

Zeitschrift: Eclogae Geologicae Helvetiae
Herausgeber: Schweizerische Geologische Gesellschaft
Band: 75 (1982)
Heft: 3

Artikel: Felsbewegungen und Uferabbrüche an Schweizer Seen, ihre Ursachen und Auswirkungen
Autor: Huber, Andreas
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-165242>

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: 24.04.2026

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

Felsbewegungen und Uferabbrüche an Schweizer Seen, ihre Ursachen und Auswirkungen

VON ANDREAS HUBER¹⁾

ZUSAMMENFASSUNG

Erosionsprozesse und Eingriffe des Menschen verursachen Felsstürze an Steilufern und Abbrüche unstabiler Seeufer. Unglücke und Zerstörungen durch das bewegte Gestein direkt, durch ausgelöste Schwallwellen bzw. durch absinkende Ufer sind die Folge.

Bekannte Ereignisse aus der Schweiz, bis ins 15. Jahrhundert zurückreichend, werden chronologisch geordnet und kurz nach Ursache, Bewegungsart und Auswirkung charakterisiert. Ein Literaturverzeichnis weist auf die Quellen hin.

ABSTRACT

Erosion processes and human intervention produce rock avalanches at steep slopes or terrain breaking of unstable lake shores. Consequent disasters are induced directly by moving rock, impulse water waves, or by collapsing of the shore.

Known events from Switzerland dating back to the 15th century are classified chronologically, and characterized according to cause, type of rock movement, and effects. A list of references indicates the sources used.

1. Einleitung

Die Seen des Alpenraumes sind in Täler mit steilen Flanken eingebettet. Sie zeichnen sich vielerorts durch felsige Ufer aus. Die anstehenden Felspartien sind der Witterung ausgesetzt. Eis- und Temperaturschwankungen zermürben das Gestein unentwegt. Teile davon stürzen in unregelmässigen Zeitabständen in die Seen. Dabei wurde die in der Natur ohnehin niedrige Sicherheitsgrenze gegen Abbrechen, Umkippen oder Abgleiten steiler Geländeteile überschritten. Ursachen sind ausser den Erosionsvorgängen die Eingriffe der Menschen, zum Beispiel Steinbrüche und Geländeinschnitte. Bekannt sind auch Rutschungen unter dem Seespiegel, ausgelöst durch instabile Uferaufschüttungen, zu hohe Terrainbelastungen, Erdbeben und durch Störungen im Bodengefüge, sei es durch das Grundwasser oder durch die Einwirkung der Wellen. Stauseen in höheren Regionen sind zudem Lawinnenniederläufen und Gletscherabbrüchen ausgesetzt. Ausserdem kann die Uferstabilität bei raschen Stauspiegelschwankungen gestört werden, so dass ganze Uferstreifen in den See abgleiten.

¹⁾ Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie (VAW), ETH-Zentrum, CH-8092 Zürich.

Die Folgen dieser Naturereignisse sind unterschiedlich und können in eine Katastrophe ausarten. In Seen abstürzende Massen bedrohen nicht nur das eigentliche Sturzgebiet, sondern durch die ausgelösten Schwallwellen auch die Seeufer, insbesondere die gegenüberliegenden. Im Verhältnis zum Seeinhalt geringe Gesteinsmassen übertragen ihren Impuls auf den Wasserkörper des Sees und vermögen diesen in heftige Wellenbewegungen zu versetzen. Die Wellen erreichen Höhen von mehreren Metern, weisen Längen in der Grössenordnung eines Kilometers auf und breiten sich im Schnellzugstempo über die Seeoberfläche aus. Der am Ufer stehende Beobachter nimmt die sich über den See ausbreitende Welle vorerst kaum wahr, bis sich vor seinen Augen der Wasserspiegel rasch zu heben beginnt. In wenigen Sekunden schwillt das ruhige Wasser zu einer reissenden Strömung an. Die landeinwärts dringende Flut hat eine Zerstörungskraft, die nahezu mit jener einer Tsunamiwelle oder einer Springflut auf dem Ozean verglichen werden kann. Die Schaukelbewegungen des Wassers (Fig. 1) dauern oft mehrere Stunden an. In Stauanlagen bilden Schwallwellen besonders bei gefülltem Speicherbecken für den Abschlussdamm eine Gefahr. Überschwappende Wassermassen können die Krone des Schüttdamms verletzen und im Extremfall eine Flutwellenkatastrophe im untenliegenden Tal herbeiführen. Selbst ohne Bruch der Talsperre, etwa wenn es sich um eine massive Mauer handelt, ergiessen sich bei ausreichender Wasserverdrängung verheerende Flutwellen talwärts. Erinnerung sei an das Unglück von Vaiont 1964 in Oberitalien.

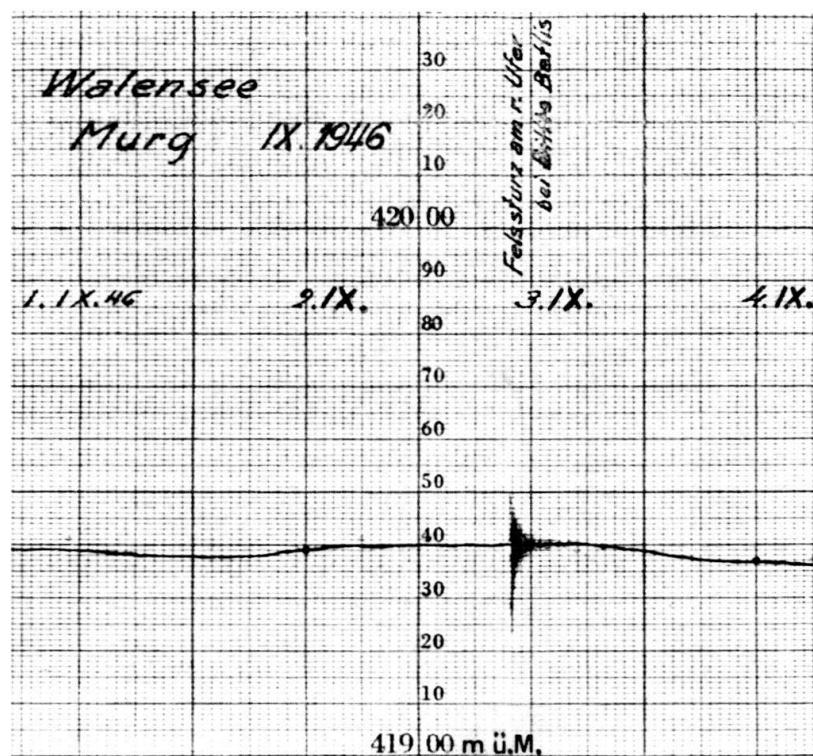


Fig. 1. Schwallwelle des Felssturzes von Quinten (3.9.1946): Limnigramm von der Meßstation Murg. Die aufgezeichneten Ausschläge sind wegen der dämpfenden Wirkung des Limnigraphen gegenüber der Wellenhöhe reduziert. Zu beachten ist die mehrstündige Schwingungsdauer des Walensees (Eidg. Amt für Wasserwirtschaft).

In jüngster Zeit ist die Frage nach den Auswirkungen solcher Schwallwellen mehr in das Interesse der Öffentlichkeit gerückt. In den letzten Jahrzehnten erfahren die Seeufer eine dichtere Besiedlung. Die Seen dienen dem modernen und mobilen Menschen zur Erholung und zum Freizeitvergnügen. Das Bedürfnis nach Sicherheit hat zugenommen. Es ist deshalb nützlich, aus den Geschehnissen der Vergangenheit zu lernen, um in Zukunft drohende Massenbewegungen rechtzeitig zu erkennen und die möglichen Auswirkungen richtig abzuschätzen. Die Erfahrungen können aber auch dazu beitragen, Unglücke überhaupt zu verhindern.

Die schweizerische Vergangenheit ist reich an derartigen Ereignissen. Einen Überblick über Datum und Ort von über 40 bekannten Felsbewegungen und Uferabbrüchen bis zurück ins 15. Jahrhundert geben die Tabelle und Figur 2. Diese Zusammenstellung kann nicht lückenlos sein. Frühe Ereignisse und solche ohne nennenswerte Folgen fehlen teilweise. Bewegungsarten, Ursachen und Auswirkungen sind zugunsten einer übersichtlichen Tabelle auf Stichworte beschränkt. Mehr darüber enthalten Literatur und Presseberichte.

2. Felsbewegungen

Grundsätzlich wird zwischen fallender und gleitender Bewegung der Felsmassen unterschieden. Die Felsbewegungen werden dementsprechend in Felsstürze (Fallstürze) und in Felsrutschungen (Schliffstürze) eingeteilt. Eine feinere Einteilung der Typen von Terrainbewegungen findet sich in WINTERHALTER et al. (1964). Bei den Ursachen stehen menschliche Eingriffe im Vordergrund. Meistens hängt das Ereignis direkt oder indirekt mit dem Betrieb eines Steinbruchs oder eines Bergwerks zusammen. Die rege Bautätigkeit, insbesondere die Trassierung von Eisenbahnlinien und Strassen, liess die Nachfrage nach frostbeständigem Hartschotter anwachsen. In der Folge entstanden an verschiedenen Orten, so auch an Seeufern, Steinbrüche für den Abbau von Kieselkalk (Fig.3). Mit der Ausbeutung des Gesteins ist oft eine Schwächung der Hangstabilität und eine Erhöhung des Felssturzesrisikos verbunden. Sprengungen, Frost, Temperaturschwankungen und Erdbeben verminderten den Zusammenhalt des Felsgefüges, bis es zum Absturz meist grosser Gesteinsmassen kam. Teilweise tauchten diese in den See ein. Am Alpnachersee (1931) und in Mühletal (1924) (Fig.4) gingen in Zeitabständen von mehreren Tagen je zwei Stürze nieder. Das Ausmass des zweiten Sturzes war jeweils um eine Zehnerpotenz grösser als dasjenige des ersten. Die durch die Gesteinsmassen und die überflutenden Schwallwellen angerichteten Sachschäden waren beträchtlich (Fig.5 und 6). Was schwerer wiegt: In zwei Fällen waren auch Menschenleben zu beklagen.

Felsstürze lösen sich in sehr steilem Gelände und an Felswänden, wie sie auch in Steinbrüchen vorkommen. Es stellt sich hier die Frage, wie diesen Gefahren eines Steinbruchs in Zukunft zu begegnen ist und wie das Felssturzesrisiko vermindert werden kann; dies im Bewusstsein, dass Hartschotter ein unentbehrlicher Rohstoff ist und dass der Mensch auf den natürlichen Erosionsprozess, welcher auch in Steinbrüchen seine Spuren hinterlässt, keinen langfristigen Einfluss nehmen kann. Felsstürze kündigen sich oft durch Steinschlag, Felsverschiebungen, Geräusche und die Unruhe in der Tierwelt an. Eine Überwachung durch periodischen Augenschein

Tabelle: Felsstürze, Rutschungen und Uferabbrüche in Schweizer Seen – Ursachen und Auswirkungen.

Datum Zeit	Ort See	Bewegungsart Ausmasse	Ursachen	Auswirkungen	Literatur (NZZ = Neue Zürcher Ztg.)
4.3.1435 17 Uhr	Zug Zugersee	Uferabbruch		60 Todesopfer. 26 Häuser im See versunken. Schwankungen des Sees	HEIM (1919)
1592, 1593	Zug Zugersee	Kleinere Uferabbrüche			HEIM (1919), HEIM (1908)
7.3.1594 6.11 Uhr	Zug Zugersee	Uferabbruch	Seeabsenkung, Lorzeregulierung bei Cham	9 Häuser im See versunken	HEIM (1919), HEIM (1908)
15.7.1795	Weggis Vierwald- stättersee	Erdbeben 5 Mio. m ³	Nasse Witterung	400 Obdachlose, 28 Häuser und 15 Scheunen zerstört, 72 Jucharten Land überdeckt	HEIM (1932)
1801	Sisikon/ Buggital Vierwald- stättersee	Bergsturz		Schwallwelle überflutet Sisikon, 10 Todesopfer, mehrere Häuser und Ställe zerstört	HEIM (1919)
2.9.1806	Goldau/ Rossberg Lauerzersee	Bergsturz (Schliffsturz) 35–40 Mio m ³	Nasse Witterung, Abrutschen von Nagelfluhschichten auf durchnässtem Mergel	457 Todesopfer, 323 Stück Vieh tot, 110 Wohnhäuser zerstört, Schwallwelle überflutet Insel Schwanau	HEIM (1919), HEIM (1932)
1836 Frühling	Eibachdelta Lungernsee	Rutsch des früheren Ufers im Deltabereich 300000 m ³ 400 m Breite	Absenkung des Sees zur Landgewinnung am 9.1.1836; unstabiles Delta	Landschaden	BENDEL (1939)
10.9.1862	Morcote Luganersee	Erdbeben 100 m Breite		1 Todesopfer. 6 Häuser zerstört. Kantonsstrasse teilweise im See versunken	POLLACK (1913)
1872, 21.6.1898	Rüschlikon Zürichsee	Uferabbrüche			HEIM (1919)
1874	Bielsee	Mehrere Uferabbrüche	Seeabsenkung infolge 1. Juragewässerkorrektion		Heim (1919)
9.2.1875, 22.–24.9. 1875	Horgen Zürichsee	2 Uferabbrüche 30000 m ³ 63000 m ³ Dichtestrom im See 1,5 Mio. m ³	Uferaufschüttung, u. a. für Bahntrasse, ungenügende Tragfähigkeit der unter- seeischen Schlammablage- rung	Aufschüttung abgesunken. Bahnschienen 10 m unter Wasser	HEIM (1908), HEIM (1919), POLLACK (1913), KELTS & HSÜ (1980)

1875-1890	Wädenswil Zürichsee	Mehrere Uferabbrüche			HEIM (1919)
11.5.1877 16 Uhr	Vevey Genfersee	Uferabbruch 10000 m ³ 106 m Breite	Aufgeschüttete Uferstrasse auf dem Delta der Veveyse	Quaimauer in den See abgesunken	FOREL (1892), HEIM (1919), POLLACK (1913), SCHARDT (1892), HEIM (1932)
12.1879	Vitznau Vierwald- stättersee	Felssturz, Schuttrutschung, Murgang, Deltaabbruch 1 Mio. m ³		Landschaden	HEIM (1919)
12.9.1883	Clarens Genfersee	Uferabbruch 25 m Breite	Uferschüttung auf unstabilem Grund	Quaimauer in den See abgesunken	SCHARDT (1892)
5.7.1887 15.30 Uhr	Zug Zugersee	Uferabbruch 150000 m ³ 200-250 m Breite	Überlastung des Ufers (feine Schlammsande) durch Quaubauten	650 Obdachlose, 20 Wohnhäuser zerstört	HEIM (1919)
19.5.1891	Montreux/ Veytaux Genfersee	Uferabbruch im Delta der Baye de Montreux, nachfolgend Seegrundrutschung 27000 m ³	Aufgeschüttete Uferstrasse; Zusätzliche Belastung durch Starkregen	72 m Quaimauer und 1000 m ³ des Quais abgesunken, mitgerissene Gründungspfähle kamen 150-200 m vom Ufer entfernt an die Wasseroberfläche	FOREL (1892), HEIM (1919), POLLACK (1913), SCHARDT (1892)
29.3.1899	Goldbach Zürichsee	Uferabbruch			HEIM (1919)
1917	Ritomsee	Mehrere Uferabbrüche			LÜSCHER (1919, 1920), ROTH (1919, 1920a), SCHIFFMANN (1942)
7.2.1923 5.15 Uhr	Nördliches Ufer Davosersee	Uferbruch im Schuttkegel des Totalalpbaches 900000 m ³ , davon unter Wasser 280000 m ³ ; Breite 330 m	Absenkung des Sees um 12 m zur Erstellung einer Wasserfassung der Bündner Kraftwerke in Klosters	Tod eines Maschinisten der schwim- menden Pumpstation, 3 m hohe Schwallwellen, bis 3 m Abtrag von Seeschlamm an den Ufern, 80 cm starke Eisschicht vollständig zerstükkelt	MOOR (1923), ROTH (1920b), SCHIFFMANN (1942) Schweiz. Bauztg. 1923/7

Datum Zeit	Ort See	Bewegungsart Ausmasse	Ursachen	Auswirkungen	Literatur (NZZ = Neue Zürcher Ztg.)
8.11.1924 8.30 Uhr	Mühletal Walensee	2 Felsrutschungen 30000 m ³	Nasse Witterung Bergwerk einer Zementfabrik, Erdbeben	8 bis 9 m hohe Schwallwellen bei Mühletal, Unterbruch der Bahnlinie während 4 Monaten	NZZ 1924, 10.11. bis 10.12.
11.11.1924 4.15 Uhr		120 m Breite 300000 m ³ 180 m Breite			
21.3.1931 17 Uhr	Einemündung der Sarneraa	2 Felsstürze 4000 m ³	Steinbruch, nicht sichtbare Klüfte, Frost	Zerstörung der Steinbrucharanlage mit 35 Arbeitsplätzen, Schaden 100000 Franken, Zerstörung von Transport- schiffen und Schiffshütten, Unter- spülung der Brünigstrasse am Gegenufer, 3,15 m hohe Schwallwelle, in 2,5 km Entfernung noch 1,0 m Wellenhöhe	BENDEL (1948), NZZ 1931, 23.3., 24.3., 7.4.
6.4.1931	Alpnachersee	30000 m ³			
3.9.1946 10.30 Uhr	Quinten Walensee	Felssturz 300000 m ³	Steinbruch, nicht sichtbare Klüfte	5-6 m hohe Schwallwelle in Mühletal, Tod einer Frau durch Ertrinken, Zerstörung von 15 Booten, Schiffshütten, Gartenmauern	NZZ 1946, 4.9., 5.9.
25.1.1949 23.15 Uhr	Vitznau (Strandbad) Vierwald- stättersee	Felssturz 12000 m ³	Verwerfungsstelle im Gestein, Witterung, Sprengungen	Strasse Vitznau-Gersau 4 Wochen unterbrochen und über 120 m Länge verschüttet, Teile des Sturzes gelangten in den See	NZZ 1949, 25.1., 27.1.
9.6.1952 9.15 Uhr	Brissago Lago Maggiore	Uferabbruch 300 m ³ 45 m Breite	Unterspülung der Ufermauer	Sachschaden an der Schiffflände, 6 m hohe Bäume im See versunken	NZZ 1952, 10.6.
22.10.1952 17.55 Uhr	Ascona- Moscia Lago Maggiore	Felsrutschung		Passant durch Steine verletzt, Haus teilweise zerstört durch 30-m ³ -Block, Strasse verschüttet, Teile des Rutsches gelangten in den See	NZZ 1952, 22.10.
22.4.1955 10.45 Uhr	Küsnacht Zürichsee	Uferabbruch 150 m Breite	Aufschüttung auf Seekreidegrund	Badeanlage mit Sprungturm und Bäumen im See versunken, Wohnhaus und Lagerhaus eingestürzt, 1 Mio. Franken Schaden	NZZ 1955, 23.4.

1.12.1955	Axenstrasse Vierwald- stättersee	Felssturz	Sprengung	14 m Strasse durch Felsblock in den See weggerissen	NZZ 1955, 4.12.
15.2.1959 (Nacht)	Lugano-Capo San Martino Luganersee	Felsrutschung		Haus am Seeufer beschädigt, Strasse während 1 Tag unterbrochen	NZZ 1959, 17.2.
27.2.1963 17.30 Uhr	Obermatt/ Bürgenstock Vierwald- stättersee	Felssturz 20000 m ³ 120 m Breite	Steinbruch, Witterung	2 Arbeiter tödlich verunglückt, 2 Bagger und 1 Dumper in den See geschleudert, Sachschaden 250000 Franken, Ufermauer weggespült, 4 m hohe Schwallwelle	NZZ 1963, 28.2., 1.3., 3.3.
8.8.1964 20.12 Uhr	Obermatt/ Bürgenstock Vierwald- stättersee	Felssturz 70000 m ³ Kleinere Vorstürze	Steinbruch, Sprengungen am Vortag	Zerstörung von 2 Ferienhäusern und eines Nauen, grosse Schäden in 3,5 km Entfernung in Vitznau und Weggis an allen Booten, 15 m hohe Schwallwelle in Obermatt, am Gegenufer immer noch mehrere Meter hoch	VON MOOS (1964) NZZ, 1964, 10.8.
2.3.1965	Zingel/ Seewen Lauerzersee	Felssturz	Steinbruch, Sicherheitssprengung	50 m Staatsstrasse verschüttet und 1 Monat unterbrochen, Teil der Sturzmasse fiel in den zugefrore- nen Lauerzersee	Bildarchiv Weltwoche
2.4.1965 14.15 Uhr	Ringgenberg- Niederried Brünzersee	Felsrutschung 50000 m ³ 100 m Breite	Geländeeinschnitt durch Strassenbau	Verschüttung der Brünigbahn und der Strasse auf 70-100 m Länge, Ferienhaus zerstört und in den See gerissen, grösster Felsblock 500 m ³ , Teil des Rutsches versank im See	NZZ 1965, 3.4., 5.4.
7.3.1966	Gunten Thunersee	Uferabbruch 1500 m ³ 70 m Breite	Unterspülte Ufermauern beim Hotel «Hirschen»	Sachschaden	Bildarchiv Weltwoche
18.4.1966 17.30 Uhr	Lugano-Capo San Martino Luganersee	Felsrutschung 1000 m ³		Strasse Lugano-Melide auf 100 m Länge verschüttet und 2 Tage unterbrochen	NZZ 1966, 19.4., 20.4.
2.2.1971 1.30 Uhr	Fallenbach/ Gersau Vierwald- stättersee	Felssturz 8000 m ³	Steinbruch, abgebaute, zum See fallende Gesteins- schichten	Ein kleiner Teil des Sturzes fiel in den See, Strasse für einige Stunden unterbrochen	NZZ 1971, 3.2.

Datum Zeit	Ort See	Bewegungsart Ausmasse	Ursachen	Auswirkungen	Literatur (NZZ = Neue Zürcher Ztg.)
22.2.1973 21 Uhr	Lopper Vierwald- stättersee	Felssturz 600–700 m ³	Witterung, stillgelegter Steinbruch	Strasse und Bahnlinie unterbrochen, Bahntrasse über 100 m Länge ver- schüttet, Schaden 1 Mio. Franken	NZZ 1973, 22.2.
21.1.1974 3.30 Uhr	Schwarzberg, Amden	Felssturz 70000 m ³ , Nachsprengung 20000 m ³	Steinbruch, ungünstiges Kluftsystem, Verwitterung	Steinbruchanlage beschädigt, einige Aren Wald zerstört, Strasse Weesen–Amden und Weesen–Betlis verschüttet, vor dem Sturz mehrere Wochen gesperrt, Sturz wurde grösstenteils im Steinbruch aufgefangen	HUBER (1975), 1980) JÄCKLI & KEMPF NZZ 1972, 1.11. bis 1974
10.3.1982 11 Uhr	Kehrseiten/ Bürgenstock Vierwald- stättersee	Sicherheitsprengung 39000 m ³ , Etwa 5000 m ³ fielen in den See	Steinbruch	Welle wurde in Stansstad verspürt, eine Scheiterbeige am Ufer wurde in den See hinausgetragen; Wellenhöhe beim Steinbruch entlang dem Ufer 2–3 m	Tagesanzeiger 1982, 11.3.
13.4.1982 23.15 Uhr	Fallenbach/ Gersau Vierwald- stättersee	Felsrutschung 70000 m ³	Steinbruch (stillgelegt); nicht sichtbare Klüfte in den zum See fallenden Gesteinsschichten	Strasse Brunnen–Gersau während 1 Monat unterbrochen, Uferschäden durch die ausgelöste Schwallwelle, Wasser drang über die Strasse in die Wirtstube des Restaurant «Fallenbach», Wellenhöhe entlang dem Ufer 3–4 m	Tagesanzeiger 1982, 13.4.
13.7.1982 Nachmittag	Weggis/ Lützelau Vierwald- stättersee	Felssturz 200 m ³	Regenfälle	Strasse Weggis–Vitznau während 3 Tagen unterbrochen, ein Teil des Sturzes fiel in den See	NZZ 1982, 27.7., 31.8., 1.8.

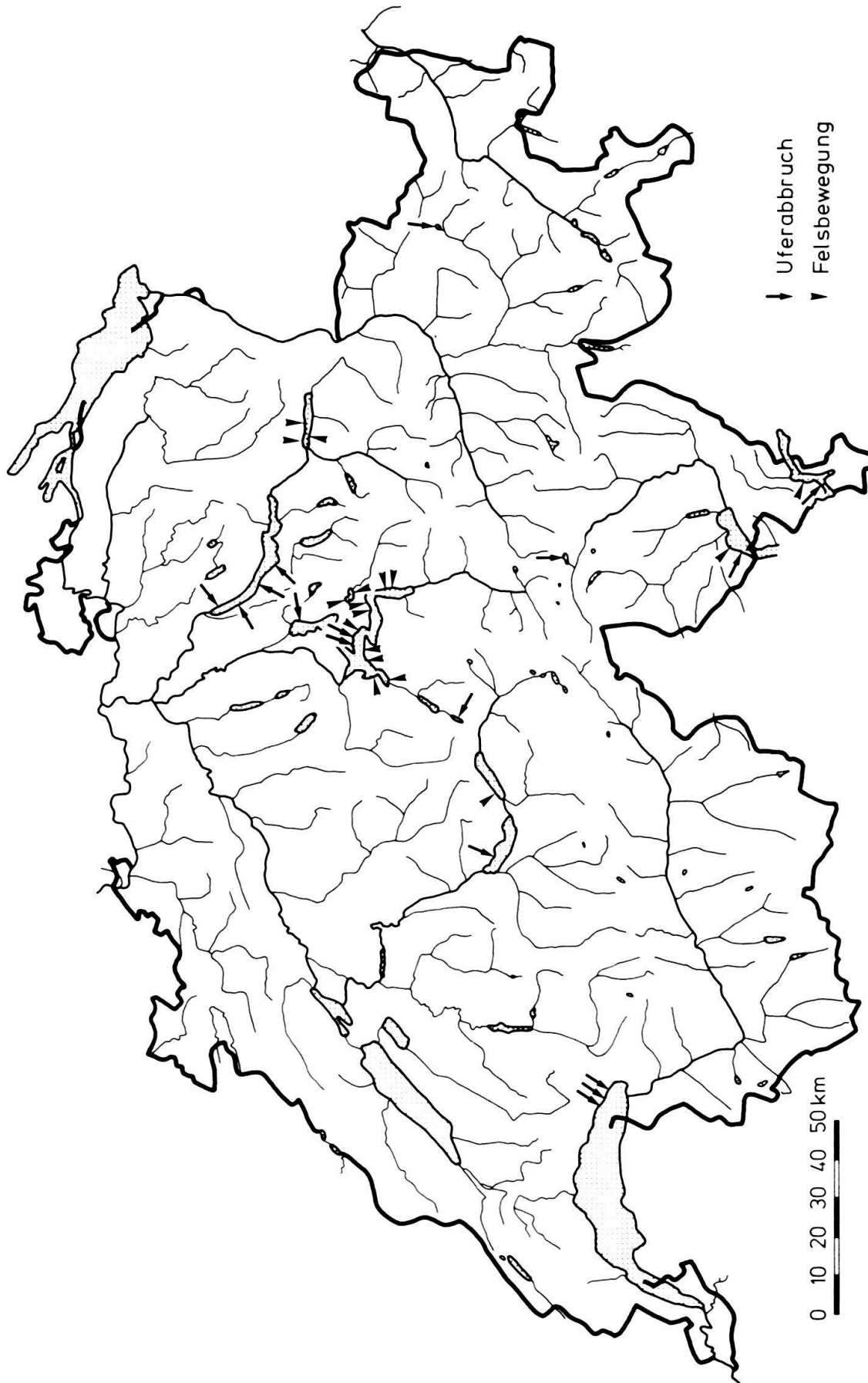


Fig. 2. Lage der Felsstürze und Uferabbrüche an Schweizer Seen.

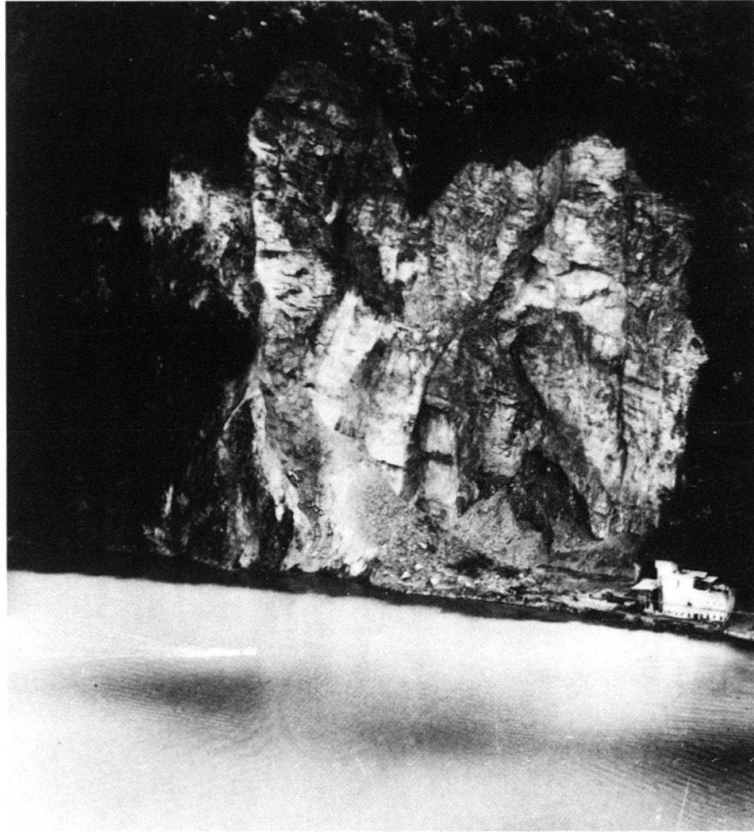


Fig.3. (Fallsturz beim Steinbruch Obermatt am Vierwaldstättersee 1964, Masse des Sturzes 70000 m³ (Die Weltwoche, Bildarchiv).



Fig.4. Felsrutschung (Schlipfsturz) bei Mühletal am Walensee im Jahr 1924; gesamte Masse der beiden Rutschungen: 200000–300000 m³.



Fig.5. Zertrümmerte Boote bei Mühlehorn infolge des Felssturzes bei Quinten 1946 (Die Weltwoche, Bildarchiv).



Fig.6. Uferschäden bei Fallenbach/Gersau, herrührend von der Schwallwelle, welche 1982 durch einen Felsrutsch (im Hintergrund) ausgelöst wurde.

und mittels technischer Einrichtungen wie Dehnungsmesser und Mikrophone kann in vielen Fällen einen bevorstehenden Absturz aufdecken (JÄCKLI & KEMPF 1975). Den Absturz verhindern diese Hilfsmittel allerdings nicht. Mit Sicherheits Sprengungen lassen sich jedoch die labilen Felsmassen zeitlich und örtlich bestimmt zum Absturz bringen. Eine vorbeugende Massnahme gegen unerwartete Felsabbrüche im Steinbruch ist die Materialgewinnung nach geologisch fundierten Abbauplänen und nach den Vorschriften der SUVA. Die Behörden sind heute bestrebt, Abbaubewilligungen nur noch unter der Bedingung solcher Abbaupläne zu erteilen.

Bergstürze sind Bewegungen sehr grosser, abbrechender Felsmassen mit einem Ausmass von vielen Millionen Kubikmetern. Sie kommen viel seltener vor als Felsstürze. Der Mensch hat auf sie kaum einen Einfluss. In der betrachteten Zeitspanne (Tabelle) waren nur gerade zwei Bergstürze zu verzeichnen, deren Front einen See erreichte, nämlich der Bergsturz an den Gehängen des Buggitales (1801) bei Sisikon und der Goldauer Bergsturz (1806). Der Grösse entsprechend waren die Folgen verheerend.

Rutschungen haben ihre Ursachen am häufigsten im Verlust der Hangstabilität infolge einwirkenden Wassers aus Niederschlägen oder Fliessgewässern. Die Bewegungen von Weggis (1795) und Vitznau (1879) zählen hierzu. Eine andere Ursache sind Hangeinschnitte, bedingt durch Bauarbeiten. Der Schlipfsturz bei Ringgenberg (1965) (Fig. 7) ist ein Beispiel. Rutschungen in Seen, deren Ursache mit dem See in direktem Zusammenhang steht, sind selten. Schäden treten an den Kulturen auf. Ob bei diesen Massenbewegungen auch zerstörende Schwallwellen erzeugt wurden,

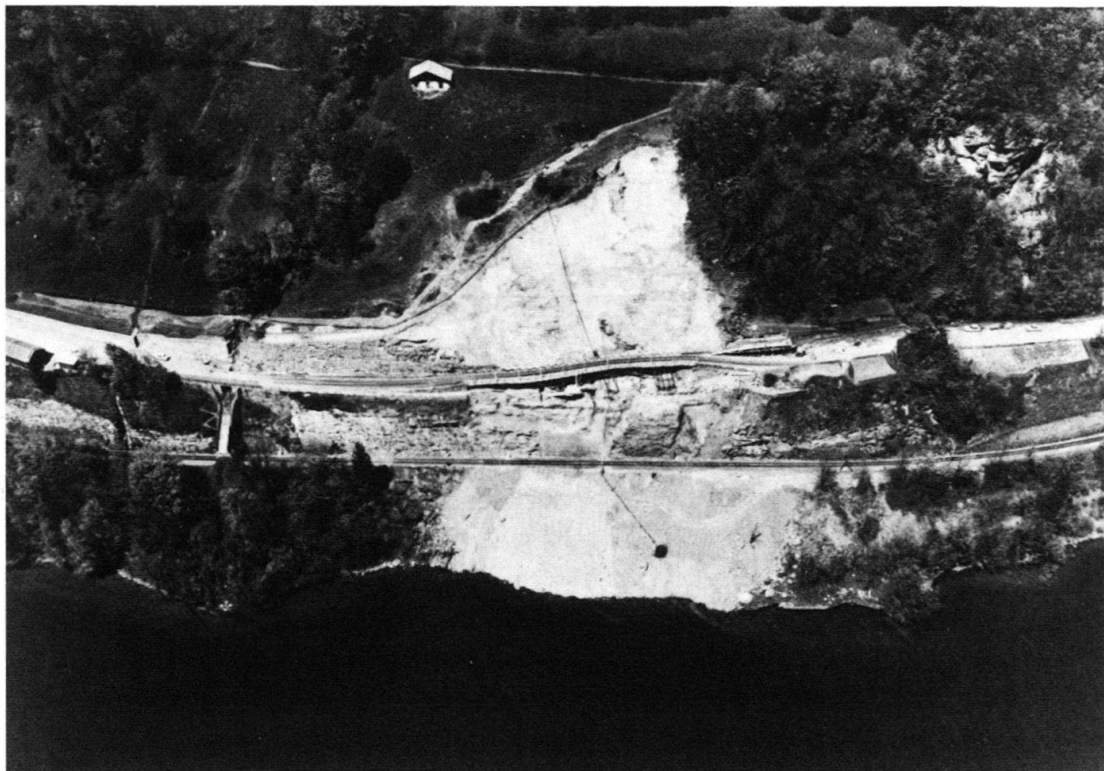


Fig. 7. Felsrutschung bei Ringgenberg am Brienzsee 1965, ausgelöst durch Strassenbauarbeiten. Die Trümmer wurden bereits weggeräumt (Swissair-Photo).

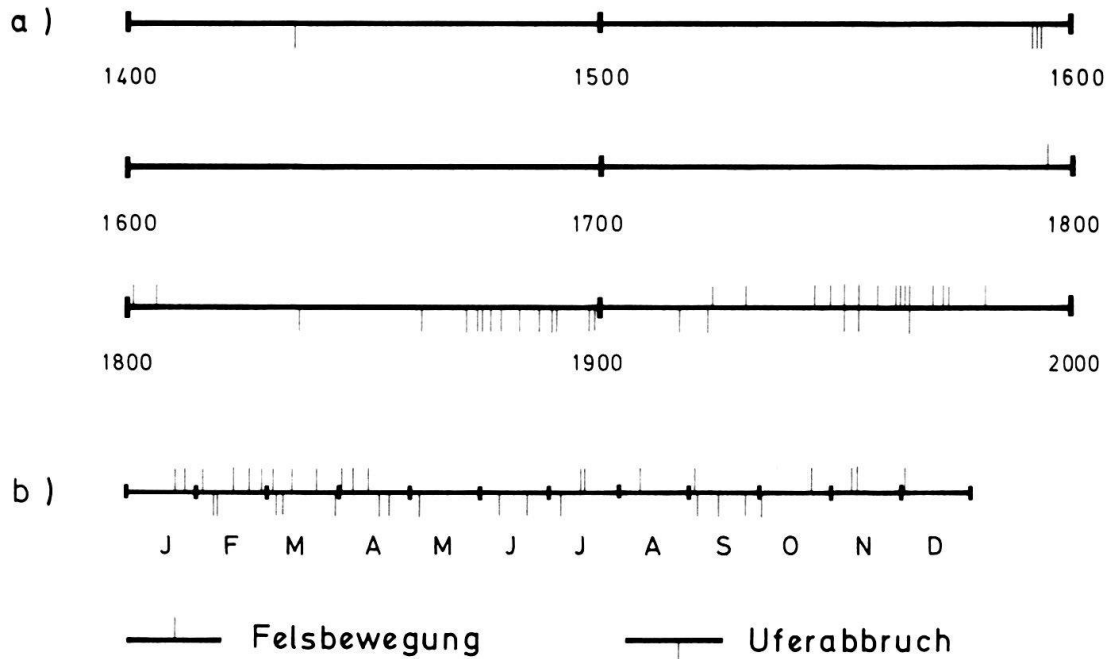


Fig. 8. Zeitliche Verteilung der Felsbewegungen und Uferabbrüche a: Im Laufe der Jahre 1435 bis 1982. b: Nach Monaten.

konnte den Schilderungen nicht entnommen werden. Rutschungen bewegen sich meistens langsamer als Felsstürze, weil das Gefälle geringer ist und die Materialien bei Lockergesteinsbewegungen oft bindig sind. Die Eintauchgeschwindigkeit der Rutschung ist kleiner als die Wellenausbreitungsgeschwindigkeit. Im Gegensatz dazu verhält es sich bei den Felsstürzen meistens umgekehrt. Der Impulsaustausch auf den Wasserkörper des Sees ist deshalb weniger schockartig und die Schwallwelle entsprechend sanfter. Zur Verhütung dienen Hangverbauungen, eventuell ergänzt durch Lebendverbau, und Entwässerungen. Hangeinschnitte bedürfen vorgängig gründlicher bodenmechanischer Abklärungen und der Beobachtung während der Bauphase.

3. Uferabbrüche

Uferabbrüche sind eine besondere Form von Rutschungen. Sie werden durch Einwirkungen des Sees ausgelöst. In der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts ist eine Häufung von Uferabbrüchen festzustellen (Fig. 8a). Geht man den Ursachen nach, so zeigt sich, dass in dieser Zeit viele Seeufer im Bereich der Dörfer und Städte zur Landgewinnung aufgeschüttet worden sind. Einige Stützmauern von Uferpromenaden und Aufschüttungen von Eisenbahnlinien und Strassen stammen aus diesen Jahren. Die Erkenntnisse der Bodenmechanik standen damals noch nicht zur Verfügung. Die Aufschüttungen hielten in manchen Fällen nicht stand, weil der Seegrund aus gleitfähigem Material bestand und der zusätzlichen Auflast nicht gewachsen war. Bei einigen Uferabbrüchen waren Spiegelabsenkungen als Folge neuer Seeregulierungen oder die Unterspülung der Uferbauten durch den Angriff der Wellen mit im Spiel. Andere Ursachen waren Seespiegelabsenkungen zur

Durchführung von Bauvorhaben oder zur Landgewinnung. Die Schäden durch Uferabbrüche waren meistens bedeutend. Ganze Bauten versanken im See. Glücklichen Umständen einerseits und den teilweise langsamen Terrainbewegungen andererseits ist es zuzuschreiben, dass nur bei den Unglücken von Zug (1435) und am Davosersee (1923) Menschen das Leben lassen mussten. Über erzeugte Schwallwellen wurde nur in diesen beiden Fällen berichtet. Bei allen andern Uferabbrüchen entstand offenbar keine beachtliche Welle, was folgendermassen zu erklären ist:

— Je tiefer die bewegte Masse unter dem Seespiegel liegt, um so mehr Bewegungsenergie wird anteilmässig in Turbulenz umgewandelt und um so geringer ist der Anteil der Wellenenergie. Dies trifft für Uferabbrüche zu, weil sich bei diesen die Bewegung vorwiegend mehrere Meter unter dem Seespiegel abspielt.

— Im Vergleich zur Wellenausbreitungs-Geschwindigkeit bewegen sich abbrechende Ufer mit kleiner Geschwindigkeit. Die Übertragung des Impulses auf die Wassermassen nimmt eine gewisse Zeit in Anspruch, so dass sich nicht in kurzer Zeit eine hohe Welle aufbauen kann.

Neu stellt sich das Problem der Uferabbrüche bei Speicherseen, die vor allem in unserem Jahrhundert aufgestaut worden sind. Ihre Ufer durchqueren stückweise steile Schutthänge und Bachdeltas beschränkter Stabilität. Die Bewirtschaftung hat starke Spiegelschwankungen zur Folge, deren Periode sich nach der Betriebsweise richtet und bei Ausgleichsbecken und Pumpspeicherbecken vielfach nur einen Tag dauert. Während oder nach dem Absenkvorgang besteht die Gefahr des Nachrutschens lockerer und wassergesättigter Hänge. Die meisten Uferabbrüche in Stauseen sind von kleiner Kubatur. Aus den vorne dargelegten Gründen sind die entstehenden Wellen harmlos. Eine Ausnahme war der Uferabbruch am Davosersee mit einem sehr grossen Verdrängungsvolumen von 280000 m³.

Im Staubereich geplanter Speicherbecken befinden sich da und dort potentielle Uferabbrüche. Zu den Projektierungsarbeiten einer Stauanlage gehören deshalb sorgfältige bodenmechanische Untersuchungen der Talflanken und der zu überflutenden Schuttkegel und Bachdeltas. Die Gleitsicherheit lässt sich erhöhen durch Entwässerungen, grobblockige Aufschüttungen mit genügend flachem Böschungswinkel und durch den Abtrag unstabiler Massen.

4. Zeitlicher Überblick

Bei der Betrachtung von Figur 8a fallen die zahlreichen Uferabbrüche auf, die sich in der zweiten Hälfte des vergangenen Jahrhunderts an natürlichen Seen ereigneten. Im Mittel rutschte etwa alle 5 Jahre eine grössere Uferpartie ab. Über die Ursachen wurde vorne berichtet. In unserem Jahrhundert waren die Uferabbrüche bedeutend weniger zahlreich. Zum Teil geschahen sie an den Ufern von Stauseen. Bemerkenswert ist, dass die Ufer meistens im ersten Halbjahr abbrachen (Fig. 8b), also in der Zeit der Seeabsenkung und des zunehmend wärmeren Wetters.

Die zeitliche Verteilung der Felsbewegungen in Seen, zumindest derjenigen mit schädlichen Folgen, konzentriert sich auf das 20. Jahrhundert (Fig. 8a). Nach der Statistik tauchte etwa alle 10 Jahre eine grössere Felsmasse in einen Schweizer See

und erzeugte gefährliche Schwallwellen. Die Mehrzahl der Abstürze war in der kalten Jahreszeit zu verzeichnen (Fig. 8b).

5. Gefahrenzonen

Ist die Gefahr einer Massenbewegung erkannt worden – mögliche Anzeichen und Überwachungsmethoden wurden vorne angeführt –, so stellt sich für die anliegende Bevölkerung die Frage nach dem mutmasslichen Abriss- und Sturzgebiet und nach den zu erwartenden Schwallwellen und ihren Wirkungen auf die Ufer. Der Problemkreis umfasst also einen ersten, felssturzgeologischen Teil über die Form und das Ausmass des drohenden Sturzes und einen zweiten, wellenmechanischen Teil über die Charakteristiken der ausgelösten Wellen.

Die Beantwortung der ersten Teilfrage ist nicht einfach in Anbetracht der grossen Vielfalt bekannter Terrainbewegungen, der nicht sichtbaren Beschaffenheit der Gesteinsformation im Innern und der schwer zu beurteilenden Stabilität der fraglichen Gesteinsmasse. Aufgrund von Beobachtungen bestimmt der Geologe den schlimmsten zu erwartenden Fall. Wie die Erfahrung zeigt, kommt jedoch die mutmassliche labile Masse nicht immer in ihrer Gesamtheit in Bewegung, weil Teile davon in der Abrissphase das Gleichgewicht wiederfinden.

Ausgehend von den Angaben des Geologen über Grösse und Lage des zu erwartenden Sturzes ist es möglich, die Schwallwellen in den verschiedenen Ausbreitungsrichtungen und die Auflauhöhen an den Ufern voraussagend abzuschätzen (HUBER 1980, 1982). Bei unbekannter Sturzmasse ist es zweckmässig, im Sinne einer Sensitivitätsanalyse den Abbruch unterschiedlicher Massen und ihren Einfluss auf die Schwallwellenhöhe zu untersuchen.

LITERATURVERZEICHNIS

- BENDEL, L. (1939): *Uferbewegungen und Staubetrieb am Lungernsee*. – Schweiz. Bauztg. 21.
 — (1948): *Rutschungen infolge menschlicher Eingriffe, (Felssturz am Alpnachersee 1931)*. In: *Ingenieur-geologie II*. – Springer, Wien.
 FOREL, F.A. (1892): *Le Léman*. – F. Rouge, Lausanne.
 HEIM, ALB. (1919): *Geologie der Schweiz* (Bd. I). – Tauchnitz, Leipzig.
 — (1932): *Bergsturz und Menschenleben*. – Vjschr. natf. Ges. Zürich, 20.
 HEIM, ARN. (1908): *Rezente und fossile subaquatische Rutschungen*. – N. Jb. Mineral. 100/2, 136–157.
 HUBER, A. (1975): *Schwallwellen in einem See als Folge eines Felssturzes; Modellversuche zur Voraussage der Auswirkungen des Absturzes einer Gesteinsmasse in den Walensee*. – Int. Symp. «Interpraevent 1975», Tagungsber.
 — (1980): *Schwallwellen in Seen als Folge von Felsstürzen*. – Mitt. Nr.47 der Versuchsanst. f. Wasserbau, Hydrol. Glaziol., ETH Zürich.
 — (1982): *Impulse Waves in Swiss Lakes as a Result of Rock Avalanches and Bank Slides*. – 14th Congr. Large Dams, Rio de Janeiro.
 JÄCKLI, H., & KEMPF, TH. (1975): *Der Felssturz von Amden vom 21. Januar 1974*. – Schweiz. Bauztg. 25.
 KELTS, K., & HSÜ, K.J. (1980): *Resedimented facies of 1875 Horgen slumps in Lake Zurich and a process model of longitudinal transport of turbidity currents*. – Eclogae geol. Helv. 73/1.
 LÜSCHER, G. (1919): *Über Rutschungserscheinungen bei Stauseen*. – Schweiz. Bauztg. 5.
 — (1920): *Einige Erfahrungen über Rutschungserscheinungen bei Stauseen*. – Schweiz. Bauztg. 12.

- MOOR, R. (1923): *Der Uferabbruch am Davosersee*. – Schweiz. Bauztg. 15.
- POLLACK, V. (1913): *Über Seeuferbewegungen*. – Österr. Wochenschr. f. d. Baudienst (Wien) 35.
- ROTH, H. (1919): *Rutsch-Erscheinungen beim Absenken des Ritom-Sees*. – Schweiz. Bauztg. 5.
- (1920a): *Rutsch-Erscheinungen bei Stauseen*. – Schweiz. Bauztg. 26.
- (1920b): *Die Absenkung des Davosersees*. – Schweiz. Bauztg. 26.
- SCHARDT, H. (1892): *L'effondrement du quai du trait de Baye à Montreux, étude géologique et technique*. – Bull. Soc. vaud. ing. 5/6.
- SCHIFFMANN, T. (1942): *Seeabsenkungen*. – Wasserkraft und Wasserwirtsch. 7.
- VON MOOS, A. (1964): *Der Felssturz vom 8. August 1964, Steinbruch Obermatt, Ennetbürgen NW*. – Ber. z. H. Polizeidirektion Nidwalden, Stans, 26.11.1964 (unveröff.).
- WINTERHALTER, R. U., SCHNEIDER, T. R., & SCHIELLY, H. (1964): *Terrainbewegungen (Tafel)*. – Schweiz. Ges. Bodenmech. u. Foundationstech., Juli 1964.