

**Zeitschrift:** Schweizerische Bauzeitung  
**Band:** 93 (1975)  
**Heft:** 43

**Artikel:** Überwachung von Kalbungsflutwellen am Grubengletscher  
**Autor:** Haerberli, W.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-72853>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **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. [Voir Informations légales.](#)

### **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. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 13.10.2024

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

# Überwachung von Kalbungsflutwellen am Grubengletscher

Von Dr. W. Haerberli, Zürich

DK 551.311:551.579.3

## Einleitung

1968 und 1970 wurde das Dorf Saas-Balen durch plötzlich auftretende und durch die Ausbrüche eines Gletschersees am Grubengletscher verursachte Hochwasser schwer in Mitleidenschaft gezogen. In der Folge wurde der Ausfluss dieses Sees (im weiteren hier kurz «Grubensee» genannt) durch den Bau eines Überlaufstollens in der abdämmenden Gletscherpartie reguliert [1]<sup>1)</sup>. Im Sommer und Herbst 1973 hatten nun aber durch Kalbungen an der Eisfront des Gletschers hervorgerufene Flutwellen einen Abschnitt von 24 m des am Einlauf des Eisstollens angebrachten Armco-Rohres herausgerissen und dabei ein Rohrstück von 21 m viele Meter weit auf ein rund 3 m höheres Niveau getragen. Um Menschen und Material beim Wiedereinlegen der Rohre zu sichern, wurde deshalb während der Bauarbeiten im Herbst 1974 die Kalbungstätigkeit am Gletscherrand und damit der Schwall- und Flutwellenbildung im Grubensee mit Hilfe von Kryokinometermessungen überwacht. Die Methode ist schon seit langer Zeit bekannt und erprobt: die Relativbewegung eines Körpers (in diesem Fall die Kalbungsmasse) wird gegenüber einem als fest betrachteten Punkt (hier die Gletscheroberfläche) gemessen, wobei die Bewegung durch einen über eine Umlenkrolle geführten Invardraht auf eine Messuhr (Huggenberger-Messuhr, Ablesung: 0,1 mm) übertragen wird (vgl. dazu z.B. [2]).

## Ablauf der Ereignisse

Nachdem bereits am 21. August eine Kalbung von 4 bis 5000 m<sup>3</sup> erfolgt war und eine Schwallwelle mit einer Auflaufhöhe von etwa 1,5 m an der Baustelle verursacht hatte, war in erster Linie eine Eismasse von rund 3000 m<sup>3</sup> in 50 bis 60 m Entfernung vom Stolleneinlauf zu überwachen. Sie hatte sich an einem rund 2 m breiten Spalt vom Gletscher gelöst, bestand aus einem, den ursprünglichen natürlichen Seeablauf mit einem Gewölbe überbrückenden und an der Gletscherfront noch schwach angehefteten Lamellenteil (rund 1000 m<sup>3</sup>), der

<sup>1)</sup> Diese Arbeiten zur Abwendung der Hochwassergefahr in Saas-Balen werden von Bund und Kanton im Rahmen des eidgenössischen Wasserpolizeigesetzes subventioniert.

Rechts;

Bild 2. Baustelle und Kalbungsmasse (links Turmteil, rechts Lamellenteil mit bereits angerissenem Gewölbe). Die Entfernung zwischen Baustelle und Kalbungsmasse beträgt etwa 60 m. Aufnahme: 4.9.1974

Bild 1. Kalbungsmasse von der Gletscheroberfläche aus. Im Vordergrund der schmale Lamellenteil, im Hintergrund der Turmteil. Breite des Ablösungsspaltes beträgt etwa 4 m. Aufnahme: 2.9.1974



von einer früher in den See gestürzten Eismasse gestützt wurde, und einem annähernd kubischen Turm (rund 2000 m<sup>3</sup>) und drohte in kombinierter Kippung und seitlicher Rotation direkt in Richtung der Baustelle in den See zu stürzen (Bilder 1 und 2). Die Kryokinometermessung zeigte bereits in der ersten Nacht nach der Installation der Messapparaturen am 28. August eine beträchtliche Relativgeschwindigkeit von 0,433 cm/h (rund 11 cm/Tag, Bild 3). Während der Aushubarbeiten und der Vorbereitungen zum Wiedereinbringen der Einlaufrohre stieg zwar die Geschwindigkeit bis über 0,8 cm/h (20 cm/Tag) an, doch da die Beschleunigung während mehrerer Tage annähernd konstant war (vgl. Bild 3), konnte ein Absturztermin noch nicht vorhergesagt werden. Auch am 2. September wurde noch keine wesentlich stärkere Beschleunigung beobachtet. Deshalb wurde mit dem Bauunternehmer beschlossen, trotz der überraschend hohen Relativgeschwindigkeit der Kalbungsmasse von nunmehr 1,2 bis 1,3 cm/h (rund 30 cm/Tag) die heikelsten Phasen der Arbeiten in Angriff zu nehmen. So wurden am 4. September rund 40 m des im Eisstollen verlegten Armco-Rohres von einer bis zu 60 cm dicken und stark verfestigten Schutt- und Schlamm-schicht gereinigt. Dabei bestand das Hauptproblem darin, dass eine überraschend auftretende Schwall- oder Flutwelle den Rohreinlauf überspülen und damit die Arbeiter gefährden würde. Nachdem diese Arbeiten unter ständiger Überwachung der Relativbewegung der Kalbungsmasse und der Rissbildung in der Zone der stärksten Deformationsbeanspruchung, dem Gewölbe im Lamellenteil, ohne Zwischenfall erledigt worden waren, wurde am Morgen des 5. Septembers mit dem Wiedereinlegen der Rohre begonnen. Hierbei war darauf zu achten, dass eine Kalbungsflutwelle nicht die Rohre wieder herausreissen und die Arbeiter gefährden konnte. Nun hatte allerdings die Geschwindigkeit der Absturzmasse bereits in der vorhergehenden Nacht auf rund 2,75 cm/h beschleunigt und steigerte sich im Verlauf des Vormittags weiter auf 4,35 cm/h. Aufgrund einer graphischen Extrapolation der Geschwindigkeitskurve wurde ein Absturz auf den Nachmittag «um 14 Uhr» vorausgesagt, worauf der Bauunternehmer die bereits eingelegten Rohrstücke sogleich zuschütten liess. Um 14 h brach dann tatsächlich ein grosses Stück aus dem Ge-



wölbebogen heraus, nachdem sich nun auch im «Bewegungsscharnier» die Risse stark erweitert hatten, doch folgte darauf nicht der erwartete Einsturz der Gesamtmasse, sondern die Geschwindigkeit ging im Gegenteil für eine Stunde leicht zurück. Deshalb konnten im Verlauf des Nachmittags auch die restlichen Rohrstücke einzeln eingesetzt und sogleich zugeschüttet werden. Dabei setzte eine neuerliche starke Beschleunigung nach 15 h ein, so dass am Spätnachmittag der Absturz erwartet werden konnte. Kurz vor 17 h waren alle Rohrstücke eingelegt und zugeschüttet, die Relativgeschwindigkeit der Kalbungsmasse hatte den Wert von 60 cm/h deutlich überschritten und es blieb nur noch übrig, dem Absturz in aller Ruhe zuzusehen. Nachdem etwa eine Minute lang Eisstücke aus dem sich immer stärker durchbiegenden Gewölbebogen herausgebrochen waren, brach schliesslich ziemlich genau um 17 h das Gewölbe zusammen, der Lamellenteil löste sich an einem schon bestehenden Riss vom Turmteil und kippte in Richtung Baustelle in den See. Die Front der dadurch entstehenden Schwallwelle erreichte innerhalb weniger Sekunden die Schuttschüttung über den neu eingelegten Rohren und überflutete diese teilweise mit einer Auflaufhöhe von rund 1 m. Der Turmteil war stehengeblieben und kippte, bzw. rutschte in den darauffolgenden Tagen in zwei Phasen in den See, ohne eine grössere Welle zu verursachen.

### Grundsätzliche Überlegungen

Das Problem der Überwachung von Schwallwellen, die durch Kalbungen, Bergstürze, Rutschungen, Lawinen usw. verursacht werden, gliedert sich in zwei Teilfragen, nämlich in die Frage des Absturzvorganges – können Masse, Zeitpunkt und Bewegungsablauf des Absturzes vorausgesagt werden? – und in die Frage der Art und des Ausmasses der Schwallwellenbildung – welche Gebiete sind gefährdet und welche Sicherheitsmassnahmen können ergriffen werden? Theoretische Vorstellungen über beide Teilfragen sind zwar vorhanden, als Folge der vielen beteiligten und im voraus meist nicht genau bekannten Faktoren aber für die Praxis nicht hinreichend quantifizierbar. Gerade in den letzten Jahren haben sich dagegen aufgrund von Modellversuchen und Naturbeobachtungen einige nützliche Erfahrungen angesammelt [3, 4, 5, 6, 7]. Eine kurze Diskussion der Verhältnisse am Grubensee möge zeigen, was für Grundlagen bei einer ähnlichen Überwachungsaufgabe verwendet werden können und wo die Grenzen der Prognosemöglichkeiten liegen.

Bei den Kalbungen am Grubensee handelt es sich, im Gegensatz etwa zu Bergstürzen, um praktisch reine Kippvorgänge. Das bedeutet, dass von der potentiellen Energie beim Absturzvorgang nur sehr wenig durch innere Reibung oder Reibung an Gleit-, Bruch- oder Scherzonen verloren geht. Da zudem die abstürzenden Kalbungsmassen als praktisch kompakte Körper in den See eintauchen, ist mit einem geballten und weitgehend ungebremsten Energieinput zu rechnen. Die Wellenhöhen werden entsprechend hoch ausfallen, sind aber zur Zeit für den konkreten Fall auf theoretischer Basis kaum zu berechnen, da ein unbekannter Anteil an Energie in Turbulenz am Eintauchort umgesetzt wird. Bei den geringen Wassertiefen des Grubensees (wie auch ähnlicher randglazialer Seen) werden bei grösseren Kalbungen immer Grund- oder Seichtwasserwellen angeregt. Diese Seichtwasserwellen sind vor allem durch ihre grosse Fortpflanzungsgeschwindigkeit und ihre grosse Wellenlänge ausgezeichnet. Dabei gelten für die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Wellenfront ( $c$ ) und die Wellenlänge ( $\lambda$ ):

$$c = \sqrt{gh} \quad \text{mit} \quad g = \text{Erdbeschleunigung,}$$

$$\lambda \geq 10 h \quad h = \text{Wassertiefe.}$$

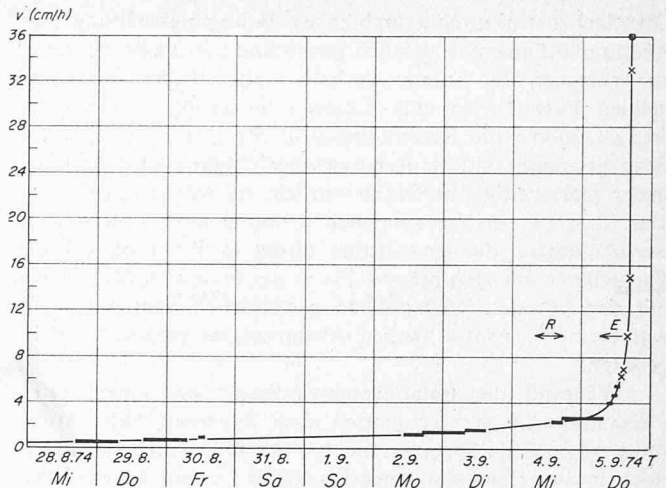


Bild 3. Relativbewegung der abgestürzten «Eismasse» am See 3 des Grubengletschers, beobachtet vom 28. August bis zum 5. September 1974. R Putzarbeiten im schon verlegten Rohr. E Einlegen von sechs neuen Rohrstücken. x Kurze Messintervalle: 1/2 Stunde und weniger. • Abbrechen etwa der Hälfte der «Eismasse» (Lamellenteil) von rd. 1000 m<sup>3</sup> verursachte am Rohr eine rd. 1 m hohe Flutwelle

Für den Grubensee wird damit die Ausbreitungsgeschwindigkeit im See bei  $h = 5$  bis  $10$  m,  $7$  bis  $10$  m/s und die Wellenlänge mindestens  $50$  m. Vom Zeitpunkt des Aufpralls der Kalbungsmasse auf der Seeoberfläche vergehen mindestens  $6$  und höchstens  $15$  s bis zum Beginn der Überflutung der Uferpartie am Einlauf (Distanz je nach Absturzort  $60$  bis  $100$  m). Die Höhe der Schwallwelle wird dabei mit zunehmendem Abstand exponentiell gedämpft, die kleinen Abmessungen der Seeoberfläche lassen dabei jedoch eine wirksame Dämpfung kaum zu. Dazu kommt, dass die Wellenhöhe im Uferbereich aus Kontinuitätsgründen mit abnehmender Wassertiefe grösser wird. Die Hauptgefahr stellt denn auch nicht die aufgrund ihrer grossen Wellenlänge auf dem See kaum wahrzunehmende Schwallwelle dar, sondern die in eine reissende Flutwelle verwandelte Uferwelle, da am Ufer die Welle ihre kinetische Energie umsetzen muss und deshalb unter beträchtlichem Massentransport hoch hinaufläuft. Ist das Volumen der abstürzenden Masse zudem wie beim Grubensee gross gegenüber dem Volumen des gestörten Wasserkörpers, so erhält das Phänomen der Wasserverdrängung vermehrte Bedeutung und die Wellenhöhen werden besonders gross.

Für die Absturzprognose war wichtig, dass Zeitpunkt und Mechanismus des Absturzes rechtzeitig erkannt werden konnten. Rissbildungen in der Zone der stärksten Beanspruchung und Verschiebungen ehemals zusammengehöriger

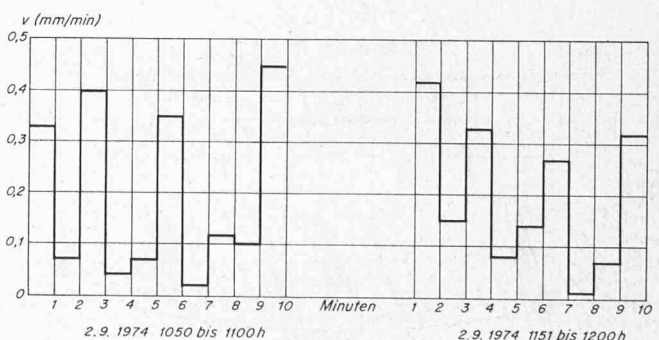


Bild 4. Kurzfristige Relativgeschwindigkeiten der abgestürzten «Eismasse» am See 3 des Grubengletschers. Das Beobachtungsintervall betrug 1 Minute

Oberflächenstrukturen erlaubten es, Bewegungsrichtung und Absturzmechanismus ziemlich genau und vor allem frühzeitig zu erkennen. Es konnte deshalb während der besonders heiklen Putzarbeiten eine doppelte Sicherung durchgeführt werden, indem die Rissbildungen in der Zone der stärksten Beanspruchung und die Relativgeschwindigkeit am Kryokinemeter gleichzeitig überwacht wurden. Es wurde dabei auch klar, dass die zu überwachende Kalbung nicht unterschätzt werden durfte, da der Absturz direkt in Richtung auf die Baustelle zu erfolgen musste. Da in der Hauptimpulsrichtung mit den grössten Wellenhöhen gerechnet werden muss [6], war trotz der relativ kleinen Absturzmasse grösste Vorsicht geboten.

Während die Relativgeschwindigkeit der abgestürzten «Eismasse» im grossen ganzen einer hyperbelartigen Kurve ohne wesentliche Sprünge und Knicke folgt (Bild 3), so war doch im einzelnen eine bemerkenswerte Unruhe festzustellen. So war die Bewegung keineswegs etwa regelmässig (vgl. dazu [8]), sondern ging in einzelnen, sich mit der Zeit immer rascher folgenden Rucken vor sich. Diese Rucke blieben bis unmittelbar vor dem Absturz immer in der gleichen Grössenordnung (0,3 bis 3 mm innerhalb von 1 bis 2 s) und waren gelegentlich von einem dumpfen Knall begleitet. Es ist deshalb anzunehmen, dass der Absturz in einer Reihe von sich immer schneller folgenden Rissbildungen vor sich ging. Bild 4 stellt diese Unruhe dar und zeigt, wie schwierig es sein könnte, einen grösseren Sprung im Bewegungsablauf ohne gravierenden Zeitverlust festzustellen. Die Beschleunigung am Absturztag war dann aber derart deutlich, dass mit beträchtlicher Zeitreserve und Sicherheit Absturzwarnungen und endgültiger Alarm gegeben werden konnten.

## Literaturverzeichnis

- [1] Röhrlisberger, H. (1971): Massnahmen gegen die Ausbrüche eines Gletschersees ob Saas-Balen (Grubengletscher). «Schweizerische Bauzeitung», 89. Jhg., Heft 40, S. 999–1003.
- [2] Mercanton, P.L. (1935): Le cryocinémètre de la Commission helvétique des Glaciers. «Ztschr. f. Gletscherkunde und Glazialgeologie», Bd. XXII, Heft 1/5, S. 163–171.
- [3] VAW/ETHZ (1972): Mauvoisin – Glacier de Giétro. Etudes de la possibilité d'une chute de glaces dans le lac de Mauvoisin et de ses conséquences. Im Auftrag der Forces motrices de Mauvoisin S.A., Sion.
- [4] VAW/ETHZ (1974): Felssturz bei Amden. Modellversuche zur Abklärung der Auswirkungen des Absturzes einer Gesteinsmasse in den Walensee. Im Auftrag des Baudepartementes des Kantons St. Gallen.
- [5] Volkart, P. (1974): Modellversuche über die durch Lawinen verursachten Wellenbewegungen im Ausgleichsbecken Ferden im Lötschental. «Wasser- und Energiewirtschaft», Nr. 8/9, 1974, S. 286–292.
- [6] Jørstad, F. (1968): Waves generated by landslides in Norwegian fjords and lakes. Norwegian Geotechnical Institute, Publication Nr. 79, S. 13–32.
- [7] Eie, J., Solberg, G., Tvinnerheim, K., Torum, A. (1971): Waves generated by landslides. Proceedings of the first International Conference on Port and Ocean Engineering under arctic conditions. Technical University of Norway, Vol. I, S. 489–513.
- [8] Kovári, K., Amstad, Ch., Grob, H. (1974): Messung von Verschiebungen und Deformationen an Bauwerken mit dem Distometer-ISETH. «Schweizerische Bauzeitung», 92. Jhg., Heft 36, S. 819–825.

Adresse des Verfassers: Dr. Wilfried Haerberli, Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie, Abteilung für Hydrologie und Glaziologie, Voltastrasse 24, 8044 Zürich (ETH Zürich).

## Der Brand der Grenzwaldbrücke

Von H. Ackermann, Würzburg

DK 624.3:614.84

Die Grenzwaldbrücke ist eine Autobahnbrücke ganz aus Stahl, Stahltragkonstruktion mit orthotroper Fahrbahnplatte. Sie ist  $65 + 100 + 2 \times 120 + 125 + 2 \times 120 + 100 + 65 = 935$  m lang und war zur Zeit der Erbauung die grösste Stahlbrücke dieser Art in Bayern. Die Stahltragkonstruktion ohne Auflager, Fahrbahnübergänge und Geländer wiegt 8600 t. Das feste Auflager befindet sich auf den Pfeilern IV und V, siehe Bild. Ihren Namen hat die Brücke von einem in ihrer Nähe liegenden Waldstück an der hessisch-bayrischen Grenze.

Die Brücke liegt im Zuge der Autobahn Würzburg–Fulda und überquert in unmittelbarer Nähe von Bad Brückenau noch auf bayrischem Gebiet in leichtem horizontalem Bogen

von  $R = 2000$  m in 100,3 m Höhe über dem Talgrund den «Kleinen Sinn». In vertikaler Richtung liegt die Brücke ebenfalls in einem leichten Bogen von  $R = 20000$  m und ist etwa bei Pfeiler V am tiefsten. Die beiden Widerlager der Brücke liegen also nicht auf gleicher Höhe. Das Fuldaer Widerlager liegt dem Würzburger Widerlager gegenüber etwas höher. Entsprechend der Brückenkrümmung in horizontaler Richtung liegt der äussere Hauptträger der Brücke, d.i. der südwestliche Hauptträger auf die ganze Länge der Brücke etwas höher. Die Querneigung der Brücke beträgt 2,5%.

Die Hauptträger sind durchlaufende Vollwandträger. Ihre Höhe schwankt zwischen 5,80 m in Brückenmitte und 4,0 m an den beiden Widerlagern. Die Stahlblechstärke ist normal 12 mm und über den Stützen 14 mm. Die beiden Hauptträger sind 20,2 m voneinander entfernt und über den Stützen und an ihren Stössen (die Hauptträger wurden in Stücken von 20,0 m Länge an die Baustelle geliefert) mit 3,0 m hohen Fachwerkträgern miteinander verbunden. Die Fachwerkträger bilden auch die Auflager für die ebenso hohen lastverteilenden Fachwerkklängsträger, die in der Mitte und in den Viertelpunkten des Brückenquerschnittes angeordnet sind. Die Untergurte der lastverteilenden Fachwerkklängsträger sind als Fahrbahn für einen Besichtigungswagen unter der Brücke ausgebildet.

Die beiden Brückenhauptträger und die drei lastverteilenden Fachwerkklängsträger zusammen tragen in Abständen von 2,50 m die 0,8 m hohen durchlaufenden Vollwandquerträger, die eigentlichen Träger der orthotropen Fahrbahnplatte.

