20 Uhr wurde aber das «Getöse» sowie das «Prasseln und Knallen» immer lauter. Zu diesem Zeitpunkt setzte sich eine 4 ha grosse Hangscholle, die Pfyffer (1795b) in seinem Plan (Fig. 2) mit «Platz K» bezeichnete, in Bewegung: Eine «abhängende Ebene» löste sich am Hangfuss unterhalb des Chilewaldes vom «übrigen Erdreich, welches an der Flue hangen blieb» und rutschte talwärts ab, sodass sich ein «grosses Tobel» öffnete (Müller 1795). In den darauf folgenden Stunden entstand zwischen der freigelegten Felswand und der abgleitenden Hangscholle ein 350 m langer, 30 m tiefer und über 100 m breiter Graben.

Im Anrissbereich kamen in einer Tiefe von 25-30 m unter der ehemaligen Hangoberfläche 14 stark schüttende Felsquellen zum Vorschein. Das Wasser sei «durch unterirdische Höhlen und Gänge...» zugeflossen (Protokoll des Grossen Rates Luzern vom 3. August 1795).

Über die gesamte Anrisslänge brachen sukzessive grosse Nagelfluhpakete entlang von NNW-SSE streichenden Störungsklüften von der Felswand ab und vermischten sich mit den breiig aufgeweichten Rutschmassen. Bei einbrechender Dunkelheit begann der Schuttstrom aus dem über 100 m breiten Graben in Richtung des Oberdorfes auszufließen. Am aufgestauchten unteren Rand der aufgeweichten Rutschscholle «Platz K» (Fig. 2 und 4) brachen Hangmuren aus, deren schlammig-blockiges Schuttmaterial in einer vorgezeichneten Mulde nach SE abfloss. Östlich von Telli mündete dieser Sei-

tenarm in den 70-150 m breiten Haupt-Schuttstrom. Der vom Schuttstrom betroffene Teil des Gebietes Telli heisst seit 1795 Tellirubi (Anmerkung: in den meisten topographischen Karten ist das Gebiet Tellirubi fälschlicherweise zu weit oben, an Stelle des Gebietes Battlisrubi, eingezeichnet).

Gegen 21 Uhr wurden die Bewohner des Oberdorfes vom Messner zum Verlassen der Häuser aufgefordert. In der Morgendämmerung des 16. Juli läutete man die Sturmglocken, jedoch standen die Weggiser und die aus den Nachbardörfern herbeigerufenen Helfer den mit rund 70-100 m pro Stunde vorwärts rückenden Schuttstrommassen machtlos gegenüber. Der Schuttstrom wälzte sich «wie ein eilender Schnak» (Krütlin 1797) an das Oberdorf heran, und wurde zwischendurch immer wieder stossartig beschleunigt. «Der fortgleitende Erdschutt ... bäumte sich an den Häusern und Scheunen hoch auf und hob sie aus ihrem Grunde, bis sie vorhinein gebeugt niederstürzten und den Schutt über sich hin den weiteren Weg gestatteten» (Müller 1795). «Man rettete aus den Häusern, was man konnte, ja brach etwelche ab. Es wurden aber theils verschüttet, theils mit dem schlammichten Lette weggespült und von dem See verschlungen». Als die St. Verena-Kapelle in den See versank, hörte man noch ihr Glöcklein läuten (Krauer ca. 1805, in: Bucher 1945).

Bis zum Abend breitete sich der Schuttstrom über den Bachschuttkegel des Mühlebaches, auf dem das Oberdorf stand, auf über 300 m aus. Er setzte sich aus einer «rauen aber fetten Mergelart» zusammen und verfrachtete viele grosse Steine und Blöcke mit. Der Mühlebach führte während des Ereignisses viel Wasser und Geschiebe und er schuf sich dabei ein «geräumiges Bethe» inmitten der Schuttmassen (Müller 1795). Aufgrund der Auflast von rund 20 t/m² brach das Delta des Mühlebaches ein. Bei dieser rotationsförmigen, mehrere Zehntausend Kubikmeter grossen Uferrutschung entstand eine 50-60 m breite Bucht. Die breiigen Schuttstromablagerungen waren in den ersten Wochen noch recht instabil. Am

29. Juli 1795 wurde bei einem heftigen Platzregen ein Teil der Schuttmasse remobilisiert. Laut Pfyffer (1795b) hat der Schuttstrom «72¹/₂ Juchart Matten und Weidland, 28 Häuser, 15 Scheunen und andere Gebäude, nebst vielen fruchtbaren Obstbäumen zu Grund gerichtet». Gemäss Müller (1795) verloren durch den Schuttstrom «49 Haushaltungen ihr Obdach und mussten mit Kleinen, Alten und Kranken auf die Strasse wandern». Krütlin (1797) schildert, dass 400 Menschen ihrer Wohnungen beraubt worden seien. Im zwei Jahre später verfassten Schreiben des Landvogtes von Weggis wurde die Anzahl der «wohnungslos gewordenen Personen» hingegen mit 225 beziffert (Sitzungsprotokoll des Grossen Rates Luzern vom 10.08.1797).

Ereignisse nach 1795

Nördlich oberhalb des Ausbruchbereiches von 1795 schliesst der auf ca. 860 m ü. M. gelegene, stets leicht vernässte Salomébode an. Dort entstand am 9. September 1934 nach einem intensiven Starkregen ein Geländeanbruch, bei dem mehrere tausend Kubikmeter blockreiches Lockergestein mobilisiert wurden (Kopp 1937). Es entwickelte sich eine Hangmure, die durch die Blockschutthalde von 1795 nach SW abgelenkt wurde und auf 720 m ü. M. zum Stillstand kam (Fig. 5). Ein einzelner Block stürzte ins Gebiet Tannenbergr bis ungefähr Kote 650 weiter; daraufhin wurde eine Scheune vorsorglich rückgebaut und 100 m weiter unten wieder aufgerichtet.

Um 1942 ereignete sich beim Salomébode wieder eine grosse Hangmure, die fast denselben Weg nahm wie jene von 1934. Die Ablagerungen der Hangmuren von 1934 und 1942 lassen sich phänologisch gut von den Ablagerungen 1795 unterscheiden.

Nach dem Ereignis von 1942 wurde die bergseitige Böschung der Tannenbergrstrasse mit einer mehrere Dutzend Meter langen Stützmauer befestigt, welche um 1970 durch eine grosse Spontanrutschung über eine Länge von 25 m ungerissen wurde.

3. Grundlagen

3.1 Geologische und hydrogeologische Übersicht

Geologische Verhältnisse

Das Untersuchungsgebiet liegt in der aufgeschobenen subalpinen Molasse der Rigi-Südflanke. Die Festgesteine bestehen aus einer Wechselfolge von dickbankiger, kalkgebundener Nagelfluh (Konglomerat) mit Schlamm-, Silt- und Sandsteinen der Unteren Süsswassermolasse (USM). Diese Ablagerungen zeugen von geologisch unruhigen Zeiten im oberen Oligozän, als sich die Alpen in kräftiger Hebung befanden und die Erosionsprodukte auf einem alluvialen Schuttfächer abwechslungsweise als grobklastische Sedimente und Flachwasserablagerungen abgesetzt wurden.

In einer späteren Phase der alpinen Orogenese wurde der Rigischuttfächer nach NNW auf die aufgerichtete Mittelländische Molasse geschoben und von SSE her selbst von den Helvetischen Decken überfahren (Vogel & Hantke 1988). Dabei wurde das Schichtpaket der Rigi Hauptschuppe um 20-25° gegen SSE schräg gestellt. Zudem entstanden NNW-SSE streichende Horizontalverschiebungen (Buxtorf & Kopp 1943), wobei die westlichen Felsschollen relativ zu den östlichen nach NNW verschoben wurden. In Weggis trifft man an vielen Felsaufschlüssen steil stehende, NNW-SSE streichende Horizontalverschiebungsflächen an. Auch an den nahezu senkrechten, NNW-SSE streichenden Felswänden im Ausbruchbereich des Schuttstromes von 1795 findet man horizontale Gleitstreifen (Harnische). Offensichtlich wurde der Ausbruch von 1795 durch das Vorhandensein dieser tektonisch vorgezeichneten Schwächezonen im Fels begünstigt.

NNW-SSE streichende Störungsflächen gibt es auch im ca. 300 m südöstlich des Ausbruchbereiches von 1795 gelegenen Windlochboden (740 m ü. M., Fig. 5). Der Flurname dieser mehrere Dutzend Meter breiten,

terrassenartigen Verflachung im Chilewald ist auf die hier auftretenden «Windlöcher» zurückzuführen, sprich auf tiefe Felsspalten, aus denen bei besonderen Temperatur- und Luftdruckverhältnissen kalte Luft strömt. Zur Ermittlung der Untergrundstrukturen im Ausbruchbereich von 1795 wurden zwei geophysikalische Profile mittels hybrider Seismik, einer Kombination von hoch auflösender Reflexionsseismik mit refraktionsseismischer Tauchwellentomographie, ausgeführt (GeoExpert 2005). Dabei zeigte sich, dass der Fels bis in 50 m Tiefe stark zerklüftet ist; steil einfallende Brüche konnten bis in 150 m Tiefe verfolgt werden. Leider lässt aber die geophysikalische Auswertung keine klaren Schichtgrenzen zwischen der Blockschuttauflage und der aufgelockerten Felsoberfläche erkennen, weil beide Medien recht ähnliche seismische Ausbreitungsgeschwindigkeiten besitzen. Die Mächtigkeit der Lockergesteinsüberdeckung im Ausbruchbereich kann daher nur grob auf rund 5-8 m (höchstens 12 m) eingegrenzt werden.

Hydrogeologische Verhältnisse

An der Rigi-Südflanke gibt es im Verhältnis zur Einzugsgebietsgrösse (zu) wenige Bäche. Ein grosser Anteil des anfallenden Meteorwassers versickert in den Untergrund oder fliesst oberflächlich durch kleine Runsen über das freie Land ab.

Die zerklüftete Kalknagelfluh vermag viel Sickerwasser aufzunehmen, während die mächtigen tonreichen Schlammsteinlagen typische Wasserstauer bilden. Der Ausbruch des Schuttstromes von 1795 erfolgte auf einem schräg SSE-wärts geneigten Quellhorizont, der zugleich auch die Gleitfläche für die abgerutschten Locker- und Festgesteinsmassen bildete.

Die geophysikalische Untersuchung des Ausbruchbereiches von 1795 ergab, dass der geklüftete Fels hohe Wasserwegsamkeiten aufweist. Offenbar bauen sich nach aussergewöhnlich ergiebigen Niederschlägen hohe Bergwasserdrücke auf, so dass Wasser von unten her entlang von steilen,

NNW-SSE streichenden Kluft- oder Störungszonen zuströmt. Gemäss Müller (1795) hätten «Die Nachbarn der hohen Gegend, wo der Bruch geschah, ...vorher niemals Spuren von unterirdischem Wasser dort angetroffen...». Diese interessante Feststellung untermauert die These, dass viele Quellen im Ausbruchbereich von 1795 – damals wie heute – nur dann anspringen, wenn sehr viel Wasser im Berg ist.

Die grösste 1795 zum Vorschein gekommene Quelle ist auf dem Plan von Pfyffer (Fig. 2) als Ursprung des Mühlebaches eingezeichnet. Sie befand sich vor dem Ausbruch rund 30 m unter der ursprünglichen Terrainoberfläche. Ihr Standort entspricht der heutigen Quellwasserfassung Battlisrubi (300-500 l/min). Weitere Quellen im Ausbruchbereich sind die Quelle Ried (670 m ü. M., ca. 100 l/min) sowie eine kleinere Privatquelle (wenige l/min). Aus letzterer schoss während des Augustunwetters 2005 das Wasser meterweit heraus, was unweigerlich den Eindruck erweckte, dass die Lockergesteinsdecke im Bereich des Steiwäldli prall voll mit Wasser war. Tags darauf fiel diese Quelle jedoch plötzlich trocken, weil der unterirdische Wasserzufluss zur Fassung durch leichte Rutschbewegungen abgeschnitten wurde. Beim Markierversuch Müseralp (ca. 1'200 m ü. M., Fig. 5) vom Frühjahr 2006 wurde keine hydraulische Verbindung zu den etwa 500 m direkt unterhalb der Impfstelle liegenden Quellen festgestellt. Hingegen wurde eine rasche hydraulische Verbindung zu den fast 2 km entfernten Felsquellen bei Laugneri nachgewiesen, die auf die Existenz von wasserführenden, NNW-SSE verlaufenden Kluft- oder Störungsflächen hinweist (Louis 2006). Auch die Quellen Seeweid und Langifluh der Wasserversorgung Weggis liegen auf einer grossen Störungszone, die zwischen Weggis und Greppen in Richtung NNW-SSE verläuft (Geologischer Atlas der Schweiz 1:25'000, Blatt 1151 Rigi, BWG 2006). Deren Wässer weisen ganzjährlich Temperaturen von 10-12°C auf und sie besitzen relativ hohe elektrische Leitfähigkeiten. Es wäre interessant

zu wissen, ob ein Zusammenhang dieser Quellen mit dem artesisch gespannten Wasser besteht, das in Weggis in zahlreichen Erdsondenbohrungen in den Molassegesteinen angetroffen wurde.

3.2 Klima und Wetter im Jahr 1795

Indirekte Hinweise

Für die Zentralschweiz sind aus der Zeit vor 1800 weder Messdaten zur Wetterlage, noch zu den Hochwasserständen von Seen und Flüssen dokumentiert. Es ist aber bekannt, dass der Winter 1794/95 in Mitteleuropa sehr kalt, jedoch nicht besonders niederschlagsreich war (Pfister 1999). Dies deckt sich auch mit neueren statistischen Temperaturrekonstruktionen Europas (Luterbacher et al. 2004, 2007; Pauling et al 2006).

In verschiedenen historischen Dokumenten des Staatsarchivs Luzern gibt es indirekte Hinweise auf ausgesprochen ungünstige Wetter- und Klimabedingungen im Raum Luzern um 1795. Schon die Getreideernte 1794 fiel sehr schlecht aus, so dass die Versorgungslage kritisch wurde. Dies setzte sich auch 1795 fort, als es rekordhohe Zukäufe zu hohen Preisen und staatliche Getreidelieferungen an die Bäcker gab. Am 21. August 1795, also nur wenige Wochen nach dem Schuttstrom von Weggis, wurde ein bereits bestehendes Verbot der Getreideausfuhr verschärft. Als Gründe werden die Teuerung, das schlechte Wachstum und andere, leider nicht genauer umschriebene Umstände angegeben, für die in erster Linie das schlechte Wetter in Betracht kommt (Auskunft Dr. Egloff, Staatsarchiv Luzern).

Krütlin (1797) beschreibt, dass vor dem Ausbruch des Schuttstromes ein sieben Wochen langes Regenwetter herrschte. Auch gemäss Müller (1795) sowie dem Sitzungsprotokoll des Grossen Rates Luzern vom 3. August 1795 hat sich der Schuttstrom «nach mehrere Wochen anhaltendem Regenwetter» ereignet. Den Angaben von Heim (1882) nach zu schliessen, hat die Kirschenernte in Weggis 1795 etwa eine Woche später begonnen als

normalerweise, dies obschon die Kirschenblüte auf der Alpennordseite im Jahr 1795 nur gerade einen Tag später als das langjährige Mittel der Periode 1961-1990 einsetzte (Rutishauser & Studer 2007). Auch die Rebenernte auf der Alpennordseite war rund eine Woche später als während der Referenzperiode 1961-1990 (Meier et al. 2007), was ebenfalls auf durchgezogene Wetterbedingungen im Sommer hinweist.

Am Rufiberg oberhalb Arth, wenige Kilometer nördlich von Weggis, ereignete sich 1795 «in denselben Tagen» (Rütimeyer 1877) des Schuttstromes von Weggis eine mehrere Zehntausend Kubikmeter grosse Hangmure (Berichte der Schwyzerischen Naturforschenden Gesellschaft 2003), was ein eindeutiges Indiz dafür ist, dass es in der ersten Julihälfte im Raum Rigi-Rosshorn intensiv regnete. Darüber hinaus sind aus dem Jahre 1795 keine weiteren Naturgefahrenereignisse oder Hochwasser in der Innerschweiz bekannt.

Synoptisch-klimatologische Einordnung des ersten Halbjahres 1795

Tägliche homogene Niederschlags- (und Temperatur-) Reihen für 1795 liegen auf europäischer Skala nur spärlich vor. Zum Teil sind diese Daten noch nicht homogenisiert oder stehen nicht der Allgemeinheit zur Verfügung. Es wurde deshalb auf monatliche Niederschlagssummen aus einem breiten Kollektiv von europäischen Stationen zurückgegriffen. Daneben wurden monatlich aufgelöste rekonstruierte Bodendruckkarten zur Interpretation herangezogen. Wichtig ist dabei die Tatsache, dass die atmosphärische Zirkulation (vor allem im Winter, bei grossen Anomalien auch im Sommer) häufig einen signifikanten Anteil der Niederschlags- und Temperaturvariabilität auf verschiedenen Raumskalen zu erklären vermag. Die synoptische Analyse auf monatlicher und jahreszeitlicher Basis soll mögliche grossräumige Prozesse für die ausserordentlich hohen Niederschläge, die zum Schuttstrom von Weggis vom 15./16. Juli 1795 geführt haben, aufzeigen.

Mit dieser Analyse ist es allerdings nicht möglich, die innermonatliche Variabilität und kurzfristige Prozesse auf lokaler Ebene zu studieren. Zudem stehen keine zeitlich und räumlich hoch aufgelösten meteorologischen Informationen aus der mittleren und oberen Troposphäre (oberhalb von rund 5 km über Boden; «Topografie» in der freien Atmosphäre) zur Verfügung, welche für das dynamische Verständnis und die genauen niederschlagsbildenden Vorgänge in der Atmosphäre von grosser Bedeutung wären. Trotzdem erlauben die atmosphärischen Vorgänge sowie die damit verbundenen Niederschlagsinformationen auf Monatsskala eine Aussage bezüglich der grossräumigen Ursachen.

Datenlage

Bezüglich Niederschlag wurden folgende Stationen Europas herangezogen, welche im Jahr 1795 durchgehende Monatssummen aufweisen: Mailand, Paris und Marseille, Hoofdoorp (Niederlande), einige Stationen auf den Britischen Inseln, sowie zwei Stationen aus Schweden. Für die Schweiz gibt es von jener Zeit keine kontinuierliche homogene Niederschlagsreihe. Für die Station Bern existieren Monatswerte bis ins späte 18. Jahrhundert (Gimmi et al. 2007), allerdings stehen aus dem Jahr 1795 keine Daten zur Verfügung. Von den oben erwähnten Stationen wurden Monatsabweichungen für die Monate Januar bis Juli 1795 von den jeweiligen Mittelwerten der Periode 1961-1990 berechnet. Daneben existieren zuverlässige Informationen aus der Tschechischen Republik, die, obschon weit weg von der Zentralschweiz, erstaunlich ähnliche Anhaltspunkte bezüglich sehr nasser Bedingungen und Überschwemmungen im Sommer 1795 liefern (siehe Kap. 6).

Neben Stationsmonatsmitteln wurden ebenfalls jahreszeitliche Niederschlagsrekonstruktionen für den europäischen Kontinent verwendet (Pauling et al. 2006). Diese wurden in einem statistischen Verfahren durch die Kombination langer instrumenteller Niederschlagsreihen (unter anderem jene,

die oben erwähnt sind) mit historischen Niederschlagsüberlieferungen sowie mit natürlichen Proxies (Baumringe, Korallen, etc.) aus verschiedenen Regionen Europas generiert. Zur Charakterisierung der atmosphärischen Zirkulation (Bodendruck) wurden rekonstruierte Monatsmittel des Bodendrucks herangezogen (Luterbacher et al. 2002, neu prozessiert, basierend nur auf Stationsdruck-Informationen).

Diese Bodendruckrekonstruktionen sind unabhängig von Niederschlags- oder Temperaturmessungen Europas, da keine gemeinsamen Informationen in den Rekonstruktionsprozess geflossen sind. Somit kann die Zirkulationsrekonstruktion direkt den Niederschlagsbedingungen gegenübergestellt werden. Wie bei den Niederschlags und Temperaturdaten stehen für das Jahr 1795 auch für den Druck nur einzelne europäische Stationszeitreihen zur Verfügung.

4. Terrestrische Untersuchungen

Spuren älterer Ereignisse

Weder anhand von Phänomenen, noch in historischen Aufzeichnungen lassen sich konkrete Hinweise auf grössere ältere Hangmuren im Ausbruchgebiet von 1795 finden. Müller (1795) schreibt aber «von je her erfolgten Erdfällen» an der Rigi-Südflanke und dass, als man am Abend des 15. Juli 1795 den grossen Riss unterhalb Gällen sich öffnen sah, noch nicht so ein grosses Übel fürchtete, «weil Berganwohnern solche Erscheinungen nicht ganz unerwartet und neu sind». Daraus ist zu schliessen, dass es im Ausbruchbereich von 1795 wohl auch schon vorher Spontanrutschungen und Hangmuren gegeben hat. Auch der Flurname Riedmattweid des Ausbruchgebietes von 1795 deutet darauf hin, dass diese mächtig steile Feuchtwiese am Fusse des Chilewaldes nicht sonderlich stabil war. Nach 1795 sind die alten Flurnamen Riedmattweid und Tannenbergrweid verschwunden und das Gebiet heisst seitdem Steiwäldli und Battlisrubi.

Ausbruch- und Transitbereich des Schuttstromes von 1795

Der NNW-SSE gerichtete, 350 m lange obere Ausbruchrand des Schuttstromes verläuft am Fuss der steilen Hangpartien des Chilewaldes (Fig. 4). Die hangseitige Abrisskante bildet ein 20-30 m hohes Felsband aus Kalknagelfluh, an deren Basis eine mächtige Schlammsteinabfolge steht.

Der gegenwärtig bewaldete Ausbruchbereich von 1795 ist mit der 80'000 m³ grossen Blockschutthalde (Steiwäldli) bedeckt. Die kantigen Nagelfluhblöcke stammen vom

grossen Ausbruch von 1795 sowie von den Nachbrüchen von 1934 und 1942. Das ehemalige, aus Schlammsteinen bestehende Ausbruchmaterial ist rasch verwittert und zerfallen.

Heute sind die meisten Phänomene des Schuttstromes von 1795 in den Transit- und Ablagerungsbereichen kaum noch erkennbar, weil das Gelände im Laufe der Generationen anthropogen sehr stark verändert wurde. Besonders augenscheinlich wird dies im Gebiet Battlisrubi, wo das Terrain oberhalb der Tannenbergrasse sehr ruppig und

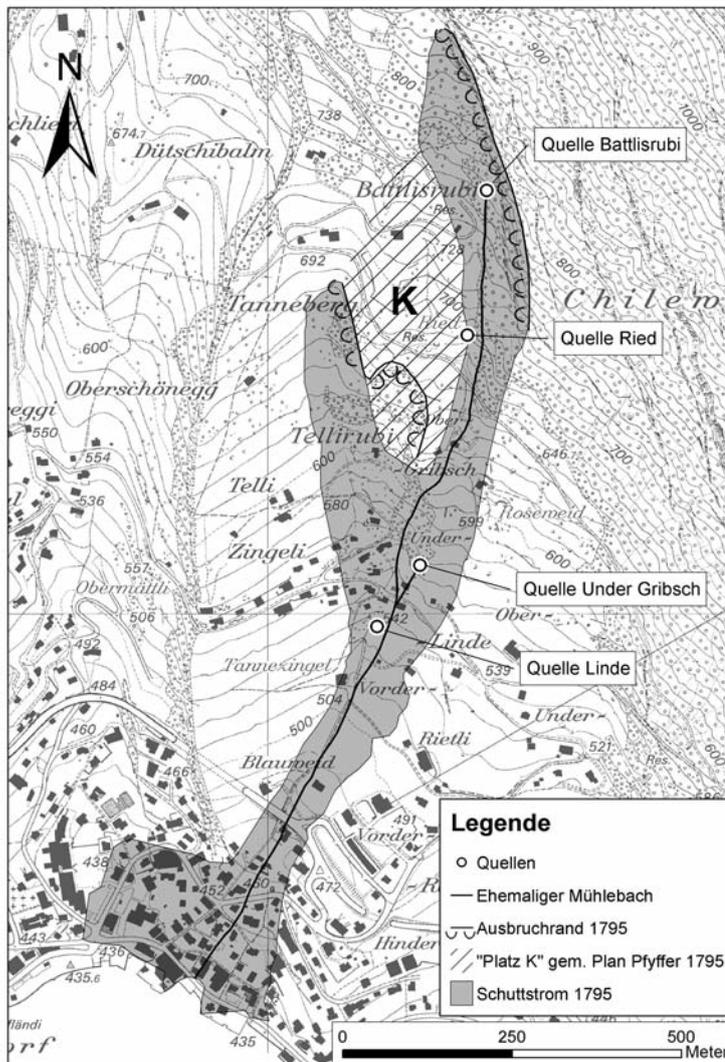


Fig. 4: Prozessbereich des Schuttstromes von 1795, übertragen gemäss den Angaben auf der Karte von Pfyffer 1795b [Fig. 2].

mit vielen alten Blöcken übersät ist, während auf der geglätteten Wiese unterhalb der Strasse kein einziger Block mehr liegt. Westlich von Battlisrubi, zwischen 720–820 m ü. M., verläuft eine über 200 m lange und bis zu 15 m hohe, wallartige Geländerippe in der Falllinie des Hanges, die den westlichen Rand des Schuttstromes von 1795 bildet. Der mittlere Bereich des Schuttstromes um Kote 650 bis 600 wird auf dem Arbeitsplan

von Pfyffer (1795a) als Sigrist Matte bezeichnet. Seit dem Ereignis von 1795 heisst das Gebiet aber Gribisch – ein Flurname, der für rauhes, steiniges Gelände, bzw. schlecht bewirtschaftbares Land steht. Das Gebiet Gribisch besitzt auch heute noch eine unruhige Morphologie, hingegen sind schon sehr viele alte Blöcke aus den Wiesen entfernt und für Trockensteinmauern verwendet worden.

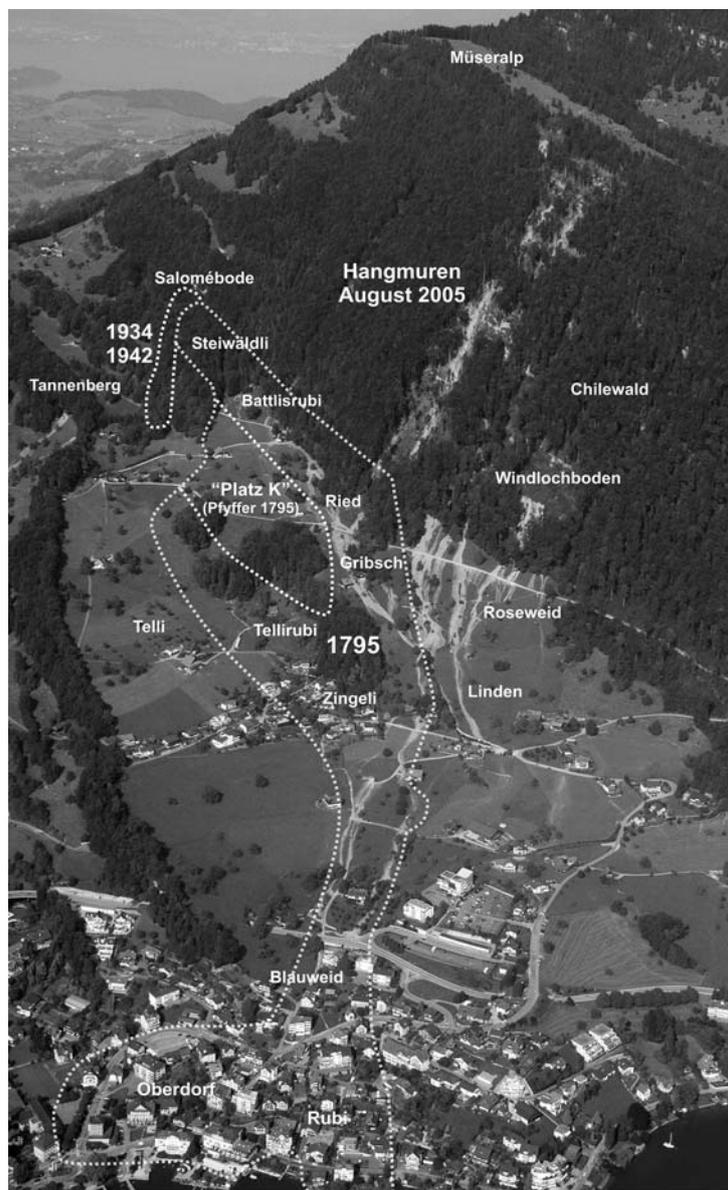


Fig. 5: Luftbild der Rigi-Südflanke oberhalb des Oberdorfes von Weggis vom September 2005. Punktiert umrandet der Prozessbereich des Schuttstromes von 1795.

Das Gebiet der 4 ha grossen Rutschscholle «Platz K» (Fig. 4), die sich während des Ereignisses laut Pfyffer (1795b) um 100-150 m weit hangabwärts verschob, hiess vor 1795 Allmendweid und war wohl eine schöne Weidefläche. Müller (1795) beschreibt, dass diese Hangscholle die Rutschbewegung relativ unversehrt überstanden hat. Der aufgestauchte, steile Vorderrand dieser Rutschscholle hinterliess bei Pfyffer (1795b) jedoch einen unsicheren Eindruck.

Ablagerungsbereich

Der mengenmässig grösste Teil der Ablagerungen blieb in der Nähe des Seeufers auf einer relativ flachen Hanglage liegen. Das Pauschalgefälle des Schuttstromes beträgt etwa 18° (32%).

Auf einem alten Gemälde von ca. 1850 sind im Gebiet zwischen Zingeli und der Blauweid grosse Blöcke dargestellt. Diese sind jedoch im 20. Jahrhundert von den Landnutzern fast alle entfernt worden.

Der vom Schuttstrom von 1795 am stärksten betroffene Ortsteil Rubi ist heute wieder vollständig überbaut, so dass keine Spuren des Ereignisses mehr vorhanden sind. Auch die Seeuferlinie hat sich seither stark verändert,

da zur Landgewinnung immer wieder grosse Uferaufschüttungen, zum Teil auch mit massiven Holzkästen, vorgenommen wurden. Vom 60 m breiten, halbkreisförmigen Uferutsch im Mündungsbereich des Rubibaches ist heute nichts mehr zu erkennen.

Sondierungen

Die Schuttstromablagerungen von 1795 wurden in zahlreichen Baugruben und Sondierungen angetroffen. Um abzuklären, ob noch ältere Schuttstromablagerungen vorhanden sind, wurden 2007 im Kegelhals oberhalb von Rubi zwei Rotationskernbohrungen bis zum anstehenden Fels abgeteuft.

Bei dem bis zu einer maximalen Mächtigkeit von 7 m erkundeten Schuttstrommaterial handelt es sich um einen grauen, tonig-kiesigen Silt von weicher Konsistenz mit unterschiedlichen Anteilen an Nagelfluhblöcken. In einer Baugrube wurde sogar ein vom Schuttstrom mitgerissenes, mehrere Dutzend Kubikmeter grosses Moränenpaket angetroffen. Bei Grabarbeiten in Rubi kommen immer wieder Gebrauchsgegenstände des 18. Jahrhunderts (Metallstücke, Porzellscherben, Besteck etc.) sowie Holzbalken und Obstbaumstämme ans Tageslicht.

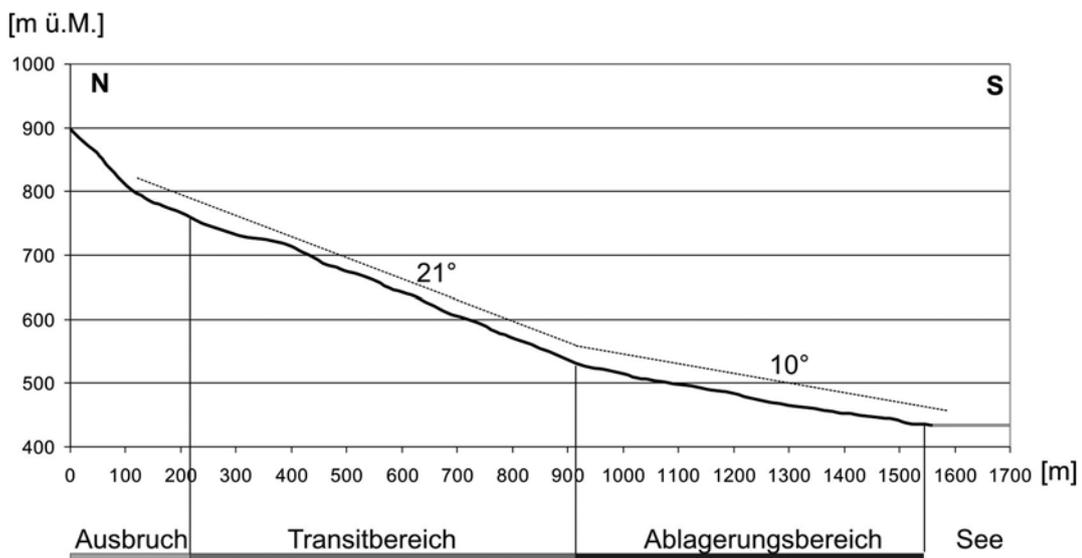


Fig. 6: Längsprofil vom Ausbruch über die Transitstrecke bis zum See.

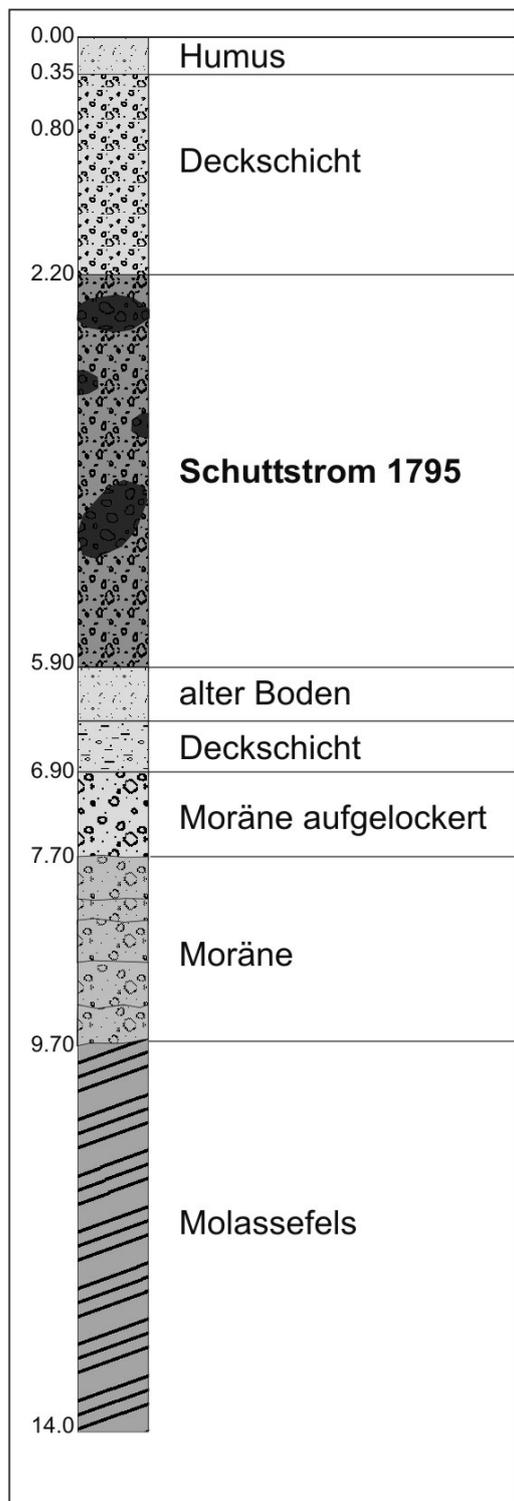


Fig. 7: Bohrprofil (vereinfacht) im Kegelhalsbereich des Schuttstromes.

Unter den Schuttstromablagerungen stiess man in allen Aufschlüssen auf den alten Boden. Darunter folgte stets die «normale» Abfolge Deckschicht-Moräne-Molassefels. In den vorliegenden Sondier- und Baugrubenaufschlüssen waren keine Hinweise auf ältere Schuttstromhorizonte zu finden (Fig. 7).

Stabilität der Schuttstromablagerungen

Im Ausbruchbereich von 1795 wurde beim Augustunwetter 2005 eine schwache Reaktivierung mit Verschiebungsbeträgen von wenigen Zentimetern festgestellt. Auch die neuesten Messresultate der geodätischen Überwachung des Ausbruchbereiches von 1795 zeigen, dass sich die Blockschutthalde im Gebiet des Steiwäldli im Zeitraum von November 2006 (Nullmessung) bis April 2008 (1. Folgemessung) um bis zu 8 cm talwärts bewegt hat.

Bei einer Baugrunderkundung im oberen Transitbereich des Schuttstromes wurde 1991 eine Sondierbohrung bis in den gewachsenen Fels abgeteuf und ein Inklinometer eingebaut (Louis 2007). Eine Nachmessung des Inklinometers im Februar 2006 zeigte eine talwärts gerichtete Verschiebung der Schuttstromablagerungen von 6 mm in 2.5 m Tiefe an.

Im Siedlungsgebiet Rubi haben die weichen und setzungsempfindlichen Schuttstromablagerungen schon mehrfach bautechnische Probleme bereitet und zusätzliche Aufwändungen für Baugrubensicherungen und Gebäudefundationen (Pfählungen) verursacht.

Massenbilanz

Für die Abschätzung der Kubatur der mobilisierten Locker- und Festgesteinsmassen sind die Angaben von Müller (1975) und Pfyffer (1795a und 1795b) sehr wertvoll:

Während die meisten Massangaben der beiden Chronisten zum Schuttstrom recht gut übereinstimmen, unterscheiden sich ihre Zahlen zur flächenmässigen Ausdehnung der Verwüstung deutlich voneinander.

Die auf dem Plan von Pfyffer 1795b (Fig. 2)

braun eingetragene Fläche des Schuttstromes beträgt ca. 206'000 m² (Flächenberechnung im GIS). Wenn man die Fläche der abgerutschten Hangscholle («Platz K») hinzu rechnet, erhält man 263'000 m²; dieser Wert stimmt sehr gut mit der Angabe auf dem Plan von Pfyffer (1795b) überein. Demgegenüber ist die von Müller (1795) angegebene Fläche (432'000 m²) deutlich zu hoch angesetzt und entspricht eher einer groben Schätzung.

Ausbruchkubatur: Gemäss Pfyffer (1795b) war der Anrissrand bis zu 30 m hoch; die Breite der Ausbruchmulde betrug 75-100 m und ihre Länge 300-350 m. Das Volumen des keilförmigen Ausbruchkörpers lässt sich aufgrund dieser Angaben grob auf 500'000 - 750'000 m³ eingrenzen. Weitere 100'000 - 150'000 m³ Lockermaterial wurden an der Front der 4 ha grossen Rutschscholle («Platz K») unterhalb Tannenberg mobilisiert.

Ablagerungskubatur: In zahlreichen Sondierungen und Baugruben wurden die Schuttstromablagerungen mit Mächtigkeiten von

37 m angetroffen. Anhand der seismischen Untersuchung können die Ablagerungsmächtigkeiten im Ausbruchbereich auf 5-8 m eingegrenzt werden. Müller (1795) und Pfyffer (1795b) geben eine maximale Ablagerungsmächtigkeit von 9 m im Kegelbereich des Schuttstromes an.

Rund 80'000 m³ grossblockiges Schuttmaterial wurde im Ausbruchbereich des «Steiwäldli» abgesetzt. Etwa 175'000 m³ blieben im mit 21° geneigten Transitbereich, d.h. in der Mulde des ehemaligen Mühlebaches sowie im Seitenarm zwischen Tannenberg und Zingeli, liegen. Auf dem mit ca. 10° geneigten Schuttkegel des Mühlebaches breitete sich der Schuttstrom seitlich aus und lagerte rund 300'000 m³ Schuttmaterial ab (Fig. 8).

Die Kubatur der terrestrischen Ablagerungen beträgt somit rund 550'000 m³. Hinzu kommt die um 100-150 m weit verschobene Hangscholle «Platz K» (Pfyffer 1795b) zwischen Battlisrubi und Zingeli, welche eine Kubatur von 200'000-300'000 m³ aufweist.

	Thaddäus Müller (1795)		Jost Pfyffer (1795)	
	Massangabe im Text	Heutige Masseinheiten	Massangabe im Text	Heutige Masseinheiten
Fläche verwüstetes Land	> 120 Juchart	> 432'000 m ²	72.5 Juchart	261'000 m ²
Länge des Anrisses	1053 Schuhe	316 m	1053 Schuhe	316 m
Distanz vom oberen Anrissrand bis zum See	5372 Schuhe	1619 m	5314 Schuhe	1594 m
Schmalste Stelle des Schuttstromes	308 Schuhe	93 m	240 Schuhe	72 m
Breite Schuttstrom am Seeufer	1064 Schuhe	320 m	1046 Schuhe	314 m
Max. Mächtigkeit der Schuttstromablagerung im Dorf	> 30 Schuhe	> 9 m	20-30 Schuhe	7-9 m
Tiefe der neuen Quelle unter der ehemaligen Terrainoberfläche im Ausbruchbereich	---	---	90 Schuhe	27 m
Tiefe der neu entstandenen Bucht	38-70 Schuhe	11.5-21 m	38 Schuhe	11.5 m
Höhendifferenz Ausbruch – See	---	---	1476 Schuhe	442.5 m
Fläche «Platz K» (= heutiges Gebiet Ried)	---	---	12 Juchart	43'200 m ²
Verschiebungsbetrag der Fläche «Platz K»	---	---	> 200 Schritt	> 150 m

*(1 Schuh = 30.14 cm, 1 Schritt = ca. 0.75 m, 1 Juchart = 36 Aren)

Tab. 1: Massangaben zum Schuttstrom Weggis nach Müller (1795) und Pfyffer (1795b).

5. Subaquatische Fortsetzung des Schuttstromes

Fig. 9 zeigt einen Ereigniskatalog im Seebecken vor Weggis anhand des Bohrkernes WG-06-T. Die unterseeische Fortsetzung des Schuttstromes war bislang nicht eindeutig geklärt. Denn limnogeologische Untersuchungen von 1985 bis 2004 bewerteten das Vorkommen einer Ablagerung im Vitznauerbecken, welche mit dem Ereignis von 1795 korreliert werden könnte, kontrovers: Hsü & Kelts (1985) brachten einen Horizont mit dem Ereignis von 1795 in Verbindung, welcher aber bereits zwei Jahre später auf 1601, als

erdbebeninduzierte subaquatische Rutschungsablagerung, datiert werden konnte (Siegenthaler et al. 1987). Lemcke (1992) postulierte schliesslich, dass der Schuttstrom von 1795 im Vierwaldstättersee keine Spuren hinterlassen habe. Schnellmann (2004) hingegen wies aufgrund neuer seismischer Daten einen Ablagerungshorizont nach, den er dem Ereignis von 1795 zuordnete. Zur Gewinnung detaillierter Daten über Ausbreitung und Volumen der subaquatischen Fortsetzung des Schuttstromes wurden im

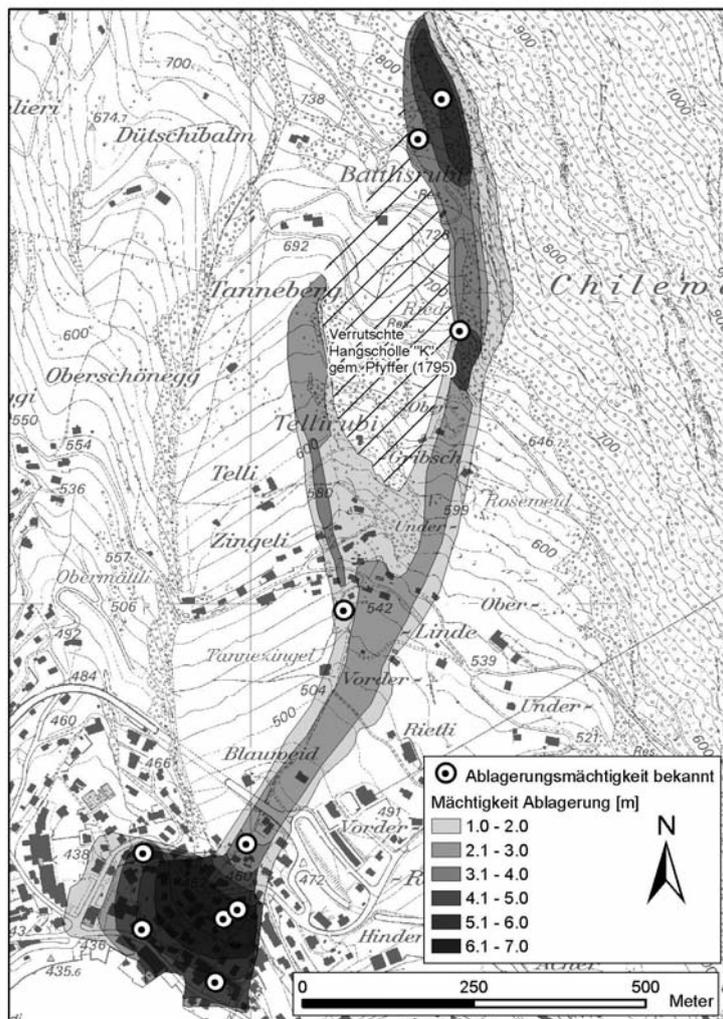


Fig. 8: Ablagerungsmächtigkeiten im terrestrischen Wirkungsraum des Schuttstromes.

Mai 2006 von der limnogeologischen Gruppe der ETH Zürich im Seebecken vor Weggis seismische Untersuchungen durchgeführt. Damit konnte das Vorhandensein einer Rutschungsablagerung vor Weggis nach 1601 eindeutig nachgewiesen werden. Im Juni 2006 wurden zusätzlich noch Seesedimente gezogen.

Erkenntnisse aufgrund der seismischen Daten

Die Gesamtlänge des seismischen Netzes betrug rund 30 km (Fig. 10). Als seismische Quelle und Empfänger wurde ein 3.5 kHz ORE-Single-Channel-System verwendet. Die

seismischen Linien wurden senkrecht zu den Isohypsen des Seebodens angelegt; einzelne Linien verlaufen auch parallel dazu, um die Ablagerung dreidimensional zu erfassen.

Die N-S gerichteten seismischen Linien, welche vom Ufer in Weggis bis in die Mitte des Vitznauerbeckens reichen, lassen in den obersten 10 m deutlich zwei Ablagerungen erkennen, die aufgrund ihrer transparenten seismischen Fazies als Rutschungsablagerungen interpretiert werden können.

Bei der älteren und mächtigeren Einheit 1 (Fig. 11) handelt es sich um eine erdbebeninduzierte subaquatische Rutschungs-

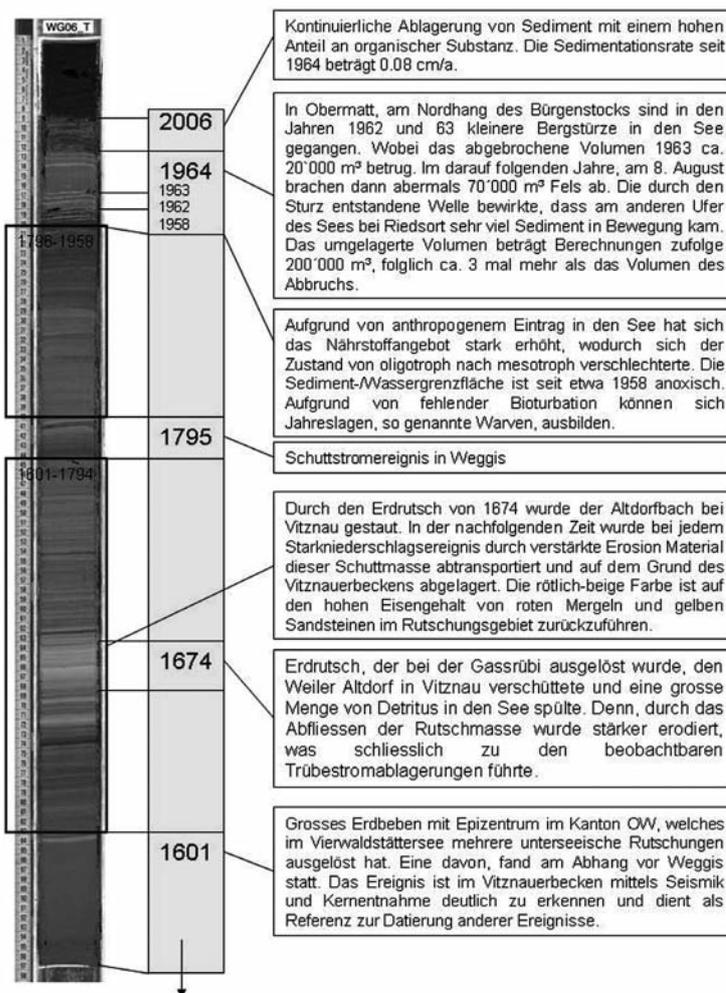


Fig. 9: Ereigniskatalog des Vitznauerbeckens von 1601 bis 2006.

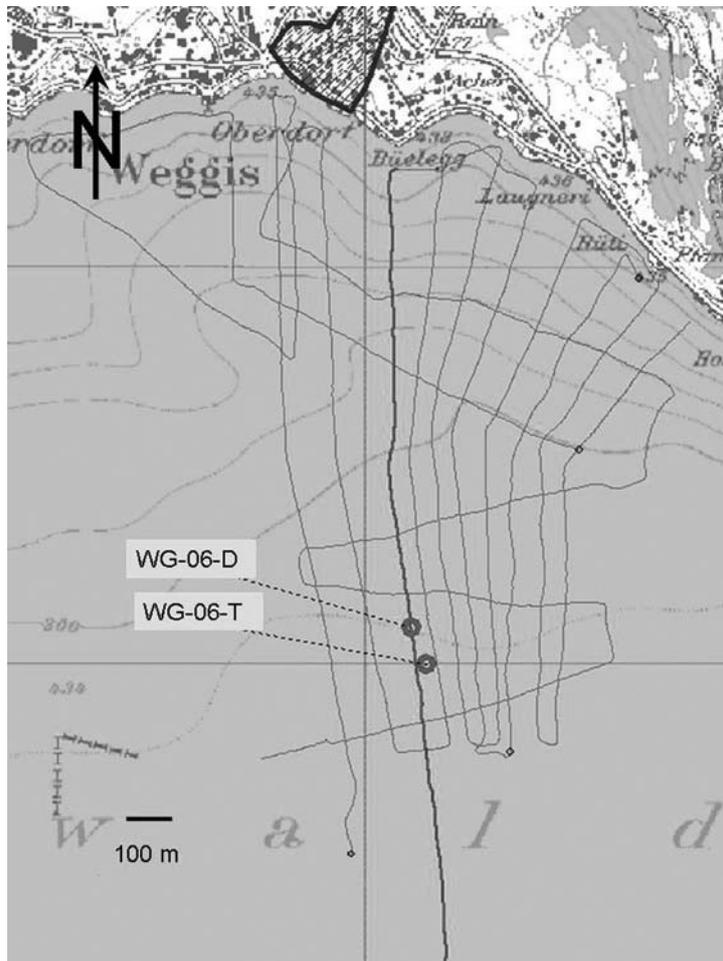


Fig. 10: Karte vor Weggis: seismisches Netz, mit der dargestellten Profillinie (dunkel) und den zwei Kernbohrungen WG-06-D und WG-06-T. Die schraffierte Fläche im Bereiche des Oberdorfes zeigt die Ausbreitung des Schuttstromes entlang des Seeufers.

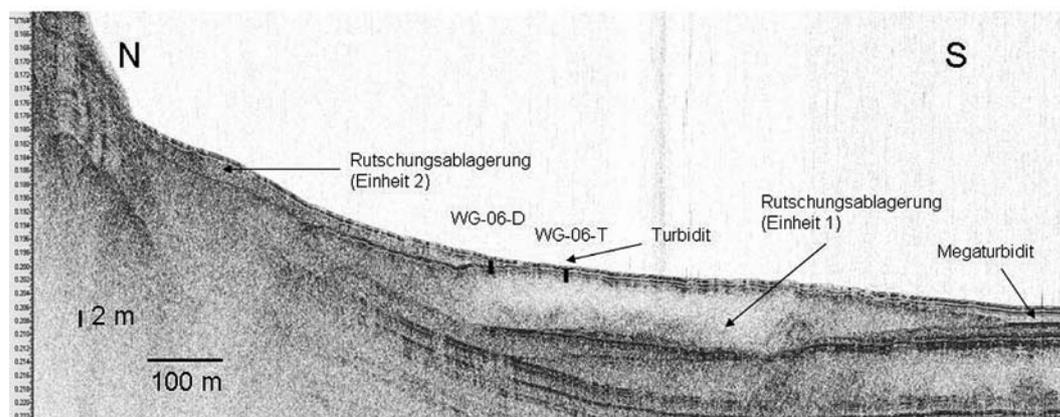


Fig. 11: Seismisches Profil vor Weggis (Profilsur in Fig. 10) mit den beiden Rutschungsablagerungen (Einheit 1 und 2) und den entnommenen Kurzkernen WG-06-D und WG-06-T.

ablagerung (Schnellmann et al. 2007). Die jüngere Einheit 2 wurde als 1795er Ablagerung interpretiert (Zwyer 2006). Zur genauen Klärung wurden 8 Kurzkerne der Seebodenablagerungen entnommen. Die Kerne WG-06-D und WG-06-T zeigen klar die Zusammensetzungen und Beziehungen der beiden Ereignisse (Fig. 11, 12).

Resultate der Kerndaten

Die Kerne zeigen einen gewarvten oberen Teil und eine Wechsellagerung aus grauem, siltigem Hintergrundsediment und häufig auftretenden, rötlich-beigen Turbiditen (Fig. 12). Der proximalere Kern WG-06-D enthält zwei chaotische Einheiten, welche als Rutschmassen interpretiert werden können. Der distalere Kern hingegen enthält nur die untere, ältere Rutschmasse (Einheit 1), wäh-

rend anstelle der oberen Einheit ein relativ stark gradierter, mehrphasiger sandig-siltiger Turbidit zu finden ist. Aufgrund der Tatsache, dass die mächtige Ablagerung (Einheit 1) an der Basis des Kerns auf das Jahr 1601, die rötlich-braune Turbiditabfolge auf 1674 (Gassrübi Rutsch in Vitznau) und die graue, homogene Ablagerung im oberen Bereich des Kerns auf 1964 (Felssturz im Steinbruch Obermatt am Bürgenstock mit 1-2 m hoher Schwallwelle im 3.5 km entfernten Weggis) datiert sind, kann die mittlere Rutschmasse (Einheit 2) eindeutig dem Schuttstrom von 1795 in Weggis zugeordnet werden. Ein Indiz, welches diese Hypothese ebenfalls unterstützt, ist das Vorhandensein von Holz, Blättern und Kies in dieser Einheit, was klar auf einen terrestrischen Ursprung hinweist.

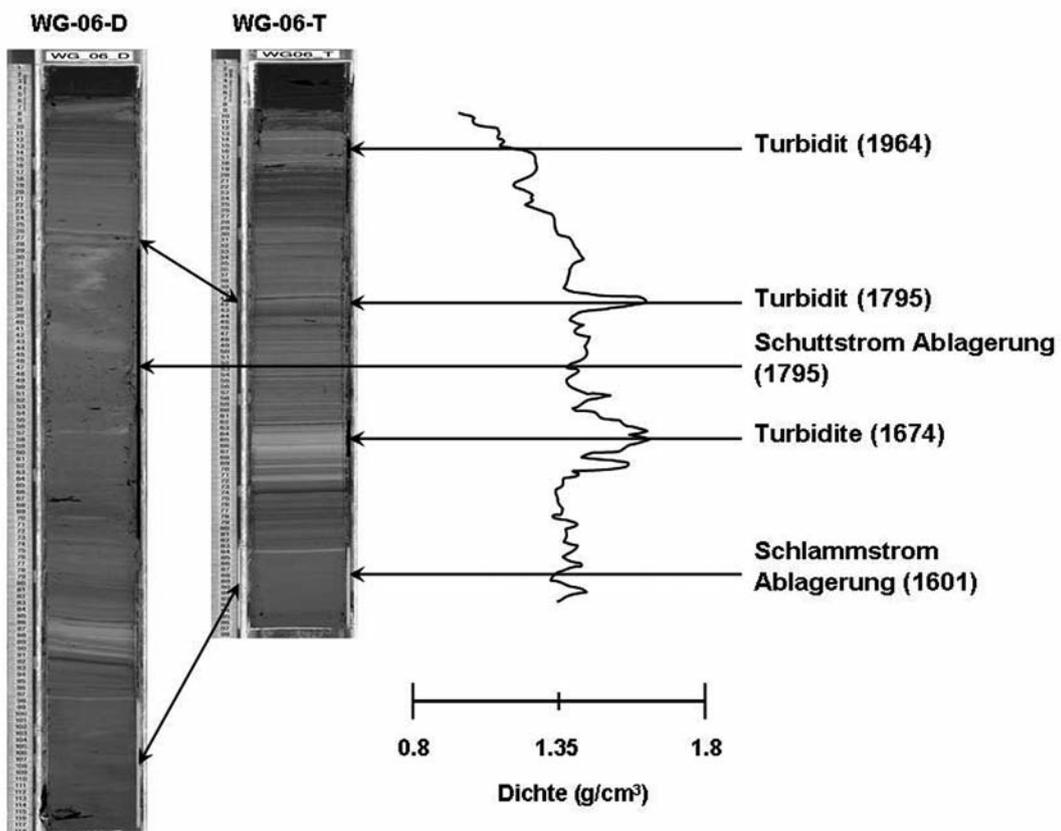


Fig. 12: Die im distalen Bereich gelegenen Kerne WG-06-D und WG-06-T und das Dichteprofil von WG-06-T.

Bei der oberen Rutschungsablagerung, bestehend aus lakustrischen und terrestrischen Komponenten, handelt es sich um die unterseeische Fortsetzung des Schuttstromes von 1795. Die Form der abgelagerten Rutschmasse deutet auf einen Fließweg im See hin, welcher stark von der Morphobathymetrie des Seebodens abhängig war (Fig. 13). Die Rutschmasse wurde kanalisiert und sedimentierte am Fusse des Seeabhanges mit einer maximal nachgewiesenen Mächtigkeit von 2.1 m und einer Ausbreitung von ca. 100'000 m². Mittels der seismischen Daten konnte eine mittlere Ablagerungsmächtigkeit bestimmt und somit ein Ablagerungsvolumen von ca. 140'000 m³ berechnet werden.

Fazit

Insgesamt wurden beim Ereignis von 1795 rund 0.8 bis 1.0 Mio. m³ Lockergesteins- und Felsmassen umgelagert, wovon rund 0.6 bis 0.7 Mio. m³ als Schuttstrom abflossen. Davon wiederum gelangte ein Teil in den See und remobilisierte lakustrische Sedimente, was schliesslich zu einer Ablagerung von ca. 140'000 m³ Rutschmasse auf dem Seegrund führte.

6. Wetterrekonstruktion im Jahr 1795

Zur Vorgeschichte

Ein Blick auf die grossräumigen Niederschlagsverhältnisse von Januar bis Mai 1795

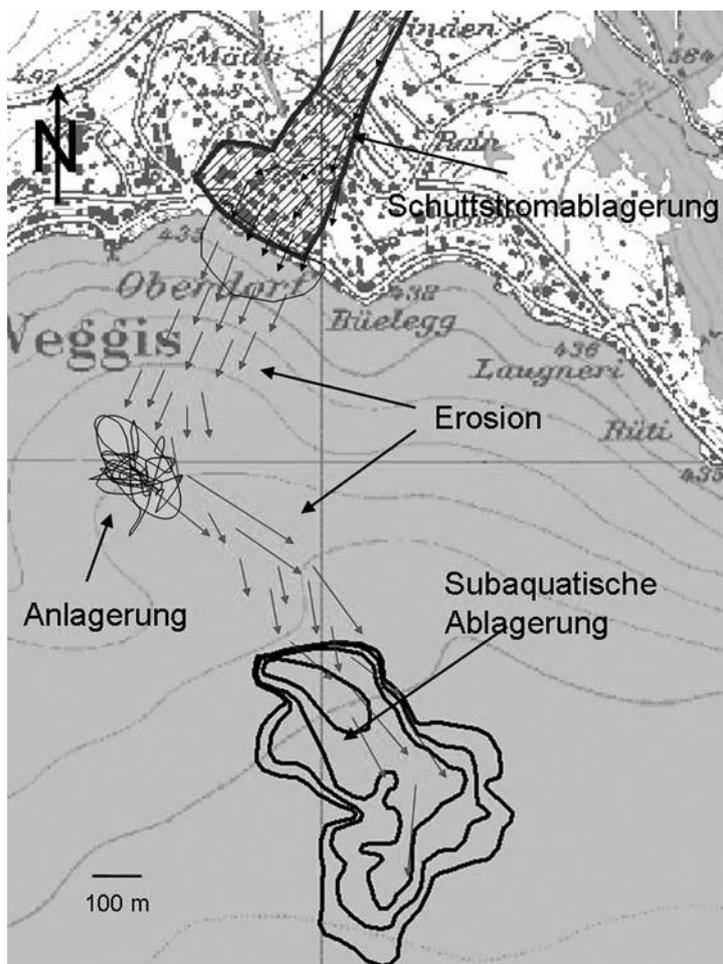


Fig. 13: Fließpfad der Rutschmasse und deren Ausmass (Äquidistanz der Ablagerungskurven: 0.7 m) mit einer Kubatur von ca. 140'000 m³.

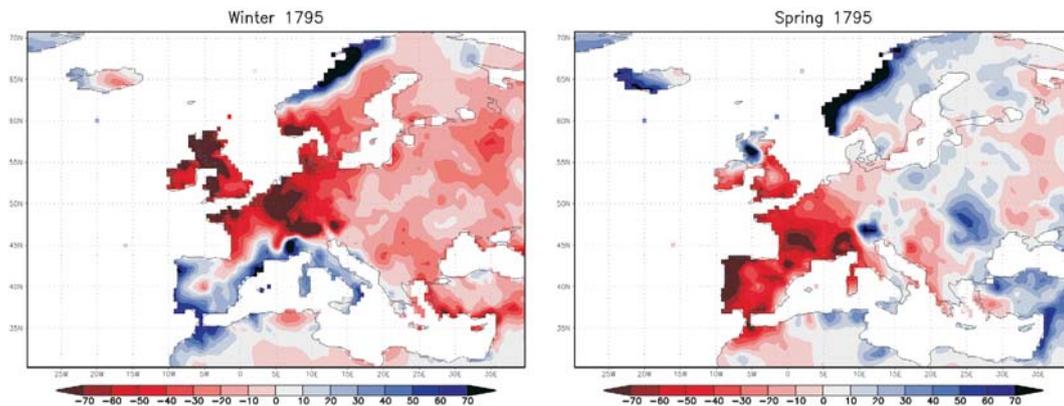


Fig. 14: Niederschlagsanomalien (Abweichungen in mm) für den Winter 1795 (Dezember 1794 bis Februar 1795) [links] sowie für den Frühling 1795 (März bis Mai) [rechts]. Regionen mit roter Farbe bezeichnen Gebiete mit unternormalen, Regionen mit blauer Farbe solche mit übernormalen Niederschlagsmengen verglichen zu heutigen Bedingungen (Quelle: Pauling et al. 2006).

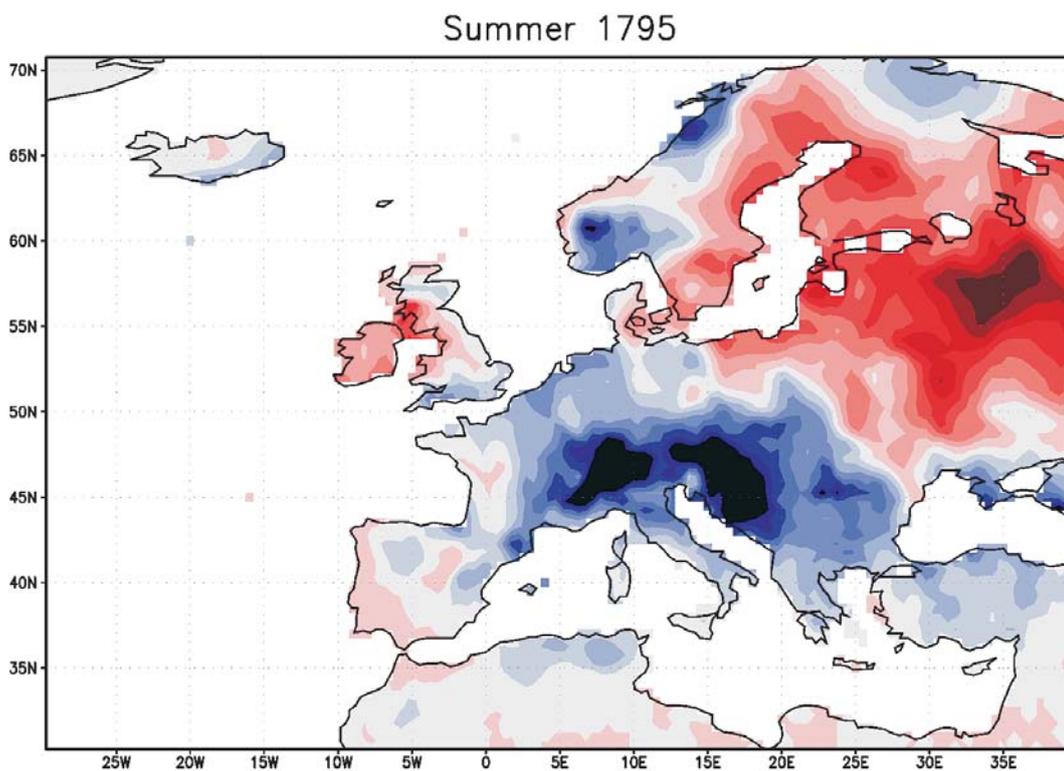


Fig. 15: Niederschlagsanomalien (Abweichungen in mm) für den Sommer 1795 (Juni-August 1795). Regionen mit roter Farbe bezeichnen Gebiete mit unternormalen, Regionen mit blauer Farbe solche mit übernormalen Niederschlagsmengen verglichen zu heutigen Bedingungen (Quelle: Pauling et al. 2006).

zeigt, dass der Januar sowie der März 1795 eher trocken waren. Kein deutliches Signal zeigt sich im Februar 1795. Auch der April 1795 weist kein Niederschlagsplus an den meisten zur Verfügung stehenden Stationen auf. Der Mai 1795 war meist trocken bis sehr trocken. Wie in Kap. 3.2 erwähnt, sind in diese Analyse jedoch keine Daten von Schweizer Stationen eingeflossen.

Selbstverständlich sind räumliche Unterschiede möglich, weil Niederschlag in Raum und Zeit sehr variabel ist. Dies wird auch aus den jahreszeitlich gemittelten Winter- und Frühlingsniederschlagsabweichungskarten ersichtlich (Fig. 14). Im Winter und im Frühling 1795 war es auf der Alpennordseite deutlich zu trocken (Pfister 1999, Pauling et al. 2006), im Winter zudem deutlich zu kalt (Luterbacher et al. 2004, 2007), im Frühling dagegen deutlich wärmer (Xoplaki et al. 2005). Vom nordwestlichen Böhmen (Tschechische Republik) wurde folgendes berichtet: «In diesem Jahre herrschte ein langer strenger Winter; am 26. Mai gefroren die Bäche aufs Neu zu» (Heger 1914, p. 77).

Synoptische Interpretation Juni und Juli 1795

Mit den Niederschlägen an den verschiedenen Stationen Europas von Juni 1795 kann man zeigen, dass sich die sehr hohen Werte, wie sie Zeitgenossen beschrieben haben,

nicht bloss auf die Zentralschweiz beschränkten. Die historischen Berichte deuten auf lange Perioden (einige Wochen) von «Landregen» hin (mit grosser Wahrscheinlichkeit zusätzlich verstärkte gewittrige Regengüsse im Zusammenhang mit Trog-lagen, durchziehender Höhenkaltluft und labiler Schichtung). Die Orografie hat sicherlich ebenfalls eine grosse Rolle gespielt und dürfte die Niederschlagsintensität noch verstärkt haben.

Die Bodendruckverteilung für den Juni 1795 zeigt ein schwaches Azorenhoch, welches sich bloss bis Westfrankreich ausgedehnt hat (Fig. 16, links). Im Norden dagegen herrschte verstärkte Tiefdruckaktivität. Diese Druckkonstellation führt häufig zu Kaltluftausbrüchen und Advektion von feuchtkühler Luft aus Westen bis Nordwesten (östlicher Nordatlantik) in Richtung Britische Inseln, West- und Zentraleuropa. Dazu ist im Monatsmittel die Druckverteilung über Zentraleuropa sehr flach, was Konvektion, Hebung, Labilität und Gewitter begünstigt. Im Zusammenhang mit dieser grossräumigen Druckverteilung zeigen dementsprechend auch die zur Verfügung stehenden europäischen Stationen im Juni 1795 grosse Niederschlagsmengen. So zum Beispiel erhielt Mailand gut 200 mm, das sind rund 120 mm mehr als im Junimittel 1961-1990. Andere europäische Stationen zeigen ebenfalls übernorma-

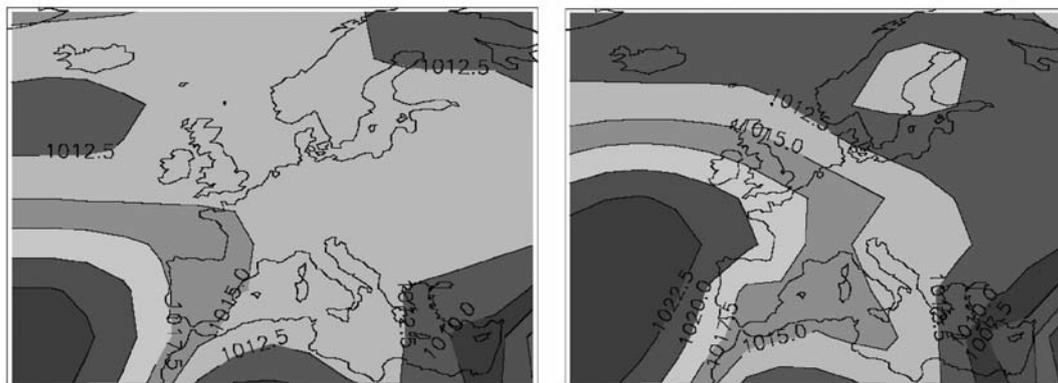


Fig. 16: Bodendruckverteilung (in hPa) Juni 1795 [links] und Juli 1795 [rechts] [Quelle: Luterbacher et al. 2002].

le Niederschlagsmengen. Es ist durchaus möglich, dass sich dieses generelle Muster mit unbeständigem, kühlem und feuchtem Wetter bis in die erste Hälfte Juli 1795 mehr oder weniger gehalten hat.

Eine grosse Rolle kommt allerdings auch den täglichen Zirkulationssystemen zu, die in den dargestellten Monats/Jahreszeitenmitteln nicht aufgelöst werden können, aber für effiziente Niederschlagsbedingungen sorgen. Starke und andauernde Niederschlagsereignisse ergeben sich zum Beispiel auch durch hochdruckbestimmte anstehende Kaltluft am Alpennordrand und ein südalpines Tief, verbunden mit Warmluft, die über den Alpen auf die Kaltluft aufgleitet. Zusammen mit dem starken Temperaturgegensatz führen diese Lagen zu Aufgleitniederschlägen über der nordalpinen Schweiz, verbunden mit gleichmässigem Überregnen, wie zum Beispiel geschehen am 13./14. Juli 1910 (Grebner 2005).

Interessant sind in diesem Zusammenhang die sehr zuverlässigen und detaillierten Überlieferungen aus der Tschechischen Republik, die den grossräumigen Charakter des trüben Wetters im Sommer 1795 deutlich widerspiegeln. Aus Nordböhmen zum Beispiel wird folgendes berichtet: «Am 7. Juli 1795 verursachte eine grosse Überschwemmung der Rasnitz (kleiner Fluss) erheblichen Schaden an Brücken und Wegen. Am 14. Juli folgte eine zweite und am 28. Juli eine dritte Überschwemmung» (Ressel 1900, p. 239). In Westböhmen weilte der damals 46-jährige Johann Wolfgang von Goethe; am 19. Juli schrieb er an Friedrich Schiller, dass er aufgrund des ungewöhnlich schlechten Wetters ganz kalte Finger habe (Goethe in Weigert 1999, pp. 41-42). Im nordwestlichen Böhmen wurde berichtet, dass am 15. Juli mit Eis vermischter Regen fiel und tags darauf Reif und Schnee lag (Heger 1914, p. 77).

In Nordböhmen war das Wetter im Juli 1795 folgendermassen: «erst der 3. und 4. July liessen das solange gelegene Heu wegführen. Und glücklich war, der es weg hatte; denn Abends kam ein Landregen, und diesen folgten Streif-

güsse bis zum 7ten, die unsere Fluren zwar nicht erreichten. Der 8te war wieder schön, am 9ten aber war ein Gewitterregen mit starken Schlossen (Hagel) im Jäschkenberge, worauf täglich Strichregen folgten, bis am 13. und 14. neue Regentage eine Überschwemmung brachten» (Lehmann 1842).

Überlieferungen aus Zentralböhmen (Milčice) berichten, dass es am 4. Juli 1795 zu regnen begonnen habe und dass es deswegen zu Ernteverzögerungen gekommen sei. Vom 7.-11. Juli habe es ununterbrochen geregnet. Am 11. Juli habe die Ernte in Milčice begonnen, am Nachmittag des 12. Juli setzte wiederum Regen ein und vom 13.-14. Juli habe es wieder andauernd geregnet, so dass die Ernte erneut ausgesetzt werden musste. Die Bäche und Flüsse seien stark angeschwollen und auch die Elbe habe Hochwasser geführt (Skopec 1916, p. 19-20).

In der zweiten Hälfte des Monats Juli 1795 stabilisierte sich dann die Situation langsam durch das nordostwärts gerichtete Vorstossen des Azorenhochs (im Monatsmittel unterscheidet sich der Juli 1795 nicht gross zum langjährigen Julidruckmittel).

Interessant ist die Stationsniederschlagsverteilung im Juli 1795: Mailand erhielt im gesamten Monat gut 110 mm, das sind rund 40 mm mehr als im langjährigen Julidurchschnitt. Die anderen Stationen lassen kein klares Bild erkennen. Wie oben erwähnt, weist dies darauf hin, dass sich das Wetter im Laufe des Juli 1795 allmählich besserte und stabilisierte. Das Azorenhoch verlagerte sich im Monatsmittel in Richtung Alpenraum und weiter nach Osten (Fig. 16, rechts). Die Niederschlagsabweichungen für den gesamten Sommer 1795 (Juni-August) sind in Fig. 15 dargestellt. Diese zeigt die grössten Niederschlagsabweichungen im Vergleich zu heute (blaue Regionen) im Alpenraum sowie etwas weiter Richtung Osten. Die oben erwähnten unabhängigen Überlieferungen von Böhmen bestätigen diese Niederschlagsverteilung.

Fazit

Wahrscheinlich stellen die Niederschläge, die Mitte Juli 1795 kurz vor der Auslösung des Schuttstromes niedergingen, das «Zünglein an der Waage» dar. Entscheidend war wohl die «Vorgeschichte» mit lang anhaltender Trockenheit von Januar bis Mai, gefolgt von den kumulativen lang anhaltenden «Landregen» im Juni und anfangs Juli. Darüber hinaus können auch intensive konvektive Niederschläge (oder im Zusammenhang mit Fronten), verstärkt durch die Orografie, eine massgebliche Rolle gespielt haben. Überlieferungen aus anderen Regionen des Alpenvorlandes, namentlich aus West Tschechien, zeigen, dass das Wetter im Juni und Juli 1795 ebenfalls sehr feucht war und dass Überschwemmungen auftraten, welche zeitlich einhergehen mit jenen Vorgängen in der Zentralschweiz.

Grossräumig haben im Monatsmittel vor allem das schwache Azorenhoch im Juni 1795 und anfangs Juli 1795 sowie die wiederholte Tiefdruckaktivität über dem Nordatlantik/Europäischen Raum, verbunden mit der Zufuhr von feucht-kühlen Luftmassen aus Nordwesten und häufigen Gewitterlagen infolge flacher Druckverteilung (grosse Luftmassengegensätze) sowie wahrscheinlich wiederholte Tiefdruckaktivität auf der Alpensüdseite, eine grosse Rolle für die lange Schlechtwetterperiode und die grossen Regenmengen zu jener Zeit gespielt.

7. Beurteilung des vorhandenen Gefahrenpotenzials

Weder an Land, noch in den Seeablagerungen vor Weggis finden sich Hinweise auf weitere grosse Schuttströme. Die vorliegenden Erkenntnisse lassen eindeutig den Schluss zu, dass ein Schuttstrom in der Art und im Ausmass von 1795 seit dem Ende der Würm-Eiszeit vor 12'000 Jahren auf dem Gemeindegebiet von Weggis bisher nur ein einziges mal (1795) aufgetreten ist.

Am Rigi-Südfuss sind jedoch auch grosse

Hangmurenablagerungen und Felssturzablagerungen oberhalb von Weggis bekannt. Beispielsweise wurden nach dem Unwetter vom 22./23. August 2005 an verschiedenen Stellen Baumstämme in alten Rutschablagerungen in 4-5 m Tiefe angetroffen, deren Alter mit der Radiocarbonatierung auf ca. 8'650 Jahre (Esche) und auf ca. 2'600 Jahre (Weisstanne) bestimmt wurde.

Beim Augustunwetter 2005 ereigneten sich im Weggiser Ortsteil Laugneri grosse debris slides (ca. 17'000 m³), wodurch drei Wohnhäuser zerstört wurden. Im Chilewald oberhalb von Weggis auf ca. 1100 m ü. M. fanden grossflächige Hangdeformationen von mehreren Zehntausend Kubikmetern statt und um 1000 m ü. M. brachen drei grosse Hangmuren von je mehreren tausend Kubikmetern aus. Gleichzeitig wurden auch im Ausbruchbereich des Schuttstromes von 1795 auf 800 m ü. M. mehrere Dutzend Meter lange Zugrisse festgestellt und an der Front der Blockschutthalde Steiwäldli trat eine Sekundärrutschung auf. Auch die Inklinometermessungen sowie die geodätischen Überwachungsmessungen von April 2008 im Ausbruchbereich von 1795 belegen, dass die Schuttstromablagerungen nicht stabil sind. Aufgrund der unveränderten geologisch-hydrogeologischen Grunddispositionen sind die Voraussetzungen für die Entstehung eines Schuttstromes heute noch genau gleich wie 1795. Am 22. April 2008 brach im Lützelauerwald nach einem 60 mm-Regen ein 5'000 m³ grosser Felssturz aus, der erneut vor Augen geführt hat, dass die Verwitterung der Rigi ständig in Gange ist.

Die enormen Regenmengen an der Rigi vom 21.-23. August 2005 (330 mm in 72 Stunden), welche in die Wiederkehrperiode 100-300 Jahre eingeordnet werden, reichten (noch) nicht aus, um einen neuen grossen Schuttstrom oberhalb von Weggis auszulösen.

Der UNO-Bericht des Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, 2007) prophezeit, dass aufgrund des Klimawandels künftig vermehrt mit «sintflutartigen» Sommerniederschlägen (trotz generell trockenere-

ren Sommern) zu rechnen sei. Niederschlagsmengen, die heute noch als Wiederkehrperiode >300 («äusserst selten») Jahre betrachtet werden, müssen möglicherweise bei künftigen Gefahrenanalysen als ein 100-300 jährliches («sehr selten») oder sogar als ein 30-100 jährliches Ereignis («selten») eingestuft werden.

Auf der Grundlage der aktuellen Beurteilungskriterien wird das Szenario eines Schuttstromes im Ausmass von 1795 in der Gefahrenkarte Weggis als Restgefährdung (Wiederkehrperiode >>300 Jahre) beurteilt, woraus sich aus rechtlicher Sicht keine

raumplanerischen Konsequenzen ergeben. Bei einem siebenwöchigen Dauerregen, so wie im Juni/Juli 1795 in Weggis geschehen, wären allerdings grosse Hangausbrüche und Schuttströme an der Rigi-Südflanke ein realistisches Szenario. Bei einem erneuten Abgang eines grossvolumigen Schuttstromes oberhalb von Weggis würden praktisch wieder die gleichen Dorfteile wie 1795 betroffen. Es empfiehlt sich daher eine weitsichtige Raumplanung, welche darauf abzielt, das Schadenpotenzial im möglichen Prozessbereich eines Schuttstromes nicht weiter zu erhöhen.

Dank

Vorliegender Artikel ist eine Kurzfassung des Untersuchungsberichtes «Schuttstrom 1795 in Weggis, Rekonstruktion des Ereignisses und Beurteilung des Gefahrenpotenzials» (Louis 2007), der im Rahmen der Überarbeitung der Gefahrenkarte Weggis nach dem Unwetter vom August 2005 erstellt wurde. Unser besonderer Dank gilt der Gemeinde Weggis für die Genehmigung, die Untersuchungsergebnisse publizieren zu dürfen.

Im Weiteren danken wir folgenden Personen und Institutionen für Ihre freundliche Unterstützung: Josef Muheim aus Greppen für die Transkriptionen der handschriftlichen Archivdokumente; Josef Kützel sen., Adolf Schriber, Isidor Waldis, Eduard Zurmühle, Josef Zurmühle († 2007), Josef Waser-Kützel, alle aus Weggis, für ihre wertvollen lokalhistorischen Informationen; Regionalmuseum der Seegemeinden Vitznau, für die Erlaubnis, den Plan von Pfyffer (1795b) im vorliegenden Artikel abdrucken zu dürfen; Frau Margrit Barsch-Bucher und Gallus Bucher, für die Sammlung der Artikel in der Wochenzeitung über den Schuttstrom von 1795, die der Lokalhistoriker Anton M. Bucher († 1990) verfasst hat; Urs Bläsi, HB-2030 (www.airbox.ch); Dr. G. Egloff, Staatsarchiv Luzern; Prof. Dr. C. Pfister, Historisches Institut Universität Bern; Dr. E. Waser, Mitverfasserin des Luzerner Namenbuches (2006); Dr. H. Horat, Direktor des Kunsthistorischen Museums Luzern; Prof. Dr. Brazdil, Geografisches Institut Universität Brunn (Tschechische Republik); Dr. D. Bollinger, Leiter Fachbereich Naturgefahren, Kantonsforstamt Schwyz; Oeschger Centre for Climate Change Research (OCCR) und NCCR Climate; Dr. F.S. Anselmetti, Leiter der sedimentologischen Gruppe an der EAWAG.

Literatur

- Berichte der Schwyzerischen Naturforschenden Gesellschaft. Vierzehntes Jahresheft 2003. Geologie und Geotope im Kanton Schwyz.
- Bucher, A. M. 1945: Der Erdschlipf in Weggis vor 150 Jahren. Wochenzeitung Weggis Vitznau Greppen, 1945 Nr. 28-32.
- Buxtorf, A. & Kopp, J. 1943: Über das Unterstam-pien der Rigi und über Querbrüche in der Molasse zwischen Vierwaldstätter- und Zugersee. *Eclogae geol. Helv.* 36/2, 291-301.
- BWG 2006: Geologischer Atlas der Schweiz, Blatt 1151 Rigi, 1: 25'000. BWG 2006, mit Erläuterungen von R. Hantke.
- Casty C., Wanner H., Luterbacher J., Esper J., Böhm R. 2005: Temperature and precipitation variability in the European Alps since 1500. *International Journal of Climatology* 25: 1855-1880.
- GeoExpert AG 2005: Rutschgebiete Müseralp und Tellirubi – Seismische Kartierung der Untergrundstrukturen. Untersuchungsbericht im Auftrag der Gemeinde Weggis.
- Gimmi, U., Luterbacher, J., Pfister, C., & Wanner, H. 2007: A method to reconstruct long precipitation series using systematic descriptive observations in weather diaries: the example of the precipitation series for Bern, Switzerland [1760-2003], *Theoretical and Applied Climatology*, 87, 185-197.
- Grebner, D. 2005: Wetter- und Zirkulationsentwicklung vom 13.-14. Juli 1910 und eine szenarische Ableitung für den Raum Aare.
- Heger, A. (1914): Chronik der Gemeinde Kommern. Im Selbstverlage, Kommern, 241 pp.
- Heim, A. 1882: Über Bergstürze. Neujahrsblatt der Naturforschenden Gesellschaft auf das Jahr 1882. Zürcher & Furrer, Zürich 1882.
- Heim, A. 1932: Bergsturz und Menschenleben. Fretz & Wasmuth Verlag A.G., Zürich.
- Hsü, K. & Kelts, K. (1985): Swiss Lakes as a Geological Laboratory. *Naturwissenschaften* 72, 315-321.
- IPCC, 2007: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, M., Marquis, M., Averyt, K.B., Tignor, M. & Miller, H.L. (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Kopp, J. 1937: Demonstration einer geologischen Karte an der Südseite der Rigi. In: *Eclogae geol. Helv.* 30/2, 234-235
- Kopp, J. 1937: Geologische Karte der Rigi 1:5'000. Unikat, Gletschergarten Luzern.
- Kopp, J. 1971: Geologie. In: Rigi, Königin der Berge [1971]: Jubiläumsschrift zur Hundertjahrfeier der Vitznau-Rigi-Bahn, Hallwag AG, Bern.
- Krütlin 1797: Urkunde Nr. 4 vom 9. November 1797. Gefunden im Turmknopf der katholischen Kirche von Weggis im Februar 1966. In: Bucher, A. M. (1945): Der Erdschlipf in Weggis vor 150 Jahren. Wochenzeitung Weggis Vitznau Greppen, Jahr 1945, Nr. 28 – 32.
- Lehmann A. (1842): Lesenwürdige Sammlungen zusammen getragen von Joseph Meissner Oekonomus in Böhmischdorf, Haus Nro. 16. Im Jahre nach Christi Geburt 1842. State District Archives Česká Lípa, Collection of manuscripts, sign. 13/3.
- Lemcke, G. 1992: Ablagerungen aus Extremereignissen als Zeitmarken der Sedimentationsgeschichte im Becken von Vitznau/Weggis, Diplomarbeit, Georg-August-Universität Göttingen, 154 S.
- Louis Ingenieurgeologie GmbH (2006): Unwetter vom 21./22. August 2005. Forstliches Sammelprojekt Weggis. Markierungsversuch Müseralp, Frühjahr 2006. Bericht 32-05-2.
- Louis Ingenieurgeologie GmbH (2007): Schuttstrom vom 15./16. Juli 1795 in Weggis. Rekonstruktion des Ereignisses und Beurteilung des vorhandenen Gefahrenpotenzials. Untersuchungsbericht Nr. 32-05, Februar 2007.
- Luterbacher, J., Xoplaki, E., Dietrich, D., Rickli, R., Jacobeit, J., Beck, C., Gyalistras, D., Schmutz, C. & Wanner, H. (2002): Reconstruction of Sea-Level Pressure Fields over the Eastern North Atlantic and Europe Back to 1500. *Climate Dynamics*, 18, 545-561.
- Luterbacher, J., Dietrich, D., Xoplaki, E., Grosjean, M. & Wanner, H. (2004): European seasonal and annual temperature variability, trends and extremes since 1500, *Science*, 303, 1499-1503.
- Luterbacher, J., Liniger, M.A., Menzel, A., Estrella, N., Della-Marta, P.M., Pfister, C., Rutishauser, T., and Xoplaki, E. (2007): The exceptional European warmth of Autumn 2006 and Winter 2007: Historical context, the underlying dynamics and its phenological impacts. *Geophysical Research Letters*, 34, L12704.
- Luzerner Namenbuch (2006): Forschungsstelle für Orts- und Flurnamen im Kanton Luzern. Flurnamen im Gebiet Weggis. www.staluzern.ch/namenbuch/onlinekarte/home.html.
- Meier, N., Rutishauser T., Pfister C., Wanner H. & Luterbacher J. (2007): Grape harvest dates as a proxy for Swiss April to August temperature reconstructions back to AD 1480, *Geophysical Research Letters*, 34, L20705.
- Müller, T. (1795): Der Erdbruch zu Weggis, in: Neues Schweizerisches Museum 1795, 7-12. Heft Zweiter Jahrgang, Zürich, Orell Gessner, Füssli & Comp., S. 641-650.
- Pauling, A., Luterbacher, J., Casty, C., & Wanner, H. (2006): 500 years of gridded high-resolution precipitation reconstructions over Europe and the connection to large-scale circulation. *Climate Dynamics*, 26, 387-405.

- Pfister, C. (1999): *Wetternachhersage – 500 Jahre Klimavariationen und Naturkatastrophen (1496-1995)*, Verlag Paul Haupt, Bern.
- Pfyffer, J. (1795a): *Situationsplan des Schuttstromes 1795 (Feldplan)*. Gemeindearchiv Weggis.
- Pfyffer, J. (1795b): *Situationsplan des Schuttstromes 1795 (Reinzeichnung handkoloriert)*. In: *Regionalmuseum der Seegemeinden Vitznau*.
- Ressel, A. (1900): *Geschichte des Friedländer Bezirkes. Nach den glaubwürdigsten Quellen. Beilage zur «Friedländer Zeitung»*. Druck von Franz Riemer, Friedland, 442 S.
- Rütimeyer, L. 1877: *Der Rigi, Berg, Thal und See, Naturgeschichtliche Darstellung der Landschaft*. B. Georg's Verlag.
- Rutishauser, T., Studer, S., 2007: *Klimawandel und der Einfluss auf die Frühlingsphänologie*. *Schweizer Zeitschrift für das Forstwesen*. 158, 105-111.
- Schnellmann, M. (2004): *Late Quaternary Mass-Movements in a Perialpine Lake (Lake Lucerne, Switzerland) – Sedimentary Processes, Natural Hazards and Paleoseismic Reconstructions*. Dissertation an der ETH Zürich.
- Schnellmann, M., Anselmetti, F.S., Giardini, D., and McKenzie, J.A. (2007): *15,000 years of mass-movement history in Lake Lucerne: Implications for seismic and tsunami hazard*, *Eclogae geol. Helv.*, in press.
- Skopec, J. (1916): *Paměti Františka J. Vaváka, souseda a rychtáře milčického z let 1770-1816 (Memories of František J. Vavák, a neighbour and a reeve of Milčice from 1770-1816)*. *Kniha třetí (Rok 1791-1801). Část II. (1795-1797)*. Nákladem „Dědictví sv. Jana Nepomuckého“, Praha, 111 pp.
- Siegenthaler, C., Finger, W., Kelts, K. & Wang, S. (1987): *Earthquake and Seiche Deposits in Lake Lucerne, Switzerland*. *Eclogae geol. Helv.* 80. 241-260.
- Staatsarchiv Luzern, Akte MU/126 und RP 161, 294v-295r, 303v: *Protokolle und Urkunden des Rates von Luzern mit Bezug zum Schuttstrom Weggis 1795*.
- Vogel, A., Hantke, R. 1988: *Zur Geologie des Rigigebietes*. In: *Mitteilungen der Naturforschenden Gesellschaft Luzern, Band 30*.
- Weigert, L.J. (1999): *Goethe a Karlovy Vary I. 1785–1808 (Goethe and Karlovy Vary I.)*. *Historický sborník Karlovarska VII. SOKA, Karlovy Vary*, p. 34-57.
- Wochenzeitung Weggis Vitznau Greppen: *Ausgaben 04.03.1966 und 15.04.1966*.
- Xoplaki, E., Luterbacher, J., Paeth, H., Dietrich, D., Steiner N., Grosjean, M., & Wanner, H. (2005): *European spring and autumn temperature variability and change of extremes over the last half millennium*. *Geophysical Research Letters*, 32, L15713.
- Zwyer, T. (2006): *Die unterseeische Fortsetzung des Schuttstromes von Weggis im Jahre 1795*. Bachelorarbeit an der ETH Zürich, 74 S.