Gruebengletscher Guttannen : Spurensuche in Gelände und Archiven zu den Gletscherseeausbrüchen

Autor(en): **Kämpfer, Corinne / Hählen, Nils**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Mitteilungen der Naturforschenden Gesellschaft in Bern**

Band (Jahr): **70 (2013)**

PDF erstellt am: **23.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-389800

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

Corinne Kämpfer[1], Nils Hählen[1]

Gruebengletscher Guttannen – Spurensuche in Gelände und Archiven zu den Gletscherseeausbrüchen

Zusammenfassung

1921 und 1942 gab es zwei beachtliche Ausbrüche des Gletschersees beim Gruebengletscher im Grimselgebiet. Folge dieser Ausbrüche waren grosse Murgänge im darunterliegenden Grueben- und Aerlenbach sowie Hochwasser mit Schäden in der Aare bis nach Meiringen. Die Spuren der Murgänge sind heute noch im Gelände erkennbar. Ebenso kann auch das Portal des Entwässerungsstollens besichtigt werden, welcher nach dem Ausbruch von 1942 durch den Kanton zur Erhöhung der Hochwassersicherheit des Tales gebaut wurde. Die genaue Rekonstruktion der damaligen Ereignisse ist mit zahlreichen Schwierigkeiten verbunden, da teilweise widersprüchliche Angaben in den konsultierten Dokumenten enthalten sind. Im vorliegenden Artikel wird versucht, durch Kombination der im Gelände ausgewerteten Spuren, der Sichtung historischer Unterlagen und von überschlagsmässigen Berechnungen den wahrscheinlichen Ereignisablauf und insbesondere dessen Kenngrössen zu rekonstruieren.

1. Einleitung

1.1. Der Gruebengletscher als Arbeitsthema

In den Jahren 2011 und 2012 haben sich zwei Personen unabhängig voneinander vertieft mit der Vergangenheit des Gruebengletschers auseinandergesetzt. Daraus sind eine Masterarbeit einer Geologie-Studentin der Universität Bern und ein Bericht eines Wasserbauingenieurs beim kantonalen Tiefbauamt entstanden. Während die Masterarbeit den Schwerpunkt auf die Dokumentation der heute noch sichtbaren Spuren im Gelände legte, fokussierte der Ingenieur-Bericht auf die Auswirkungen der zwei grossen Seeausbrüche und auf den anschliessenden Bau des Entwässerungsstollens. Im vorliegenden Artikel werden die Erkenntnisse beider Arbeiten vereint, so entsteht ein möglichst vollständiges Bild über die Geschichte des Gruebengletschers in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts.

[1] Corinne Kämpfer, MSc Erdwissenschaften, Geotest AG Zolllikofen
Nils Hählen, Wasserbauingenieur, Tiefbauamt des Kantons Bern

1.2. Gletscherseen und deren Ausbrüche

Gletscherseen bilden sich, wenn Schmelzwasser an Lockergesteinsansammlungen, Felsriegeln oder am Gletschereis gestaut wird. Häberli (1992) unterscheidet zwischen randglazialen, periglazialen und proglazialen Seen. Randglaziale Seen bilden sich an der Seite des Gletschers mit direktem Kontakt zum Eis. Periglaziale Seen sind nicht im Kontakt mit dem aktiven Gletscherrand, denn das Wasser staut sich in ausgeschmolzenen Vertiefungen im Permafrost oder im Toteis. Proglaziale Seen bilden sich vor dem Gletscher und stauen sich oft an Moränenwällen. Bei Seen, welche am Gletschereis selbst gestaut werden, spricht Häberli (1992) von sub-, intra- und supraglazialen Wasseransammlungen unter, im und auf dem Gletscher. Meist braucht es eine Veränderung in der Landschaft, die dazu führt, dass das Wasser nicht mehr gleichmässig abfliessen kann und somit eine Seebildung verursacht. Im Fall der von Gletschereis gestauten Seen, führen Gletscherbewegungen zu einer Veränderung. Durch das Abschmelzen bildet sich einerseits viel Schmelzwasser und andererseits werden Übertiefungen frei, in denen sich dieses Wasser sammeln kann. Aber auch durch vorstossende Gletscher können sich neue Seen bilden, wenn solche Gletscher ein Seiten- oder Haupttal abriegeln. Bekannte Beispiele aus der Schweiz sind der Märjelensee beim Aletschgletscher

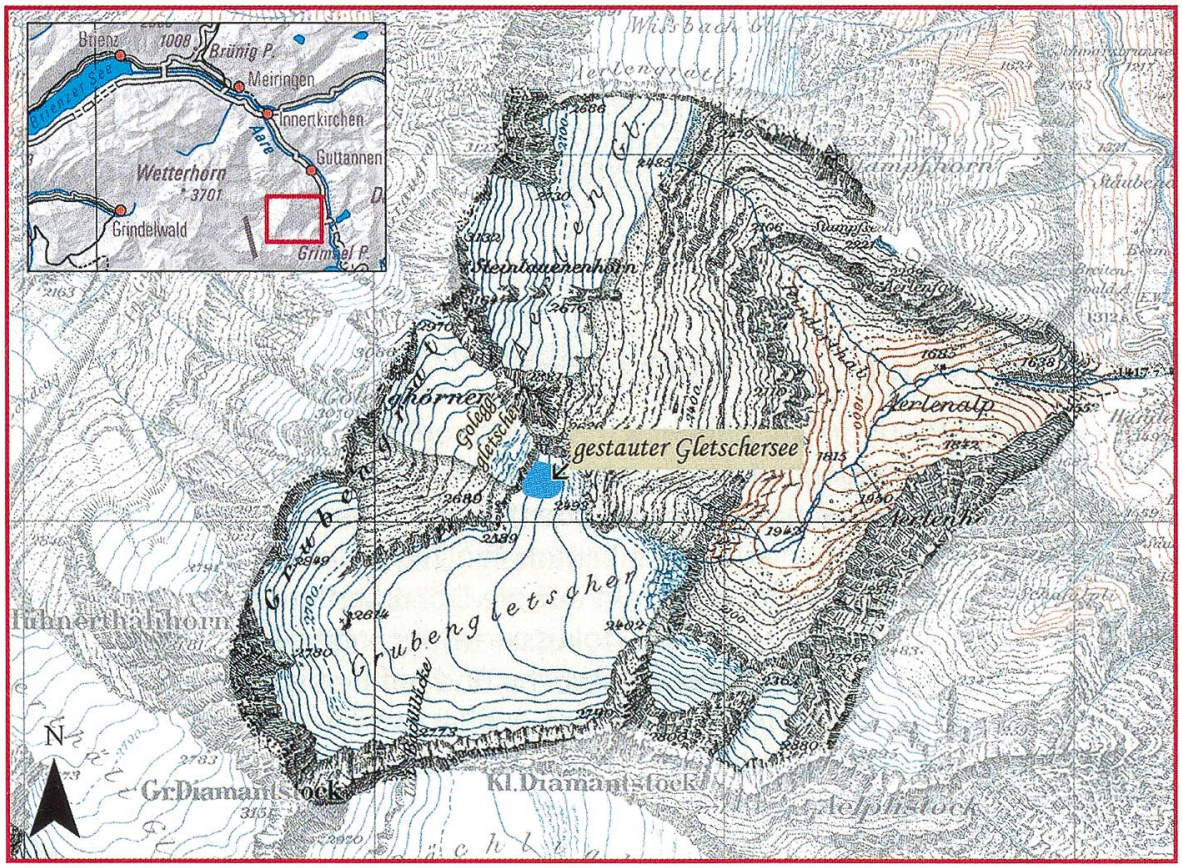

Abbildung 1: Übersichtskarte Gruebengebiet mit Lage des Gletschersees. Hintergrund: Siegfriedkarte ca. 1940, verändert. Reproduziert mit Bewilligung von swisstopo (BA13051).

und der Mattmarksee beim Allalingletscher. Gletscherseen bilden sich manchmal nur für einige Monate, können aber auch über hunderte von Jahren bestehen. Je nach Stabilität des Damms kann es in manchen Fällen zu einer plötzlichen Entleerung des Sees kommen, einem sogenannten Gletscherseeausbruch. Eisgedämmte Gletscherseen können auf verschiedene Arten ausbrechen: Der stauende Eisdamm kann vollständig durchbrechen. Der See kann supraglazial überlaufen und über den Eisdamm hinweg abfliessen. Es kann sich aber auch ein Tunnel im Gletschereis bilden. Ist dieser Tunnel genügend gross, kommt es zu einer plötzlichen Entleerung des Sees, oder der Wasserdruck steigt an, bis der Eisdamm oder die ganze Gletscherzunge hydrostatisch aufschwimmt. Ein solcher Gletscherseeausbruch löst eine Flutwelle aus, welche eine potenzielle Gefahr für die flussabwärts liegende Umgebung ist.

1.3. Gletscherseeausbrüche am Gruebengletscher

Vermutlich gegen Ende des 19. Jahrhunderts hatte sich auch am Gruebengletscher ein eisgestauter See gebildet. Der Gruebengletscher liegt im östlichen Berner Oberland, auf dem Gebiet der Gemeinde Guttannen, in einem seitlichen Talkessel westlich der Handegg. Der Talkessel wird durch das Steinlauihorn, das Hinterteltihorn sowie den Chlynen und Grossen Diamantstock begrenzt *(Abb. 1)*. Der Gletscher hatte Anfang des zwanzigsten Jahrhunderts eine Fläche von gut zwei Quadratkilometern und erstreckte sich über eine Höhe von 1980 bis 3700 m ü.M. Im Jahr 1921 kam es zu einem plötzlichen Ausbruch des Gruebensees (Gertsch 1960). Zwischen 1923 und 1941 leerte und füllte sich der überwachte See mehrmals, jedoch ohne abrupten Ausbruch. 1942 brach der See erneut aus (Flotron 1937–1942).

2. Der Gruebengletschersee zwischen 1921 und 1942

2.1. Die Entstehung des Gletschersees

Beim Gletschersee auf dem Gruebengletscher handelte es sich um einen randglazialen See, der zwischen Gletschereis, Fels und Moränenmaterial entstanden ist. Der Entstehungszeitpunkt geht mindestens auf das Ende der 1880er-Jahre zurück (VAW 2003 und Ingenieurbüro Dr. A. Kaech 1942). Als Folge des Gletscherrückzugs wurde am Gletscherrand eine Senke frei, welche alljährlich im Frühling mit Schmelzwasser gefüllt wurde. Die Entleerung erfolgte in der Regel gemächlich im Herbst, ohne Überschwemmungen im Tal zu verursachen. Ein oberirdisches Überlaufen des Sees über den Gletscher wurde nie beobachtet. Sicher überliefert sind zwei abrupte Seeausbrüche 1921 und 1942. Wahrscheinlich kam es aber bereits 1896 zu einem plötzlichen Seeausbruch (Ingenieurbüro Dr. A. Kaech 1942). Zu diesem sind jedoch keine weiteren Informationen verfügbar.

2.2. Der Seeausbruch 1921

Der erste grosse Seeausbruch fand am 3. Oktober 1921 nachmittags statt, als der See innerhalb von drei Stunden ausfloss *(Abb. 2)* und dabei die Aerlenalp und die

Abbildung 2: Leeres Seebecken nach dem Ausbruch. Der rote Kreis zeigt eine Person als Grössenvergleich.

Abbildung 3: Zerstörte Grimselstrasse bei der Aerlenbachbrücke nach dem Ausbruch vom 3. Oktober 1921.

Grimselstrasse verwüstete. Bei diesem Ereignis wurden zwei Alphütten auf der Aerlenalp und zwei Brücken mitgerissen *(Abb. 3)*. Die gesamte Alp wurde dabei verwüstet und konnte nicht mehr wiederhergestellt werden. Sonstige Schäden waren keine zu verzeichnen (Oberingenieurkreis I 1942). Im Bereich der Aare wurde bei diesem Ereignis durch die mobilisierten Geschiebemassen der Talboden unterhalb des Handeggfalls bis zu acht Meter hoch aufgefüllt (von Stürler 1944). Für den Kanton betrugen die Schäden an der Grimselstrasse rund Fr. 20 000, weitere Zahlen über das Schadensausmass sind nicht überliefert.

Das Seebecken des Gletschersees füllte sich im darauf folgenden Jahr nur wenige Meter hoch, erreichte aber bereits 1923 wieder den oberen Rand der Eiswand. Der nächste abrupte Ausbruch sollte jedoch erst über 20 Jahre später stattfinden.

2.3. Die Beobachtung des Gletschers zwischen 1921 und 1942

Zwischen 1921 und 1942 wurde die Höhenlage des Seespiegels periodisch vermessen. Da der absolute Seepegel von Jahr zu Jahr sank, zog man daraus anfänglich fälschlicherweise den Schluss, dass das Seevolumen kontinuierlich abnähme. In Wirklichkeit hatte sich jedoch die Seefläche bis 1942 um 120 m talwärts erweitert und durch das Aufschmelzen von Eis wurde, trotz tieferem Seespiegel, ein immer grösseres Seevolumen *(Abb. 4)* geschaffen (von Stürler 1944).

2.4. Der Seeausbruch 1942

Am 14. September 1942 ereignete sich gegen Abend erneut ein Seeausbruch, der noch bedeutend grösser war als jener von 1921 (Kaech 1942). Die Aerlenalp *(Abb. 5)*, die Brücke über die Grimselstrasse und die Baustelle der Kraftwerke Oberhasli AG in der Handegg wurden verwüstet. Ein Teil des Murgangs brach linksufrig aus dem Aerlenbach aus und floss über die Handeggkehren. Auch die

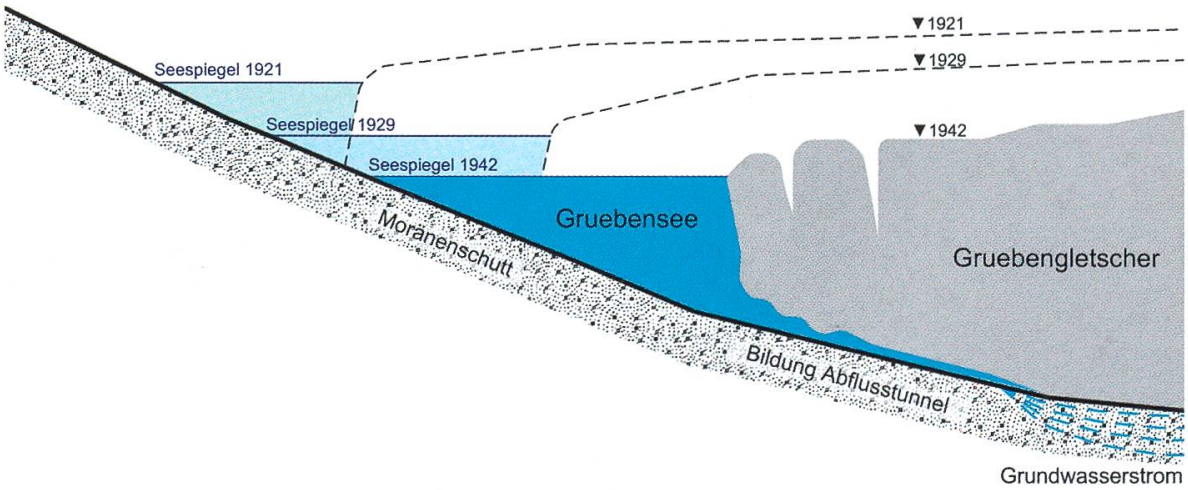

Abbildung 4: Verschiebung der Seefläche talabwärts von 1921 bis 1942 in einem schematischen Längenprofil durch den Gletscher.

Abbildung 5: Blick in Richtung Aerlenalp am 17. September 1942, 3 Tage nach dem Seeausbruch.

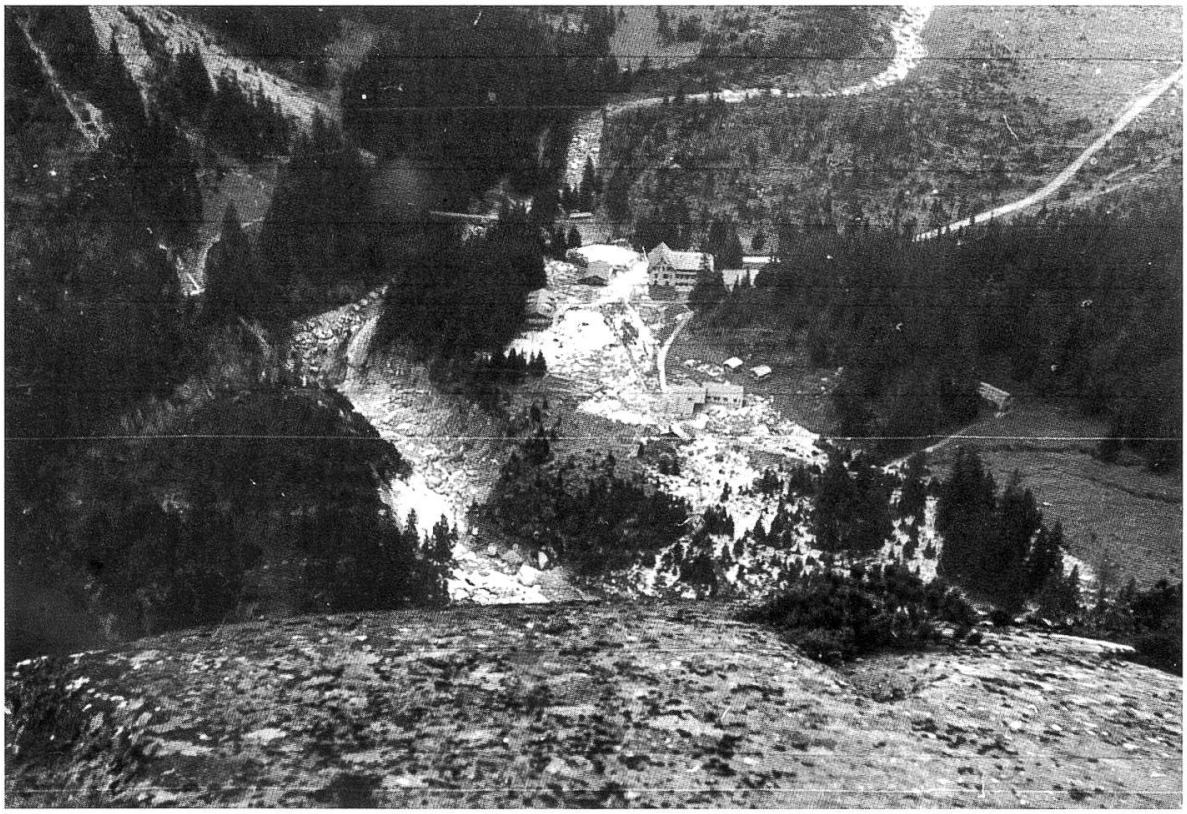

Abbildung 6: Blick flussaufwärts in Richtung Hotel Handegg am 16. Oktober 1942.

Anlage der Alp und des Hotels Handegg waren betroffen *(Abb. 6)*. Dabei wurden längere Abschnitte der Grimselstrasse zerstört (Oberingenieurkreis I 1942 und von Stürler 1944). Menschleben waren bei diesem Ereignis glücklicherweise keine zu beklagen.

In der Aare betrug die Ausbreitungsgeschwindigkeit der Flutwelle Richtung Meiringen zirka 2,7 m/s, also etwa 10 km/h. Vor allem im Aareabschnitt bis nach Innertkirchen sind grosse Schäden an Ufer und Verbauungen entstanden. Weiter flussabwärts, zwischen Aareschlucht und Brienzersee, wurden zahlreiche Uferschwellen beschädigt (Oberingenieurkreis I 1942). Insgesamt verursachte der Seeausbruch Schäden von weit über einer Million Franken (Ingenieurbüro Dr. A. Kaech 1942).

Der Abflusstunnel aus dem Gletschersee konnte an der Basis des Gletschers am 24. Oktober 1942 über 200 m weit begangen werden. Er wies Querschnitte von 10 bis 40 m^2 auf und war zwischen Grundmoräne und Eis ausgebildet.

3. Geologische Kartierung

Die Spuren der Gletscherseeausbrüche des Gruebensees sind noch heute im Gelände sichtbar. Sie reichen von 2450 m ü.M., dem früheren höchsten Seespiegel, bis hinunter in die Handegg auf 1400 m ü.M. *(Abb. 7)*. Die Ausbrüche schufen sowohl Erosions- wie auch verschiedene Ablagerungsformen in der Landschaft. Teilweise wurden die Spuren der Ausbrüche von rezenteren Ereignissen oder durch menschliche Eingriffe verändert. Die verbleibenden Spuren der Ausbrüche wurden mit einer Kartierung dokumentiert *(Abb. 7)*. Eine Unterscheidung zwischen den beiden Ausbrüchen von 1921 und 1942 konnte im Feld nicht gemacht werden. Es ist jedoch anzunehmen, dass die Spuren vom Ausbruch 1921 durch das grössere Ereignis von 1942 weitgehend verwischt wurden und somit die Kartierung vor allem den Seeausbruch von 1942 dokumentiert.

Der Seespiegel der Gletscherseen lag 1921 gut 110 m, 1942 noch 60 m höher und etwas nordwestlicher als der heutige Gruebensee. In diesem kleinen Seitental finden sich noch Zeugen der einstigen Seen. Aus der Ferne kann durch die Topographie und den etwas stärkeren Vegetationsbewuchs, wahrscheinlich verursacht durch die Ablagerung von feinkörnigem Material im See, der höchste Seestand ausgemacht werden *(Abb. 8)*. An dieser obersten Seespiegelgrenze befindet sich ein Oxidationshorizont im Lockergestein. Ein Indiz dafür, wie hoch das Wasser im Lockergestein reichte, denn im Wasser gelöste Stoffe wie Eisen reichern sich nahe des (Grund-)Wasserspiegels an und fällen in diesem Bereich aus. Auf gleicher Höhe hatte sich zur Zeit des Sees auch ein kleines Delta gebildet. Die Eisrandstände des Gruebengletschers sind im Feld schwierig auszumachen. Zwar befinden sich im unteren Bereich des früheren Seebeckens sogenannte Eisrandablagerungen (Kames), welche durch die Erosionskraft des Goleggbachs

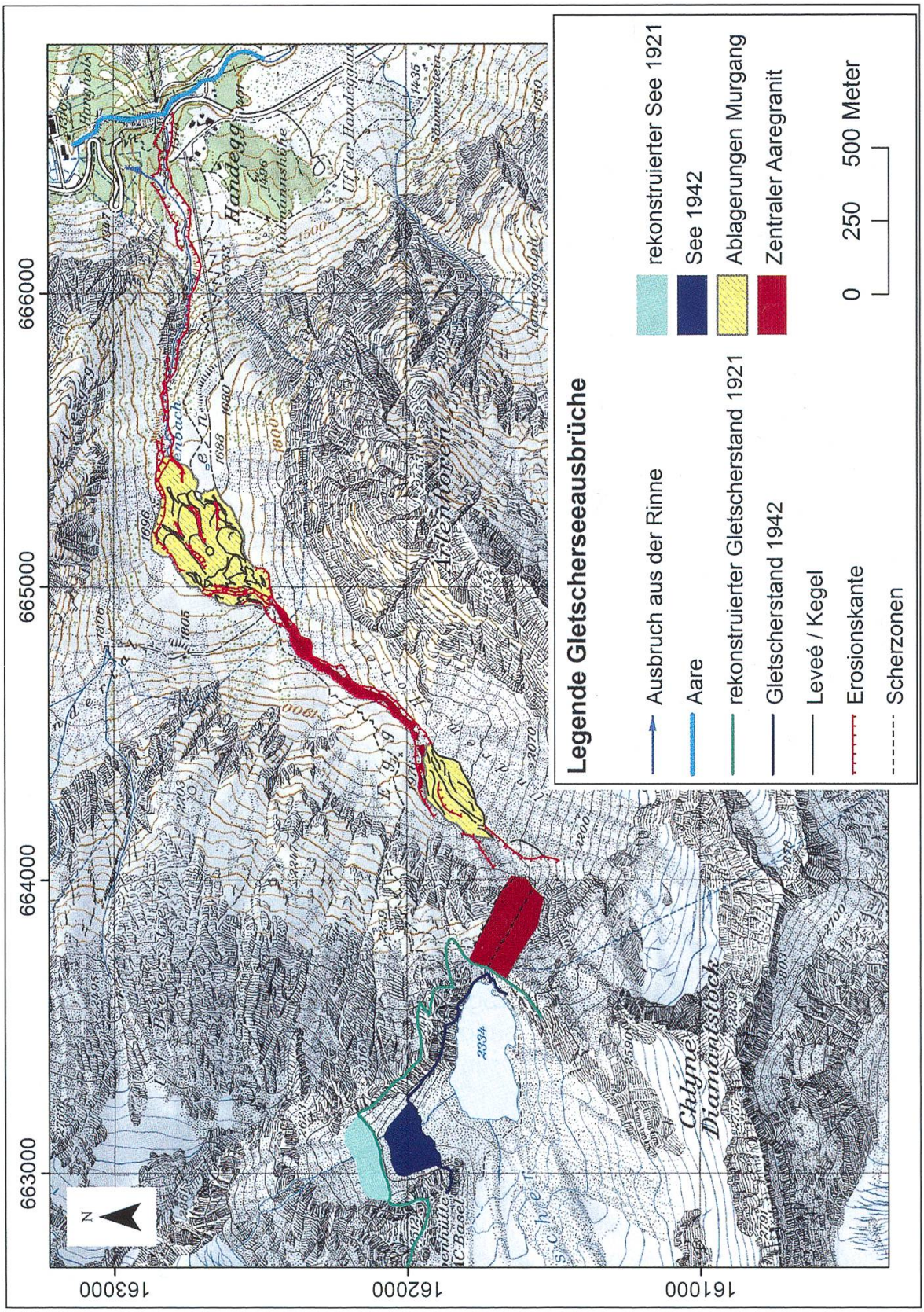

Abbildung 7: Kartierung und Darstellung der sichtbaren Spuren durch Corinne Kämpfer, Sommer 2011. Hintergrund: Landeskarte der Schweiz (2007), Reproduziert mit Bewilligung von swisstopo (BA13051).

Abbildung 8: Heutiger See beim Gruebengletscher. Rot markiert der höchste Seespiegel des 1921 ausgebrochenen Sees.

Abbildung 9: Erosion in den glazigenen Lockergesteinen durch den Aufprall der Flut des Gletscherseeausbruchs. Der Pfeil zeigt die Fliessrichtung der Fluten.

Abbildung 10: Erosion des Bachbettes bis auf den Fels (Erosionskanten in Rot markiert) und der Schwemmfächer auf der Aerlenalp (gelbe Markierung).

seitlich angeschnitten wurden und so sichtbar sind. Diese stammen aber wahrscheinlich, da noch erhalten, von Gletschervorstössen nach dem Ausbruch von 1942. Zum genauen Eisstand in den jeweiligen Jahren der Seeausbrüche kann anhand der Kartierung im Feld kaum eine Aussage gemacht werden. Für den in den *Abbildungen 7* und *8* dargestellten Gletscherstand von 1921 wurde hauptsächlich von den Höhenangaben zum Seespiegel von Mercanton (1922) ausgegangen. Die Oberfläche und der Standort des Sees von 1942 wurden aus der Karte vom Ingenieurbüro Dr. A. Kaech (1945) übernommen.

Um den heutigen Gruebensee herum ist der Verlauf der Ausbrüche schlechter verfolgbar. Die erosive Kraft der Ausbrüche wird erst bei der früheren Gletscherzunge wieder sichtbar, wo die Ausbrüche den Gletscher verlassen haben. Dort ist eine Rinne in den Felsriegel erodiert. Sie beginnt an der Stelle, wo heute das Wasser des Gruebensees in einem Stollen der Kraftwerke gefasst wird und verläuft entlang einer Scherzone im Granit mit leichter erodierbarem Gestein. Die Rinne war möglicherweise früher eine subglaziale Entwässerungsrinne. Sie ist zirka 350 m lang und sehr steil. Auf diesem Abschnitt muss die Flut eine grosse Beschleunigung erhalten haben, worauf sie mit entsprechend hoher Energie unten in die Lockergesteine prallte. Dabei erodierte das Wasser eine Rinne und remobilisierte die grobkörnigen glazialen Sedimente *(Abb. 9)*. An dieser Stelle verwandelten sich die aus dem See entleerenden Wasserfluten in einen Murgang. Unterhalb dieses Abschnitts mit starker Erosion sind teilweise noch Erosionskanten sichtbar, es überwiegen aber Ablagerungen, welche wahrscheinlich nach dem Abklingen der Murgangfront entstanden sind. Die Blöcke und Levées sind in der Fliessrichtung des Murgangs ausgerichtet.

Danach folgt auf einer Strecke von 500 m ein Abschnitt, mit wieder deutlich erhöhtem Gefälle. Dort erodierten die Fluten das Bachbett bis auf den Fels *(Abb. 7 und 10)*. Seitlich sind an den Schuttfächern die Erosionskanten noch gut sichtbar. An drei Stellen wurde der Bachquerschnitt eingemessen. Er beträgt überall um die 300 m^2.

Nach dieser Erosionsstrecke breitet sich auf der Aerlenalp der Schwemmfächer auf einer Fläche von etwas mehr als 100 000 m^2 aus *(Abb. 12)*. Er setzt sich aus Korngrössen von Sand bis zu Blöcken zusammen *(Abb. 11)*. Die grössten Komponenten verfügen über Blockachsen in der Grössenordnung von 3 x 2 x 1 m. Feinkörnigeres Material wurde wahrscheinlich teilweise während dem Ereignis, teilweise später ausgewaschen. Loben, Levées und Rinnen zeugen davon, dass sich der Murgang in mehreren Etappen abgelagert hat *(Abb. 12 und 13)*.
Auf dem Schwemmfächer wurden die Blockgrössen und deren räumliche Verteilung eingemessen und kartiert, um weitere Informationen über den Ablagerungsvorgang und Transportenergien der Murgänge zu erhalten. Entlang der Höhenlinien wurde mit einer Distanz von 10 Höhenmetern die Grösse der Blöcke eingemessen *(Abb. 13)*. Die grösseren Blöcke befinden sich im unteren Bereich

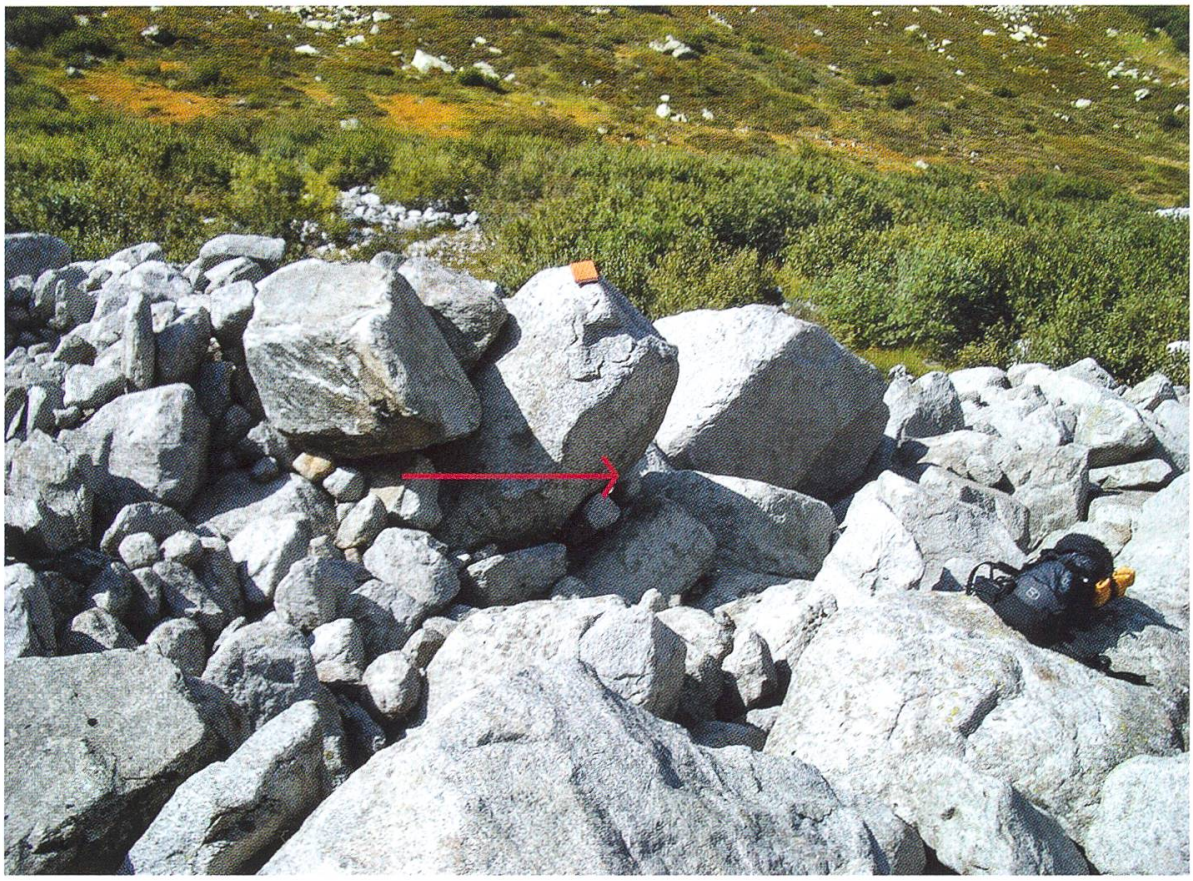

Abbildung 11: Blöcke auf dem Schwemmfächer der Aerlenalp. Rucksack und Feldbuch als Massstab. Der Pfeil zeigt die Fliessrichtung.

Abbildung 12: Schwemmfächer Aerlenalp gelb eingekreist.

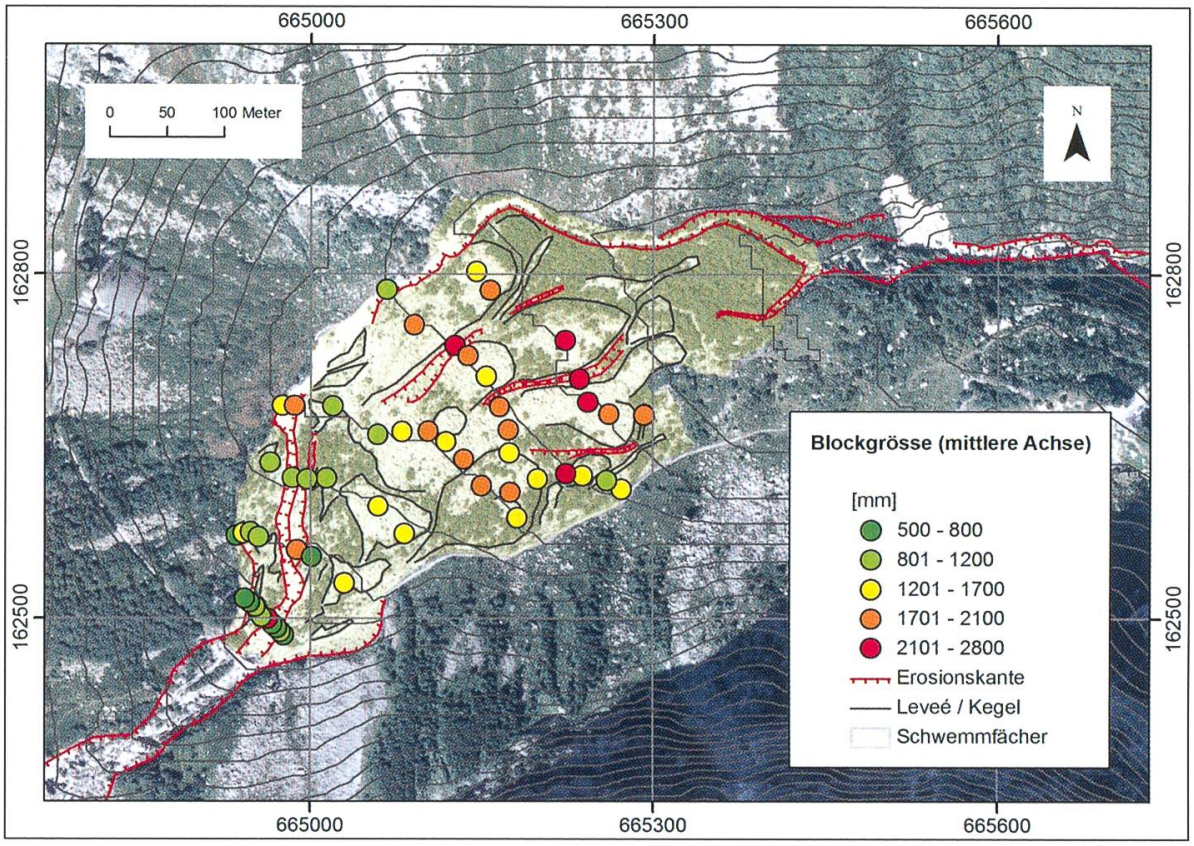

Abbildung 13: Kartierte Blockachsen auf dem Schwemmfächer der Aerlenalp. Hintergrund Flugaufnahme (2007), verändert. Reproduziert mit Bewilligung von swisstopo (BA13051).

des Schwemmfächers. Gegen oben hin nehmen die Blockgrössen ab. Dies ist einerseits mit dem Abklingen des Murgangs von 1942 zu erklären, da die gegen Ende der Seeentleerung abnehmenden Fliessenergien nur noch kleinere Kubaturen zu transportieren vermochten, welche auch eine geringere Reichweite hatten. Andererseits ist anzunehmen, dass nach dem Ausbruch von 1942 kleine Murgangereignisse stattfanden, welche den obersten Bereich des Schwemmfächers überdeckten. Das letzte grössere solche Ereignis fand im Oktober 2011 statt. Ein Murgang löste sich unterhalb des Alplistocks und verschüttete den oberen Bereich des Schwemmfächers auf der Aerlenalp. Somit sagen vor allem die Blöcke im unteren Bereich des Schwemmfächers etwas über den Ausbruch von 1942 aus. Von der mittleren b-Achse der Blöcke kann mit der Formel von Costa (1983) auf die kritische Fliessgeschwindigkeit geschlossen werden, bei der die Blöcke gerade noch transportiert werden. Um die grössten Blöcke mit einer mittleren Achse von 2,1 bis 2,8 m zu transportieren, waren Fliessgeschwindigkeiten bis zu 8,6 m/s (30 km/h) nötig, was einen realistischen Wert für Murgänge in diesem Gebiet darstellt.

Unterhalb der Aerlenalp wurde das Bachbett des Aerlenbachs durch die beiden Ausbrüche stark eingetieft und verläuft heute auch hier oft auf dem Fels. Etwas oberhalb des Hotels Handegg brach der Murgang auf der rechten Seite aus dem

Bachbett aus. Teilweise sind die Ablagerungen noch sichtbar, teilweise wurden sie weggeräumt. Noch etwas weiter flussabwärts sind linksufrig Spuren eines weiteren seitlichen Ausbruchs des Murgangs von 1942 zu finden. Dort ist der Murgang in Richtung Zentrale Handegg der Kraftwerke Oberhasli AG ausgebrochen und hat die Bodenschicht und die Bäume bis auf den Felsen abgetragen. Diese Schneise ist heute im Gelände noch gut sichtbar.

4. Rekonstruktion des Ausbruchs

Bei den Seeausbrüchen 1921 und 1942 dürfte es sich um subglaziale Wasserausbrüche gehandelt haben. Dabei schafft sich das Wasser durch eine progressive Erweiterung eines Abflusskanals im Gletscherinnern einen immer grösser werdenden Abflussquerschnitt und kann damit eine komplette Seeentleerung einleiten. Dies würde auch den Kanal erklären, welcher nach dem Ausbruch des Sees unter dem Gletscher gefunden wurde (Ingenieurbüro Dr. A. Kaech 1942). Eine genaue Rekonstruktion des Ausbruchvorgangs sowie der maximalen Abflüsse ist sehr schwierig. Zu den Seevolumina vor den Gletscherseeausbrüchen existieren verschiedene Schätzungen *(Tab. 1)*.

Seevolumina beim Ausbruch von 1921		**Seevolumina beim Ausbruch von 1942**	
Quelle	Volumen [m³]	Quelle	Volumen [m³]
Oberhasler (1921)	45 000	Flotron, A. (1942)	180 000
Mercanton (1922)	300 000	Oberhasler (1942)	300 000
Kaech (1942)	350 000	Kämpfer (2012)	520 000
Hählen (2012)	350 000	Hählen (2012)	620 000
Kämpfer (2012)	470 000	Kaech (1942)	700 000

Tabelle 1: Zusammenstellung der Seevolumina aus den verschiedenen Quellen.

Kämpfer (2012) rekonstruierte das Seevolumen mit Hilfe eines Geografischen Informationssystems GIS, unter Einbezug eines digitalen Höhenmodells und einer aufgrund des rekonstruierten Seespiegels angenommenen Seefläche und Gletschertopographie. Hählen (2012) wertete die topographischen Aufnahmen des Seebeckens auf den alten Plänen des Ingenieurbüros Kaech aus den 1920er- resp. 1940er-Jahren aus und bestimmte das Abflussvolumen unter den Ganglinien der Abflussmessstation Guttannen (1921) und Brienzwiler (1942). Die heute stark veränderte Gletschertopographie als Folge der Gletscherschmelze und fehlende Grundlagen zur Konstruktionsart und Eichung der Abflussmessstellen verunmöglichen eine genaue nachträgliche Verifikation der in den verschiedenen Berichten festgehaltenen Zahlen zu Seevolumina und gemessenen Abflussspitzen. Die

Volumina der Regionalzeitung Oberhasler und von Flotron 1942 heben sich durch ihre tiefen Werte deutlich von den anderen Quellen ab. Da die Erhebungsart der Zahlen in diesen Quellen im Gegensatz zu den anderen nicht bekannt ist, werden sie nicht weiter berücksichtigt. Die Autoren schätzen somit das Seevolumen von 1921 auf 350 000 bis 470 000 Kubikmeter und dasjenige von 1942 auf 520 000 bis 650 000 Kubikmeter.

Clague & Mathews (1973), Costa & Schuster (1988) und Walder & Costa (1996) haben den Zusammenhang zwischen Seevolumina und maximalem Abfluss unmittelbar unterhalb des Gletschers mit einer empirischen Formel dargestellt. Die Berechnungen basieren, je nach Formel, auf 10 bis über 20 effektiven Ausbruchsereignissen. Die ersten beiden Formeln (Clague & Mathews 1973; Costa & Schuster 1988) basieren auf Ereignissen, bei denen es zu einem Dammbruch oder hydrostatischer Hebung des Eises kam. Die dritte Formel (Walder & Costa 1996) basiert auf Ausbruchsereignissen mit einem Abfluss durch einen Tunnel im Eis. Dabei gilt es zu beachten, dass sich die berechneten maximalen Abflüsse relativ stark unterscheiden, da die empirischen Formeln sehr spezifisch sind.

In den *Abbildungen 14* und *15* sind die mit den drei empirischen Formeln berechneten maximalen Abflüsse (unter Benutzung der in Tabelle 1 definierten Seevolumina) dargestellt und mit den Abflussschätzungen des Ingenieurbüros Dr. A. Kaech (1942) verglichen. Das Ingenieurbüro schätzte den Abfluss von 1921 zwischen 40 und 50 m^3/s, denjenigen von 1942 auf ca. 120 m^3/s. Für die Schätzungen verwendete das Büro für beide Ereignisse die Messstation in Guttannen, gut 7 km vom Gletscher entfernt. Es ist allerdings bekannt (mündliche Mitteilung Walter Schläppi-Kuster am 28.9.2012), dass diese Messstation 1942 teilweise umflossen wurde. Da sich zudem der Spitzenabfluss einer Schwallwelle flussabwärts jeweils aufgrund von Ausuferungen und Turbulenzen im Abfluss abbaut, müssen die Schätzungen des Ingenieurbüros als Minimalwerte angesehen werden. Ein weiterer Abflusswert für das Ereignis von 1942 wurde in Brienzwiler (ca. 150 m^3/s), knapp 30 km flussabwärts des Gletschers, vom dortigen Limnigraphen der Landeshydrologie gemessen.

Für das Ereignis von 1921 geht aus dem Vergleich *(Abb. 14)* der berechneten maximalen Abflüsse und den Angaben vom Ingenieurbüro Dr. A. Kaech (1942) hervor, dass erst bei Seevolumina grösser als 300 000 m^3 der geschätzte maximale Abfluss erreicht würde. Die mit der dritten Formel berechneten Abflüsse (Abfluss durch einen subglazialen Tunnel) wären, verglichen mit den Schätzungen des Ingenieurs, selbst beim grössten Seevolumen (500 000 m^3) noch zu gering.

Für den Ausbruch von 1942 erreicht keiner der berechneten Abflüsse die Höhe des gemessenen Abflusses. Zudem würde weder 1921 noch 1942 ein subglazialer Abfluss durch einen unterirdischen Tunnel alleine ausreichen, um den beobachteten Abfluss zu erreichen. Dies deutet darauf hin, dass insbesondere 1942 nicht alleine eine progressive Kanalerweiterung, sondern auch weitere Mechanismen für die Seeentleerung verantwortlich waren. In Frage kommen hierfür mechanische Brüche im Gletscheruntergrund (Grundmoräne), zusätzliche subglazi-

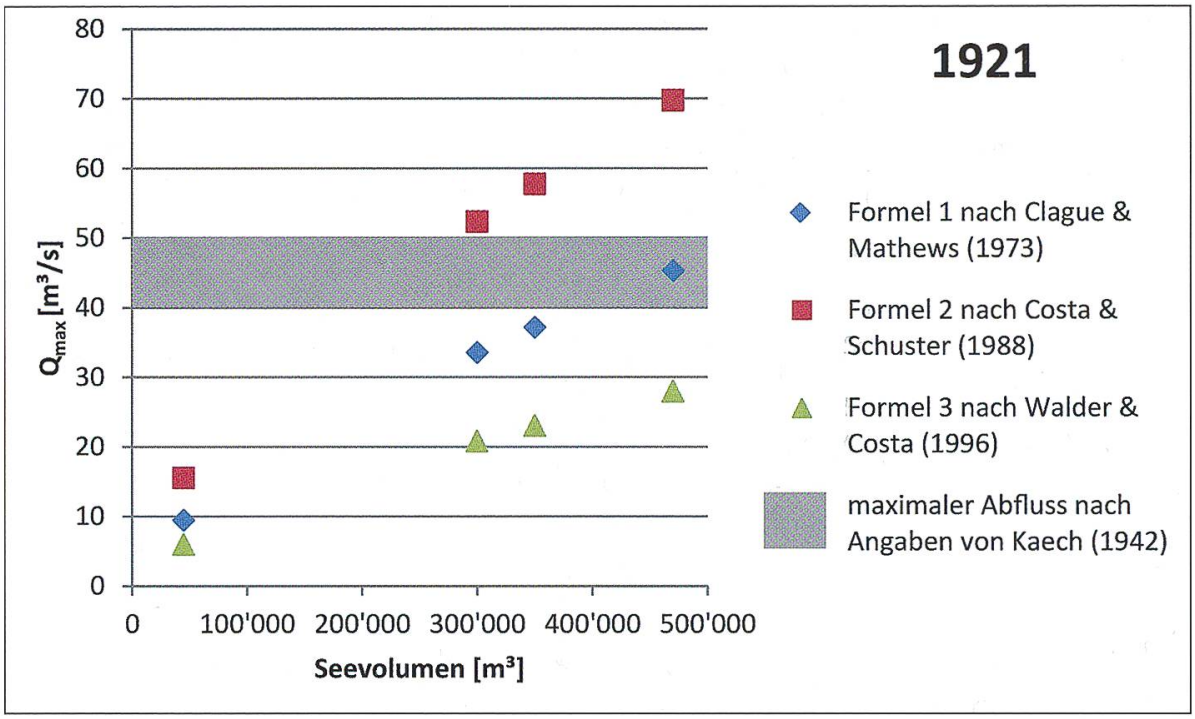

Abbildung 14: Abflussspitzen in Funktion des Seevolumens für subglaziale Abflüsse von 1921.

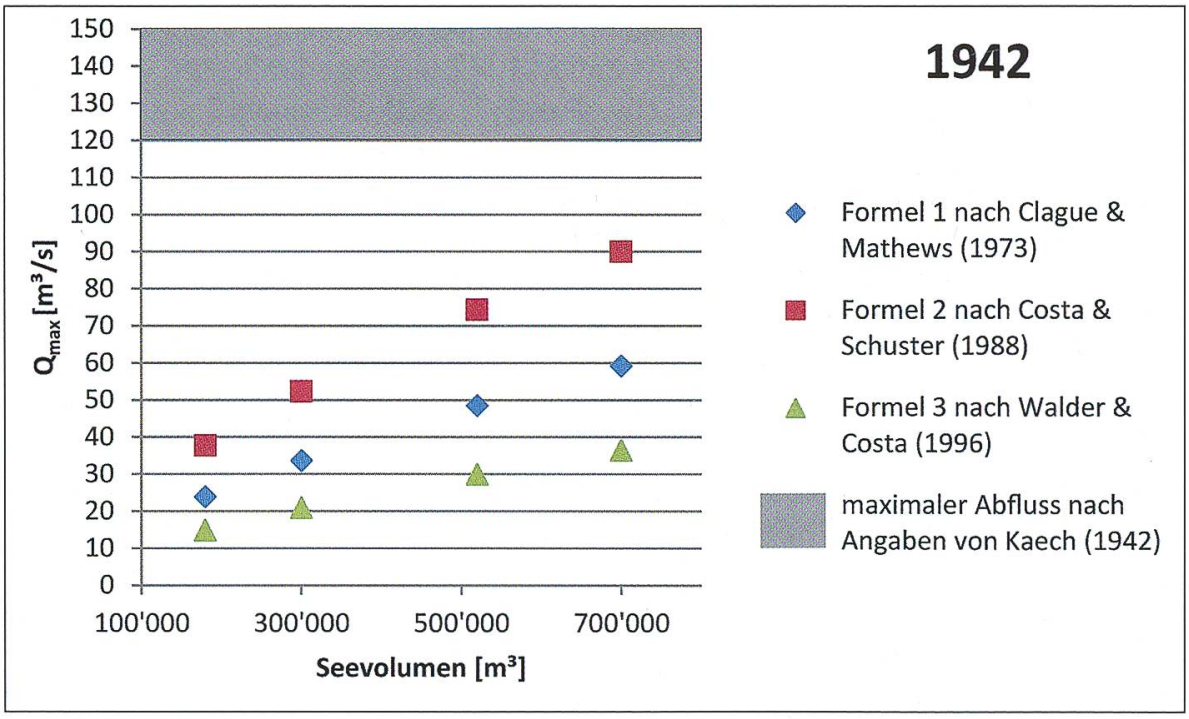

Abbildung 15: Abflussspitzen in Funktion des Seevolumens für subglaziale Abflüsse von 1942. Der Wert von Brienzwiler (ca.150 m³/s) knapp 30 km flussabwärts stammt vom dortigen Limnigraphen der Landeshydrologie.

ale Wasseransammlungen im Bereich des heutigen Sees oder die zeitweilige hydrostatische Hebung (Aufschwimmen) des Eiskörpers durch den Wasseraufstau. Bei solchen Prozessen resultieren grössere Abflussspitzen als bei Entleerungen, welche ausschliesslich auf subglaziale Kanalerweiterungen zurückzuführen sind. Der Murgang von 1921 hat schätzungsweise Geschiebe in der Grössenordnung von einigen 10 000 m^3 mobilisiert. 1942 dürfte gegenüber 1921 ein noch grösserer Murgang mit Abflussspitzen von wenigen 100 m^3/s im Bereich der Aerlenalp aufgetreten sein. Die 1942 übermurte Fläche beträgt gemäss Auswertung eines Orthofotos von 1947 alleine auf der Aerlenalp 120 000 m^2. Dieses ist die einzige Grösse, welche heute noch dank des historischen Luftbildes mit grosser Zuverlässigkeit bestimmt werden kann. Bei einer geschätzten mittleren Ablagerungsmächtigkeit von 1.5 bis 2.0 m ergibt dies ein mobilisiertes Geschiebevolumen von 180 000 bis 240 000 m^3. Die gesamte Ablagerungsfläche (inkl. Bereiche Aare sowie Hotel Handegg und Kraftwerkszentrale Handegg) umfasst 260 000 m^2. Damit beträgt, bei einer angenommenen mittleren Ablagerungshöhe von einem Meter, die gesamte mobilisierte Geschiebemenge mindestens 300 000 m^3.

5. Der Bau des Entwässerungsstollens

5.1. Variantenstudium

Zur Zeit des Seeausbruchs 1942, mitten im Weltkrieg, hatte die Grimselstrasse eine militärisch wichtige Bedeutung. Durch den Gletscherseeausbruch wurde die Strasse unterbrochen, und zusätzlich erlitt die sich damals im Bau befindende Kraftwerkszentrale Handegg grosse Schäden. Dadurch war die Notwendigkeit von Massnahmen im Gegensatz zum Ereignis von 1921 nicht mehr in Frage gestellt. Aufgrund des weiter fortschreitenden Gletscherrückzugs wurde die Gefahr von Seeausbrüchen in den kommenden Jahren als sehr gross beurteilt. Deshalb wurden folgende drei Varianten geprüft:

1 Umleitung der Gletschersee-Zuflüsse und somit Unterbruch der Hauptquelle der Seespeisung. Im Frühjahr wäre allerdings nicht zu verhindern gewesen, dass sich das Seebecken weiterhin durch die Schneeschmelze gefüllt hätte. Diese Variante hätte somit nur zu einer Reduktion des Gefahrenpotenzials, nicht aber zu dessen vollständigen Elimination geführt.
2 Das alljährliche Auspumpen des Sees hätte die Teilfüllung des Seebeckens im Frühling durch die Schneeschmelze unterbunden. Gleichzeitig hätte aber auch die erste Variante realisiert werden müssen, weil die Pumpenleistung im Hochsommer nicht ausgereicht hätte, um das Seebecken permanent leer zu halten.
3 Die Prüfung der Möglichkeiten führte zum Entscheid zu Gunsten einer dritten Variante, nämlich dem Bau eines Entwässerungsstollens. Ein Einlaufstollen auf dem Seegrund sollte künftig verhindern, dass sich im Seebecken Wasser ansammeln und so zu einem grossen See anwachsen konnte.

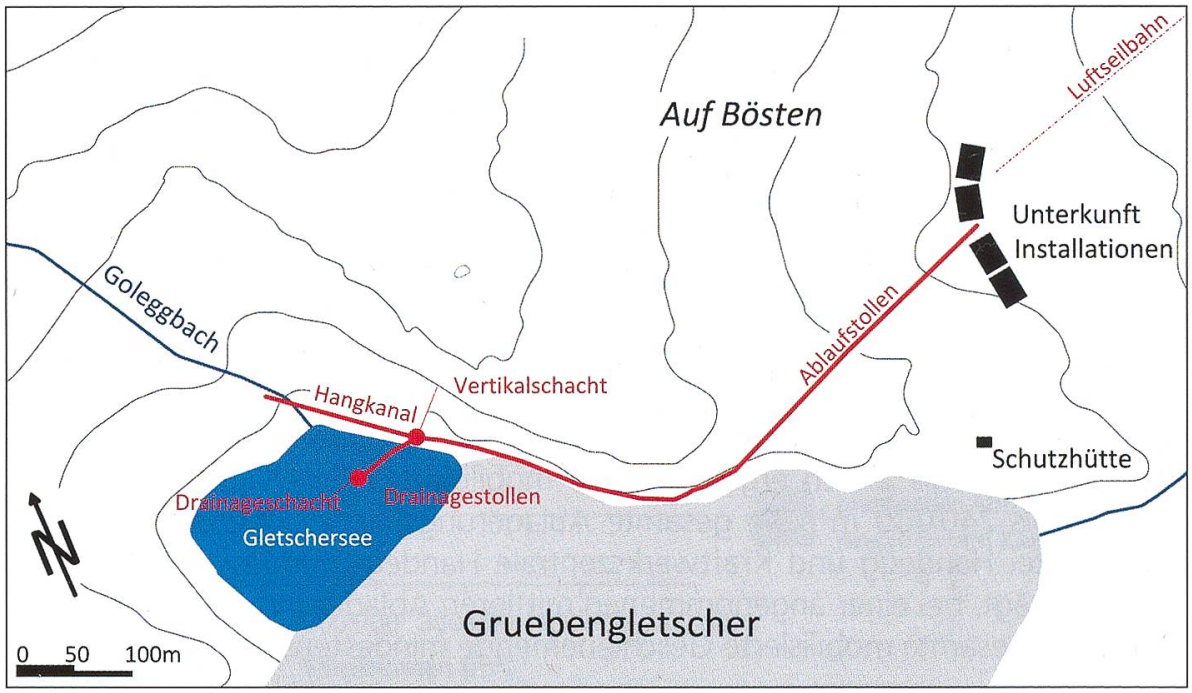

Abbildung 16: Schematische Darstellung der ausgeführten Hauptbestandteile der Gletschersee-Trockenlegung.

5.2. Projekt

Das Stollenprojekt am Gruebengletscher sah einen 60 m tiefen vertikalen Drainagestollen am Seegrund vor *(Abb. 16)*. Dieser sollte das Wasser anschliessend in einem leicht geneigten, 560 m langen Ablaufstollen am Rand des Gletschers in die Flanke des Gruebenbachs leiten (Ingenieurbüro Dr. A. Kaech 1942).

Die Bauherrschaft wurde durch das kantonale Tiefbauamt übernommen. Nach langen Verhandlungen einigte man sich unter allen Nutzniessern auf folgenden Finanzierungsschlüssel: Kanton 35%, Kraftwerke Oberhasli 30%, Bund 25%, eidgenössisches Militärdepartement 5%, Gemeinde Guttannen 3% und Gemeinde Innertkirchen 2%.

5.3. Bauablauf

Am 6. August 1943 begannen die Bauarbeiten mit den ersten Installationen. Als Baustellenerschliessung wurde eine Seilbahn mit 3,2 km Länge und knapp 1000 m Höhendifferenz zwischen Handegg und dem Gruebengletscher erstellt. Aufgrund einer Teilmobilmachung im September 1943 mussten sämtliche Seilbahnspezialisten einrücken. Die Zusammenstellung einer neuen Mannschaft und die immer kürzer werdenden Tage führten zu starken Verzögerungen und erheblichen Mehrkosten. Trotzdem konnte die Transportseilbahn noch vor Wintereinbruch definitiv in Betrieb genommen werden (Ingenieurbüro Dr. A. Kaech 1943/44).

Der Vortrieb am Ablaufstollen begann am 7. Oktober 1943. Die Arbeiten wurden im Winter nicht unterbrochen. Vom Installationsplatz auf 2300 m ü.M. wur-

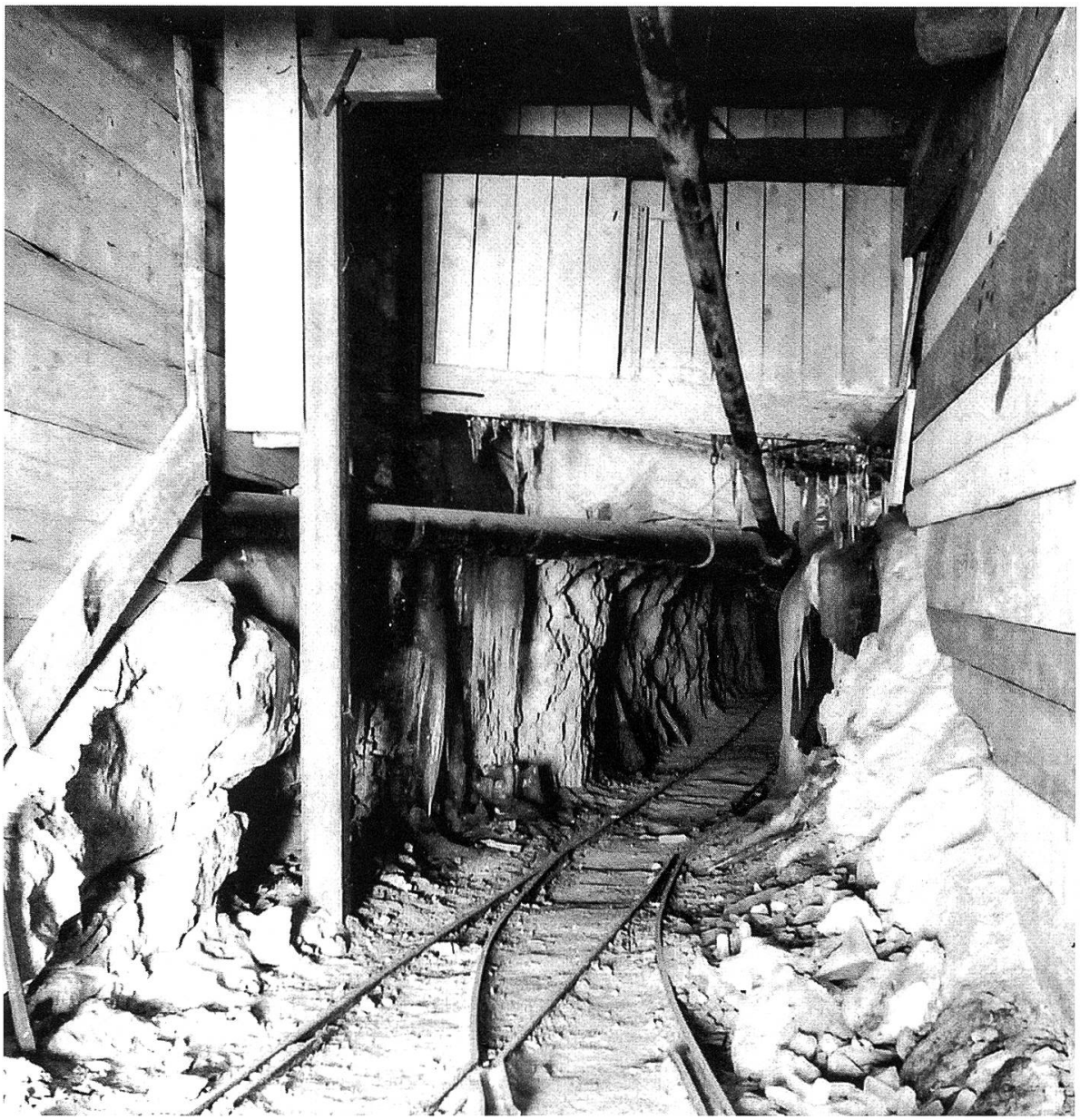

Abbildung 17: Stollenportal am 5. März 1944.

de der Stollen in Richtung Seebecken vorangetrieben. Der Stollen wies eine Breite von 1,6 m, eine Höhe von 1,9 m und ein Gefälle von 1% auf. Der Vortrieb erfolgte mit Bohrhammern. Ein Abschlag betrug 85 cm. Die Vortriebsleistung erreichte 21 Meter pro Woche. Nach 13 Monaten harter Arbeit erfolgte am 5. November 1944 der Durchschlag am Drainagestollen. Damit war die Verbindung zwischen Seebecken und dem Auslauf am Stollenportal fertiggestellt. Parallel zum Hauptstollen wurde der Goleggbach gefasst und dessen Wasser über einen kurzen Stollen ebenfalls in den Ablaufstollen geleitet, damit dieses nicht mehr in das Seebecken floss (Ingenieurbüro Dr. A. Kaech 1943/44). Die Arbeiten konnten mit kleinen Anpassungen an die lokalen Gegebenheiten, wie im Bauprojekt von 1942 vorgesehen, abgeschlossen werden.

Abbildung 18: Steinträger beim Bau des Hangkanals am 28. Oktober 1944.

5.4. Bauabschluss und Betrieb

Die Arbeiten waren kurz vor dem Einwintern 1944 so weit abgeschlossen, dass das Bauwerk im darauffolgenden Sommer seine Funktion aufnehmen konnte. Die Gesamtkosten für den Stollenbau beliefen sich auf Fr. 1,07 Millionen, womit gegenüber dem Kostenvoranschlag Mehrkosten von rund Fr. 300 000 resultierten (Ingenieurbüro Dr. A. Kaech 1946). Ausschlaggebend für die Mehrkosten waren vor allem die Komplikationen bei der Installation der Seilbahn und die massiven Schneeräumungen im Winter und sogar teilweise im Sommer.

Der Stollen war rund 10 Jahre lang in Betrieb und hat in dieser Zeit eine Neubildung des Gletschersees erfolgreich verhindert (Oberingenieurkreis I 1947–54). In den 1960er-Jahren wurde festgestellt, dass sich das Seebecken als Folge des fortschreitenden Gletscherrückgangs laufend vergrössert hatte, aber mittlerweile auf stabilem Felsuntergrund lag und somit keine plötzlichen Ausbrüche des Sees mehr zu befürchten waren. Heute hat sich der Gletscher so weit zurückgezogen, dass keine Gefahr durch Wasserausbrüche mehr besteht.

6. Gletscherseen heute

Gletscherseen sind kein neues Phänomen, sondern waren auch schon in der Vergangenheit gefürchtet, wie der Fall Gruebengletscher zeigt. Die Ausbrüche des Gruebengletschersees von 1921 und 1942 sind den gleichen Prozessen zuzuordnen, welche zum Beispiel auch den Ausbruch des Gletschersees auf dem Unteren Grindelwaldgletscher im Mai 2008 oder des Faverges-Sees auf der Plaine Morte im Juli 2012 verursacht haben. Das Wissen um die Entstehung und die Entleerungsmechanismen von gletschergestauten Seen war in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts bereits sehr weit entwickelt. Die Schlussfolgerungen von Kaech und seinen Leuten, aus Beobachtungen und Messungen vor Ort sowie Diskussionen mit Fachleuten entsprechen weitgehend dem heutigen Wissen.

Die Überwachung des Gruebengletschersees zwischen 1921 und 1942 beschränkte sich einzig auf periodische Begehungen und Vermessungen. In heutiger Zeit wird der Gefahr von Gletscherseen häufig mit automatischen Frühwarnsystemen (Beispiel Triftgletscher Gadmen oder Plaine Morte Lenk) begegnet, indem in Gletscherseen Sensoren installiert werden, welche einen Seeausbruch frühzeitig detektieren und die Sicherheitsverantwortlichen warnen. Kameras auf dem Gletscher und Abflussstationen am Gletscherbach liefern zusätzliche Informationen, welche jederzeit bequem über das Internet abgerufen werden können. Dies erlaubt, rechtzeitig organisatorische Massnahmen wie die Sperrung gefährdeter Strasse und Wege oder die Evakuation von Gebäuden im Überflutungsgebiet einzuleiten und damit Personen vor solchen Ereignissen zu schützen.

Wo die Vorwarnzeit zu kurz ist oder aber die resultierenden Sachschäden bei Seeausbrüchen übermässig gross sind, kommen auch heutzutage trotz dem Fortschritt bei technischen Überwachungssystemen weiterhin bauliche Massnahmen zum Einsatz. Das letzte Mal war dies beim Gletschersee am Unteren Grindelwaldgletscher der Fall, wo 2009, genau gleich wie am Gruebengletscher, ein Entwässerungsstollen gebaut wurde und erfolgreich die Gefahr weiterer Seeausbrüche verhindert werden konnte (Fechtig & Hählen 2013).

In den vergangenen Jahren sind vielerorts im Berner Oberland grosse Massenverlagerungen durch Prozesse aus glazialen und periglazialen Gebieten entstanden. Beispiele hierfür sind die Gebiete rund um den Oberen und Unteren Grindelwaldgletscher oder die Murgänge im Gasteretal oder im Spreitgraben bei Guttannen (vgl. hierzu Tobler et al. 2012). Ursache dieser grossen Massenverlagerungen sind Veränderungen durch den Rückzug von Gletschern und das Auftauen von Permafrost. Angesichts der Klimaänderung dürften solche Prozesse in Zukunft an Häufigkeit zunehmen (OcCC, ProClim 2007). Auch Gletscherseen dürften künftig häufiger auftreten (OcCC 2008), da die raschen Veränderungen durch die intensive Eisschmelze die Bildung neuer Seen begünstigt. Gut dokumentierte und analysierte Ereignisse, wie das Beispiel Gruebengletscher, erweitern das Wissen um solche Prozesse, führen zu besseren Entscheidungsgrundlagen und somit insgesamt zu einem erfolgreichen und zielgerichteten Umgang mit solchen Prozessen.

Quellen

Clague, J.J., & Mathews, W.H. 1973: The magnitude of Jökulhlaups. Journal of Glaciology, 12(66), 501–504.

Costa, J.E. 1983: Paleohydraulic reconstruction of flash-flood peaks from boulder deposits in the Colorado Front Range. Geological Society Of America Bulletin, 94, 986–1004.

Costa, J.E., & Schuster, R.L. 1988: The formation and failure of natural dams. Geological Society Of America Bulletin, 100, 1054–1068.

Fechtig R., Hählen N. 2013: Entwässerungsstollen Gletschersee Unterer Grindelwaldgletscher. In: World Tunnel Congress 2013 Geneva. Publikation in Vorbereitung.

Flotron, A. 1937–1942: Beobachtungen des Gruebensees im Sommer 1937, 1939, 1941 und 1942. Unveröffentlichter Bericht, Meiringen.

Gertsch, H. 1960: Der Wasserausbruch am Gruebengletscher (Oberhasli) am 3. Oktober 1921. Die Alpen (pp. 250–252). Bern: Verlag des Schweizer Alpenclub.

Häberli, W. 1992: Zur Stabilität von Moränenseen in hochalpinen Gletschergebieten. wasser, energie, luft – eau, énergie, air 1, 84(11/12), 361–364.

Hählen N. 2012: Die Geschichte des Gruebengletschers in Guttannen 1921–1950. Unveröffentlichter Bericht. Spiez, 30 Seiten + Anhang.

Ingenieurbüro Dr. A. Kaech 1942: Gruebengletschersee - Trockenlegung des Seebeckens Projektdossier. Bern, 60 S.

Ingenieurbüro Dr. A. Kaech 1943/44: Vierteljahresberichte Nr. 1–5 über die Arbeiten zur Trockenlegung des Gruebenseebeckens. Bern.

Ingenieurbüro Dr. A. Kaech 1945: Bericht über die Vermessungsarbeiten am Gruebengletscher, 18 S. + div. Plangrundlagen. Bern.

Ingenieurbüro Dr. A. Kaech 1946: Gruebengletschersee – Trockenlegung des Seebeckens, Bericht über die Abrechnung, Bern, 11 S.

Kämpfer C. 2012: Die neuen Seen: Gletscherseen und deren Ausbrüche am Gruebengletscher (BE) im geologischen Kontext. Masterarbeit der Philosophisch-naturwissenschaftlichen Fakultät der Universität Bern. 75 S. + Anhang.

Kaech A. 1942: Entleerung des Sees beim Gruebengletscher und Ausbruch des Aerlenbaches am Abend des 14. September 1942. Bericht vom 22. Oktober 1942. Innertkirchen, 4 S.

Mercanton, P.-L. 1922: Les variations périodiques des glaciers des Alpes suisses 1921. Jahrbuch des Schweizer Alpenclub. (56th ed., pp. 277, 278). Bern: Verlag des Schweizer Alpenclub.

Oberhasler 1921, Oktober 4: Guttannen. 4. Oktober. Meiringen.

Oberhasler 1942, September 18: Ausbruch des Grubengletschersees. Nr. 75. Meiringen.

Oberingenieurkreis I 1942: Bericht über den am 14. September 1942 21:20 Uhr stattgefundenen Murgang an der Grimselstrasse. Regierungsrat des Kantons Bern 1943: Auszug aus dem Protokoll des Regierungsrates, Sitzung vom 4. Mai 1943.

Oberingenieurkreis I 1947–54: Kontroll- und Unterhaltsberichte zum Gruebengletscher. Thun.

OcCC 2008: Das Klima ändert – was nun? Der neue UN-Klimabericht (IPCC 2007) und die wichtigsten Ergebnisse aus Sicht der Schweiz. OcCC – Organe consultatif sur les changements climatiques, Bern, 47 S.

OcCC, ProClim 2007: Klimaänderung und die Schweiz 2050. Erwartete Auswirkungen auf Umwelt, Gesellschaft und Wirtschaft. Bericht. Bern, 172 S.

Stürler von L. 1944: Gruebengletschersee – Manuskript Kurzreferat R. Walther Oberingenieur des I. Kreises am 29.11.1944. Thun.

Tobler D., Kull I., Hählen N. 2012: Gefahrenmanagement der Murgänge im Spreitgraben, Guttannen. In: Bulletin für angewandte Geologie. Vol 17/2 2012. S. 53–61.

VAW 2003: Inventar der gefährlichen Gletscher der Schweiz. Mitteilung Nr. 182 der VAW der ETH Zürich. 368 S.

Walder, J.S., & Costa, J.E. 1996: Outburst Floods From Glacier-Dammed Lakes: the Effect of Mode of Lake Drainage on Flood Magnitude. Earth Surface Processes and Landforms, 21(8), 701–723.