

# Modellrechnungen zum zukünftigen Verhalten des Griesgletschers, Wallis

Autor(en): **Bindschadler, Robert A.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Wasser Energie Luft = Eau énergie air = Acqua energia aria**

Band (Jahr): **74 (1982)**

Heft 4

PDF erstellt am: **13.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-941122>

## **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.

# Modellrechnungen zum zukünftigen Verhalten des Griesgletschers, Wallis

Robert A. Bindschadler

## Zusammenfassung

Die Staumauer Gries steht 200 m innerhalb der Moränen, die der Griesgletscher noch 1923 abgelagert hatte. Anhand langjähriger Beobachtungen wurde ein Gletscher-Fliessmodell geeicht, mit dem das zukünftige Verhalten des Griesgletschers bei verschiedenen Klimaszenarios untersucht werden kann. Die Modellrechnungen zeigen, dass der Gletscher unter anderem infolge des Einflusses durch den Stausee kurzfristig auch bei extremer Entwicklung kaum zur Staumauer vorstossen kann, dass aber langfristig eine geringfügig positive Massenbilanz ausreicht, um den See mit Eis zu füllen. Da die Zeitskala der berechneten Gletscherreaktion unsicher ist, wird der Gletscher weiter beobachtet.

## Résumé: Simulation du comportement futur du glacier de Gries, Valais

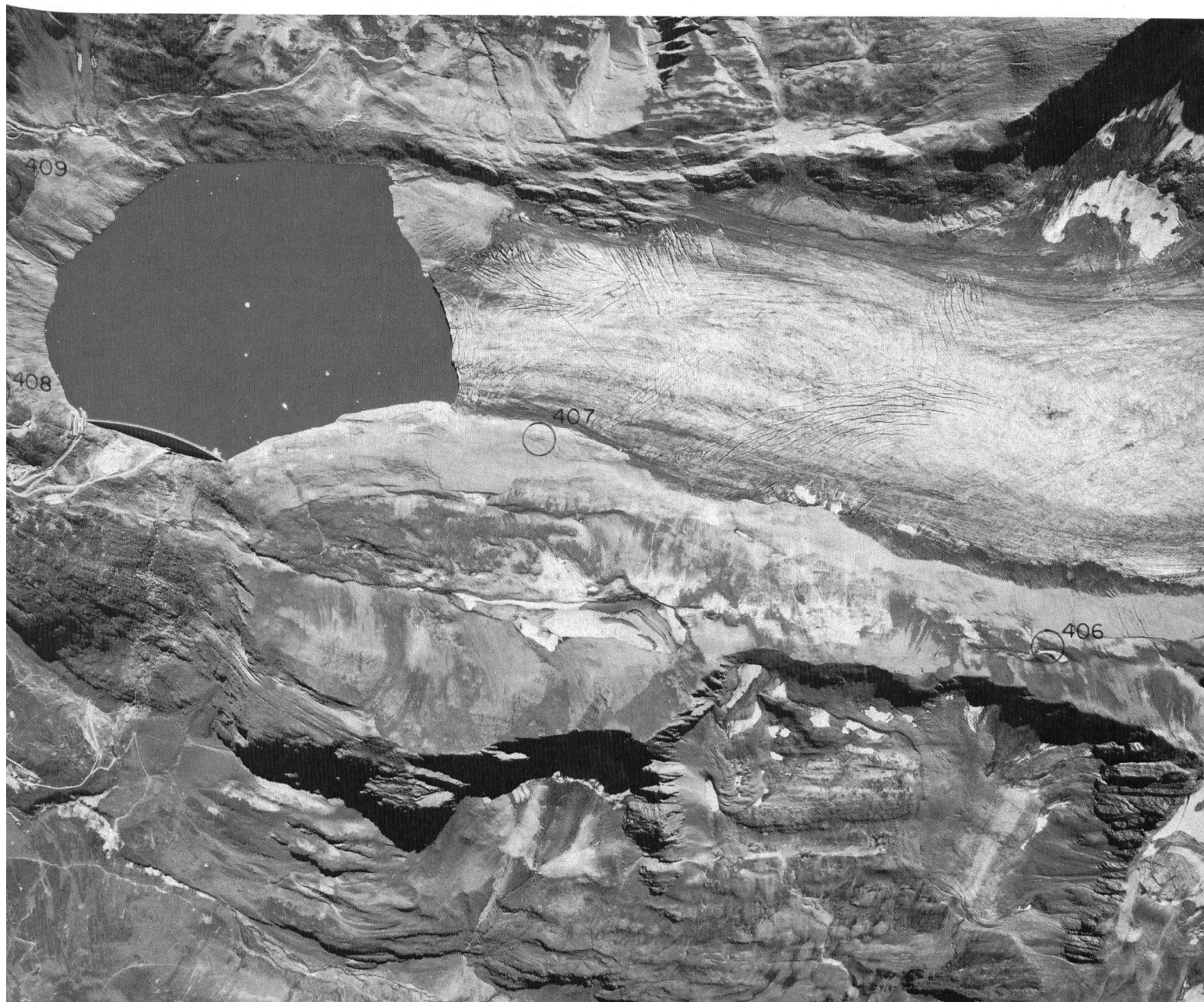
Le barrage de Gries a été construit 200 m en amont des moraines terminales délaissées par le glacier en 1923. Un modèle de simulation du fluage glaciaire, basé sur des observations de longues dates, a été établi et permet d'étudier le comportement futur du glacier sous différents scénarios climatologiques. Ces simulations montrent qu'à court terme, même en cas d'un développement extraordinaire, le glacier n'atteindrait pas le barrage, surtout à cause de l'influence du lac. Par contre, qu'à long terme, un bilan de masse légèrement positif suffirait à combler le lac de glace. En raison de l'incertitude sur l'échelle de temps de la réaction du glacier, celui-ci continue d'être observé.

## Abstract: Calculations on a model for the future behaviour of Griesgletscher, Wallis

The Gries dam is situated 200 m within the moraines which the Griesgletscher deposited as late as 1923. Based upon observations over a long period of time, a glacier flow model was calibrated, and with this the future behaviour of Griesgletscher can be studied under various climatic con-

Bild 1. Zunge des Griesgletschers, Griessee und Staumauer Gries im Herbst 1973. Die deutliche Vegetationsgrenze im Bereich des Griessees (z. B. bei den Vermessungspunkten 408 und 409) markiert den Gletscherhochstand in der Mitte des letzten Jahrhunderts. Im Stausee driften Eisberge, die an der Kalbungsfront des Gletschers abgebrochen sind. Luftaufnahme der Eidg. Vermessungsdirektion vom 6. September, 1973, Flugbild, Aufnahme 4.

Reproduktionsbewilligung der Eidg. Vermessungsdirektion vom 13. 4. 1982



ditions. The calculations on this model indicate that the glacier, even under extreme conditions, cannot advance in a short time as far as the dam because of the influence of the dammed lake. However, they do show that a slight positive mass balance over long periods of time is sufficient to fill the lake with ice. Since the time scale of the calculated reactions of the glacier is uncertain, the observations of the glacier are continuing.

Die Staumauer Gries beim Nufenenpass (Bild 1) liegt nur 600 m vor der in den Stausee kalbenden Zunge des Griesgletschers und 1 km innerhalb der Moränen der historischen Gletscherhochstände. 60 m Eis hätten 1850 die Mauer überdeckt, und noch 1923 endete der Gletscher talwärts der heutigen Sperre. Diese historischen Gegebenheiten und die aktuelle Vorstosstendenz vieler Alpengletscher führen zur Frage nach der Wahrscheinlichkeit eines für die Staumauer gefährlichen, zukünftigen Gletschervorstosses. Schon 1961 war P. Kasser [1] in einem Gutachten zum Schluss gekommen, dass die Wahrscheinlichkeit einer direkten Gefährdung der Mauer für die folgenden 10 Jahre praktisch Null und für die folgenden 50 Jahre zu nur etwa 5 % anzusetzen war. Die Konzession wurde darauf für 80 Jahre erteilt, und 1965 war die Staumauer fertiggestellt. Nach der ersten Füllung des Staubeckens hat sich die Eisfront 200 m zurückgezogen – ein Verlust des Speicherraums ist vorderhand nicht zu befürchten. Langfristig hingegen bleibt das Risiko, da Gletscher auf vergangene wie gegenwärtige Klimabedingungen reagieren.

P. Kasser ging in seiner Betrachtung von Gleichgewichtszuständen aus. Im Zuge der Erforschung der Gletscherdynamik sind in den letzten Jahren zeitabhängige, numerische Modelle entstanden [2, 3, 4, 5], die auch Information

Bild 2. Staubecken Gries und Griesgletscher. Die 60 m hohe Gewichtsmauer steht 200 m innerhalb der Moränen, die der Griesgletscher 1923 abgelagert hat. Aufnahme W. Hauser, Kleinandelfingen.

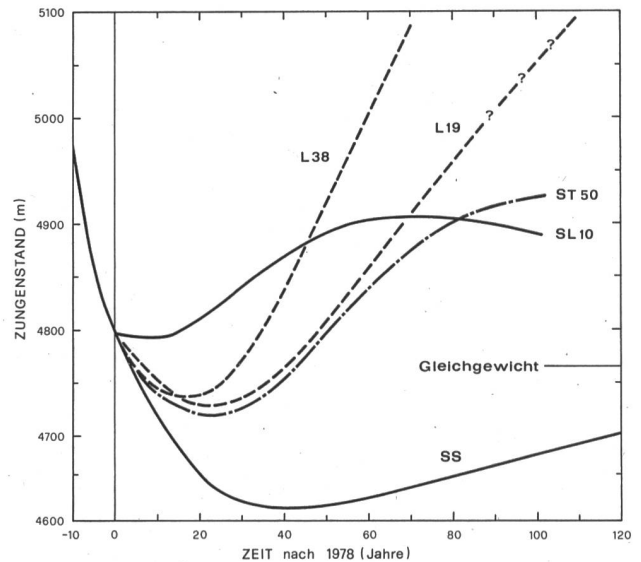
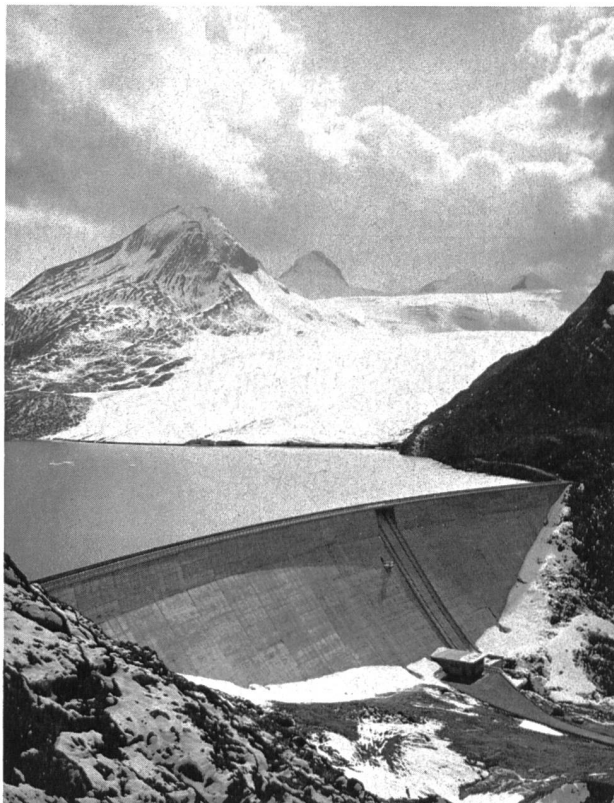


Bild 3. Zukünftige Lage der Kalbungsfront für die Fälle:

- SS: Massenbilanz bleibt gleich wie 1967 bis 1978
- SL 10: Plötzlicher Massenzuwachs entsprechend einer 10-m-Eisschicht
- ST 50: Massenzuwachs von 0,2 m/Jahr während 50 Jahren
- L 19: Konstanter Massenzuwachs von 0,19 m/Jahr
- L 38: Konstanter Massenzuwachs von 0,38 m/Jahr

Der angegebene Ort für den Gleichgewichtszustand gilt für SS, SL 10 und ST 50. Die Distanzskala gilt für eine zentrale Fliesslinie, die im Akkumulationsgebiet des Gletschers beginnt.

über instationäre Prozesse liefern. Das Gletscherende reagiert besonders empfindlich auf Klimaveränderungen [6]: Eine scheinbar geringfügige Klimaänderung kann einen überraschend grossen Gletschervorstoss auslösen. Ein solcher Vorstoss kann je nach Art der Klimaänderung und Typ des beteiligten Gletschers sehr rasch ablaufen oder viele Jahre dauern [7].

Im Fall des Griesgletschers wurde ein numerisches Modell eingesetzt, das für temperierte Talgletscher entwickelt worden war [2, 3]. Details der Berechnung finden sich in [8]. Das Modell benützt eine eindimensionale, auf finiten Differenzen beruhende Näherung der über ein Gletscherquerprofil integrierten Kontinuitätsgleichung. Die Dimension der Gletscherquerprofile wird durch Berücksichtigung der Gletscherbettgeometrie an jedem Gitterpunkt entlang der zentralen Fliesslinie parametrisiert. Die Eisfliessgeschwindigkeit wird an jedem Gitterpunkt berechnet und zusammen mit der Verteilung der Massenbilanz an der Gletscheroberfläche zur Abschätzung der Dickenänderung verwendet. Die Gleitkomponente der Gletscherbewegung wird dabei vernachlässigt. Eine weitere Beziehung, ein «Kalbungsgesetz», musste infolge der Existenz einer Kalbungsfront am Gletscherende eingeführt werden. Das Griesgletschermodell wurde an den im Auftrag der Kraftwerke Aegina durch die VAW/ETHZ zwischen 1967 und 1978 gemessenen Oberflächengeschwindigkeiten und Eisdickenänderungen geeicht. Obwohl die Eisdicke unbekannt war und aus anderen Daten geschätzt werden musste, liegen die Parameter der Beziehung zwischen Oberflächengeschwindigkeit und Eisdurchfluss durch ein Gletscherquerprofil weit innerhalb theoretischer Grenzen [9]. Tests ergaben, dass die Modellresultate gut mit den beobachteten Änderungen der Gletscherdicke und des Zungenstandes übereinstimmten, wenn als Kalbungsgesetz ein linearer Zusammenhang zwischen Kalbungsaktivität und Wassertiefe an der Kalbungsfront angenommen wurde. Bei Annahme einer konstanten Kalbungsaktivität war die Übereinstimmung sehr schlecht.

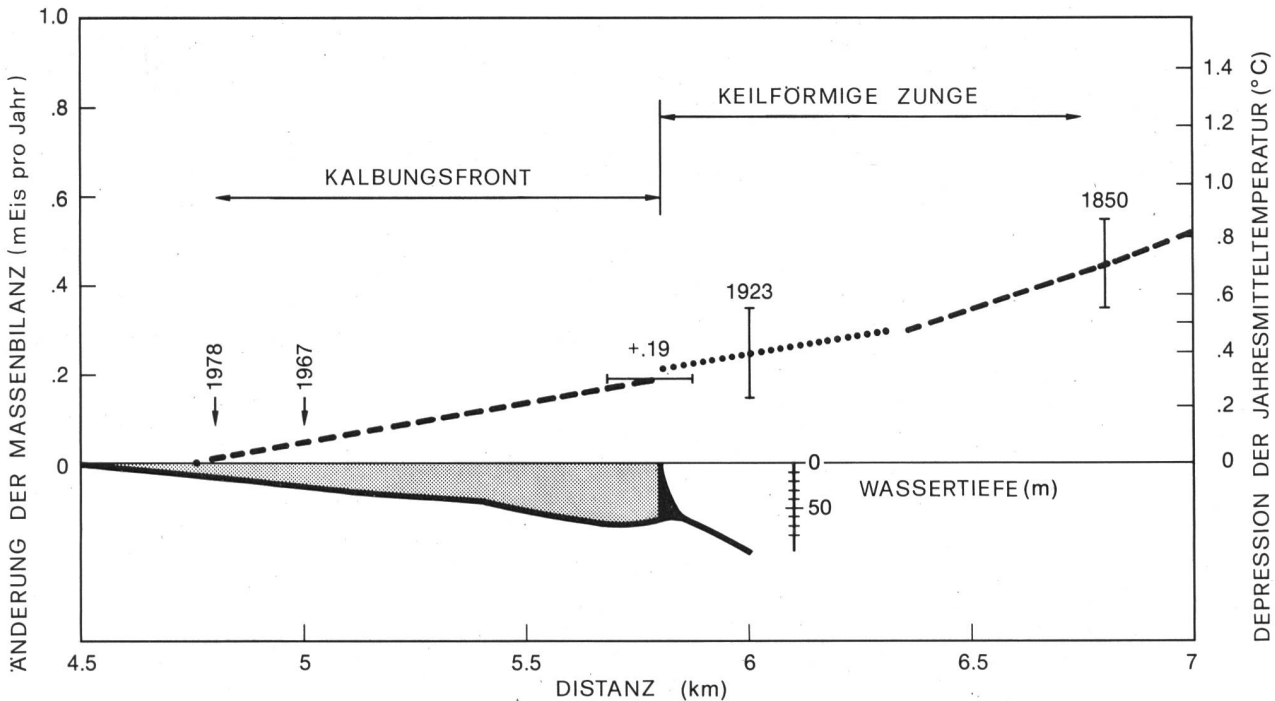


Bild 4. Gleichgewichtspositionen für Kalbungsfront und keilförmige Gletscherzunge. Die entsprechenden Klimaänderungen sind als Änderungen der Massenbilanz und Depression der Jahresmitteltemperatur gegenüber den Mittelwerten der Beobachtungsperiode 1967 bis 1978 ausgedrückt. Die Herkunft der Daten ist im Text erklärt. Angegeben sind im Bild auch die Gletscherstände von 1967 und 1978 (keine Gleichgewichtszustände!) sowie ein Längsschnitt durch den See und die Staumauer.

Eine wichtige Annahme in der Modellrechnung ist die Vernachlässigung der Gleitbewegung. Nötig wurde diese Vernachlässigung, weil ein verifiziertes, quantitatives Gleitgesetz bis heute fehlt. Das Ausmass der dadurch entstehenden Unsicherheit der Prognose kann leider nicht bestimmt werden. Sollte die Gleitkomponente der Gletscherbewegung in Wirklichkeit nicht vernachlässigbar sein, so wären die geschätzten Gletscherdickenwerte zu gross. Generell würde durch die Existenz einer Gleitbewegung die Reaktion des Gletschers auf veränderte Klima- und Bilanzverhältnisse beschleunigt. Jeder aus der Vernachlässigung der Gleitbewegung entstehende Fehler würde mit wachsendem Zeitschritt der Berechnung grösser, so dass langfristige Prognosen weniger zuverlässig sind als Voraussagen für die nahe Zukunft. Direkte Eisdickenmessungen würden eine Verfeinerung der Parametrisierung und der Prognosen gestatten.

Für den Fall, dass die Gletschermassenbilanz gleich bleibt wie in der Beobachtungsperiode 1967 bis 1978 sagt das Modell für die nächsten 40 Jahre eine Fortsetzung des Gletscherrückzugs um annähernd weitere 200 m voraus, gefolgt von einem Wiedervorstoss von 150 m, der einige Jahrhunderte dauert (Bild 3). Der vorausgesagte Gletscherrückzug ist wahrscheinlich eine verzögerte Reaktion auf den Temperaturanstieg seit etwa 1920 [10], verstärkt durch den künstlich herbeigeführten Übergang der ursprünglich keilförmigen Gletscherzunge in eine Kalbungsfront. Als Folge der Abkühlungstendenz der letzten Jahre verursacht die gegenwärtige Dickenzunahme im Akkumulationsgebiet den abschliessenden Wiedervorstoss. Anders sieht das Bild der vorausgesagten Zungenlängenänderung aus, wenn sich das Klima ändert – was zweifellos der Fall sein wird. Aus Bild 3 ist ersichtlich, dass sich das Gletscherende nach schwachem Vorstoss zur gleichen Gleichgewichtsposition zurückziehen dürfte, wenn der Gletscher plötzlich – etwa im Falle eines grossräumigen Bergsturzes auf die Gletscheroberfläche – oder über 50 Jahre verteilt (0,2 m Dickenzuwachs pro Jahr) einen 10 m

Eis entsprechenden Massenzuwachs vorübergehend erhält. Wenn der Massenzuwachs anhält, wird der Gletscher zu einer neuen Gleichgewichtsposition vorstossen. Für eine dauernde Veränderung der Massenbilanz um 0,19 m/Jahr würde diese neue Gleichgewichtsposition praktisch mit der Lage der Staumauer zusammenfallen.

Bild 4 fasst die Voraussagen für die Zungenstände in Abhängigkeit von der Abweichung der Massenbilanz gegenüber dem Mittelwert der Periode 1967 bis 1978 zusammen. Der Verlauf der Moränen von 1923 und 1850 lieferte dabei zusätzliche Information: Aufgrund der für die damaligen Gletscherstände bekannten Geometrie der Gletscherzunge wurden die entsprechenden Massenbilanzwerte geschätzt, wobei das Fließmodell eingesetzt wurde, um die vorausgesetzte Gleichgewichtsbedingung zwischen rekonstruierter Oberflächengeometrie und geschätzter Massenbilanz zu überprüfen. Kasser [1] hatte aufgrund eines Vergleichs von Temperatur- und Niederschlagsmessungen auf Grand St-Bernard geschätzt, dass eine Absenkung der mittleren Jahrestemperatur um 1 °C am Griesgletscher einer Veränderung der Massenbilanz um +0,6 m entspräche. Bild 4 enthält deshalb auch eine entsprechende Ordinatenachse in Einheiten der Abweichung der mittleren Jahrestemperatur vom Mittel der Beobachtungsperiode 1967 bis 1978. Die für die Gletscherstände von 1923 und 1850 geschätzten Temperaturreduktionen liegen im Rahmen der historischen Temperaturschwankungen in den Alpen [z. B. 11].

Die Wahrscheinlichkeit langfristiger, natürlicher Klimatrends abzuschätzen, bleibt spekulativ. Bild 4 zeigt, dass eine langfristige (sekuläre) Abkühlung um 0,3 °C für einen Gletschervorstoss zur Staumauer genügen dürfte. Eine stärkere Abkühlung würde diesen Vorgang beschleunigen. Bei einer Fortsetzung der auf der Nordhemisphäre seit Jahren beobachteten Abkühlungstendenz wäre die Wahrscheinlichkeit einer solchen Entwicklung recht gross. Die Reaktionszeit des Gletschers scheint jedoch so lange zu sein, dass der weitere Betrieb der Stauanlage auf Jahrzehnte hinaus möglich sein sollte.

## Literatur

- [1] *Kasser, P.*, 1961. Hydroglaziologische Untersuchungen über das Einzugsgebiet des Griessees, Bericht Nr. 50.1, Versuchsanstalt für Wasserbau und Erdbau an der ETH Zürich.
- [2] *Bindschadler, R. A.*, 1978. A Time-Dependent Model of Temperate Glacier Flow and Its Application to Predict Changes in the Surge-Type Variegated Glacier During Its Quiescent Phase. Ph. D. Thesis, University of Washington.
- [3] *Bindschadler, R. A.*, (im Druck). A Numerical Model of Temperate Glacier Flow Applied to the Quiescent Phase of a Surge-Type Glacier, «Journal of Glaciology».
- [4] *Budd, W. F.*, 1975. A First Simple Model for Periodically Self-Surging Glaciers, «Journal of Glaciology», Vol. 14, Nr. 70, pp. 3–22.
- [5] *Campbell, W. J. and Rasmussen, L. A.*, 1969. Three Dimensional Surges and Recoveries in a Numerical Glacier Model, «Canadian Journal of Earth Sciences», Vol. 6, pp. 979–986.
- [6] *Nye, J. F.*, 1960. The Response of Glaciers and Ice Sheets to Seasonal Changes, «Proceedings of the Royal Society», Series A., Vol. 219, pp. 447–489.
- [7] *Nye, J. F.*, 1963. On the Theory of Advance and Retreat of Glaciers, «Geophysical Journal», Vol. 7, pp. 431–456.
- [8] *Bindschadler, R. A.*, 1980. The Predicted Behavior of Griesgletscher, Wallis, Switzerland and Its Possible Threat to a Nearby Dam, «Zeitschrift für Gletscherkunde und Glazialgeologie», Bd. 16/1, pp. 45–59.
- [9] *Nye, J. F.*, 1965. The Flow of a Glacier in a Channel of Rectangular, Elliptical, or Parabolic Cross-Section, «Journal of Glaciology», Vol. 5, No. 41, pp. 661–690.
- [10] *Patzelt, G.*, 1976. Statistik der Längenmessungen an den österreichischen Gletschern, 1960 bis 1975, «Zeitschrift für Gletscherkunde und Glazialgeologie», Bd. XII, Heft 1, S. 91–94.
- [11] *Haeblerli, W. und Schweingruber, F.*, 1979. Klima seit der Eiszeit. In: «Die Schweiz und ihre Gletscher», Schweizerische Verkehrszentrale, Kümmerly und Frey Bern, S. 26–47.

Anmerkung: Die Studie wurde während eines Gastaufenthalts des Autors an der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie (VAW) an der ETH Zürich, im Rahmen des Projektes Nr. 88.671.078 des Schweizerischen Nationalfonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung, durchgeführt. *H. Siegenthaler* stellte die Messdaten zur Verfügung. Die Übersetzung aus dem Englischen besorgte *W. Haeblerli*.

Anschrift des Verfassers: Dr. R. A. *Bindschadler*, Ice Section, Laboratory for Atmospheric Sciences, National Aeronautics and Space Administration (NASA), Goddard Space Flight Center, Greenbelt, Maryland 20771, USA.

## Nationalstrasse N6 Rawil: Endgültige Einstellung der Arbeiten am Sondierstollen

Der Bundesrat hat beschlossen, die Arbeiten am Sondierstollen für einen Rawil-Basistunnel definitiv einstellen zu lassen.

Zur Abklärung der Geologie, der Wasserverhältnisse und allfälliger Methangasvorkommen im Bereich des vorgesehenen Rawil-Basistunnels hat der Bundesrat im Jahre 1973 beschlossen, auf Walliser Seite einen Sondierstollen erstellen zu lassen. Die Arbeiten begannen im Juli 1976. Bis 1978 verliefen sie ohne wesentliche Störung; ab Herbst 1978 traten im Stollen jedoch grössere Wassereinträge auf. Wenig später bemerkte man an der Staumauer Zeuzier ausserordentliche Verformungen. Da ein Zusammenhang zwischen diesen Phänomenen nicht auszuschliessen war, sind die Arbeiten am Sondierstollen Anfang April 1979 eingestellt worden.

Nach Auffassung der vom Bundesamt für Wasserwirtschaft (BWW) eingesetzten Experten sind die Geländesetzung und damit zusammenhängend die Verformungen an der Staumauer Zeuzier mit hoher Wahrscheinlichkeit auf die Drainagewirkung des Sondierstollens zurückzuführen<sup>1</sup>. Wichtigste Indizien hierfür sind einerseits der enge zeitliche Zusammenhang zwischen den Wassereinträgen im Stollen und den Geländesetzungen und ander-

<sup>1</sup> Die Ergebnisse dieser Bundesexperten sind in der Sonderausgabe «wasser, energie, luft – eau, énergie, air» 74. Jahrgang 1982, S. 65–112, zusammengestellt; weitere Angaben im 72. Jahrgang 1980, S. 181–200.

seits das Fehlen makroseismischer Ereignisse (Erdbeben) unmittelbar vor und während der Hauptsetzungen. Eine strenge Beweisführung ist indessen nicht möglich, weil während der kritischen Zeit keine Messeinrichtungen zur Erfassung der Bergwasserverhältnisse vorhanden waren. Die Experten des Kantons Wallis sehen die Ursache der Setzungen demgegenüber in grosstelektischen Bewegungen (Bewegungen im Felsmassiv) jenes Gebietes. Diese abweichende Hypothese stützt sich vor allem auf die bekannte Tatsache, dass der betroffene Raum geologisch nicht beruhigt ist, was sich ganz allgemein in einer relativ hohen Erbebenaktivität äussert. Entsprechend dieser unterschiedlichen Ursachenerklärung gehen die Meinungen der Experten auch darüber auseinander, ob bei einer allfälligen Wiederaufnahme des Vortriebes im Sondierstollen weitere Geländesetzungen und damit neue Schäden an der Talsperre zu erwarten wären. Die Experten des Bundes schätzen dieses Risiko als hoch ein; die Experten des Kantons als weniger gross.

Die Staumauer Zeuzier kann beim heutigen Verformungszustand mit aller gebotenen Sicherheit für die unterliegende Bevölkerung repariert und nach erfolgreicher Durchführung des Wiederaufbauprogramms für den normalen Betrieb freigegeben werden. Bereits geringe zusätzliche Verformungen würden jedoch die Reparierbarkeit zumindest ernsthaft in Frage stellen, wahrscheinlich aber verunmöglichen. Der heutige neue Gleichgewichtszustand darf deshalb nicht erneut gestört werden, wenn das Speicherbecken als wertvolle Anlage zur Ergänzung von Spitzenenergie erhalten bleiben soll. Dies verlangt, dass die Vortriebsarbeiten im Sondierstollen eingestellt bleiben, weil bei Fortführung des Vortriebs weitere Wassereinträge und damit neue Geländesetzungen selbst bei Anwendung aller technisch möglichen Vorsichtsmassnahmen nicht mit Sicherheit ausgeschlossen werden könnten.

Aus diesen Gründen hat der Bundesrat nunmehr die endgültige Einstellung der Bauarbeiten am Sondierstollen Rawil verfügt.

Mit diesem Beschluss wird nicht über den Bestand oder Nichtbestand der Rawilverbindung im Nationalstrassennetz entschieden. Hierüber hat vielmehr die Bundesversammlung in Behandlung ihrer Motion vom 23. März/22. Juni 1977 betreffend die Überprüfung von Nationalstrassenstrecken zu befinden, sofern die soeben lancierte «Volksinitiative für die Rettung des Simmentals vor Nationalstrassen» diesen Entscheid nicht Volk und Ständen überträgt. Fällt der Entscheid schlussendlich für die Beibehaltung des Rawil im Nationalstrassennetz aus, sind, entsprechend den Empfehlungen der Kommission zur Überprüfung von Nationalstrassenstrecken (Kommission Biel) andere Varianten eines solchen Überganges zu suchen.

Pressemitteilung des  
Eidg. Departements des Innern vom 7. 4. 82

A l'occasion du 14<sup>e</sup> Congrès international des grands barrages à Rio de Janeiro (1982) une édition spéciale «Comportement anormal du barrage-vôte de Zeuzier – Abnormal behaviour of Zeuzier arch-dam» de la revue «wasser, energie, luft – eau, énergie, air» a été éditée en collaboration avec le Comité national suisse des grands barrages et l'Office fédéral de l'économie des eaux. Cette édition spéciale est mise en poste comme annexe au numéro 4/1982 du mensuel (p. 65–112).