

Der Klimawandel und die Auswirkungen auf den Alpenraum
 Tagung der Nationalparkakademie Hohe Tauern vom 11.-12. April 2002 in Neukirchen

Das Wasser der Alpen: Hydrologische Empfindlichkeit der Alpenregion gegenüber einer Klimaveränderung

Dr. Ludwig N. Braun

Kommission für Glaziologie, Bayerische Akademie der Wissenschaften, München

Email: Ludwig.Braun@lrz.badw-muenchen.de

Einleitung

Die Gebirgsregionen sind in ihrem Wasserhaushalt begünstigt, was eine Folge von besonderen hydrologischen Besonderheiten dieses Landschaftstyps ist. Das Zusammenwirken von orographisch verstärkter Niederschlagsbildung, reduzierter Verdunstung, temporärer Speicherung in Form von Schnee und Eis und ein effizientes Abflusssystem sichert eine reichliche Wasserspende, welche auch den umliegenden Tiefländern zugute kommt. Unter Umständen kann diese auch überreichlich anfallen, was im Extremfall zu Überflutungen auch in außeralpinen Regionen führen kann (Braun und Weber, 2002). Die Veränderungen durch den Klimawandel greifen massiv in diesen komplexen Mechanismus der Abflussgenese ein, so dass je nach Szenarium einschneidende Auswirkungen auf die Wasserspende in naher und ferner Zukunft zu erwarten sind.

Gletscherschwund der letzten 150 Jahre und deren Auswirkungen auf die Wasserspende

Der aktuell zu beobachtende Gletscherschwund muss im Lichte der generellen Erwärmung des Klimas in den vergangenen 150 Jahren gesehen werden (IPCC, 2001). Gemäss der flächendeckenden Gletscherinventare Ende der 1970iger Jahre existierten im gesamten Alpenraum 5100 Gletscher mit einer Gesamtfläche von 2850 km² und einem Gesamtvolumen von 140 km³. 1870 hatte die entsprechende Fläche noch 4400 km² und das Volumen 200 km³ betragen (Chen und Ohmura, 1990). Die Auswirkungen des Gletscherschwundes auf die Wasserführung der Rhone bei der Einmündung in den Genfersee (Einzugsgebietsfläche 5220 km², Vergletscherung 1970 um 14 %) über den Zeitraum von 1900 bis 1980 kann aufgrund der Studie von Kasser (1981) wie folgt zusammengefasst werden:

- Mittlerer jährlicher **Zuschuss** durch Aufzehren der Eisrücklage: **35 mm/Jahr**
- **Abfluss-Reduktion** durch Verminderung der Gletscherfläche: **70 mm/Jahr**, d.h. im Jahr 1980 kamen bei 900 mm Sommerabfluss etwa 8% weniger Abfluss zustande aufgrund der gegenüber 1900 verminderten Gletscherfläche.

Der Gletscherschwund hat sich in den Jahren 1980 bis heute verstärkt, so hat z.B. der Vernagtferner im hinteren Ötztal über seine Gesamtfläche von ca. 9 km² in den letzten 20 Jahren im Mittel 12 m Eis verloren, was etwa 110 Millionen m³ Wasser oder dem Trinkwasserverbrauch der Region München innerhalb eines Jahres entspricht. Der mittlere Jahresabfluss hat sich dadurch von ca. 1200 mm auf 2000 mm erhöht. Wenn man bedenkt, dass der Abfluss in diesem glazial geprägten Einzugsgebiet von ca. 11.4 km² zu 90 % in den Monaten Juni bis September anfällt, so ist ersichtlich, dass damit auch die täglichen Abflussspitzen stark angestiegen sind (**Abb. 1**). Diese Zunahme sowohl der Spitzen als auch der Spende wird primär auf den Verlust des Firnkörpers des Gletschers und der damit einhergehenden Vergrößerung der aperen Gletscherfläche zurückgeführt.

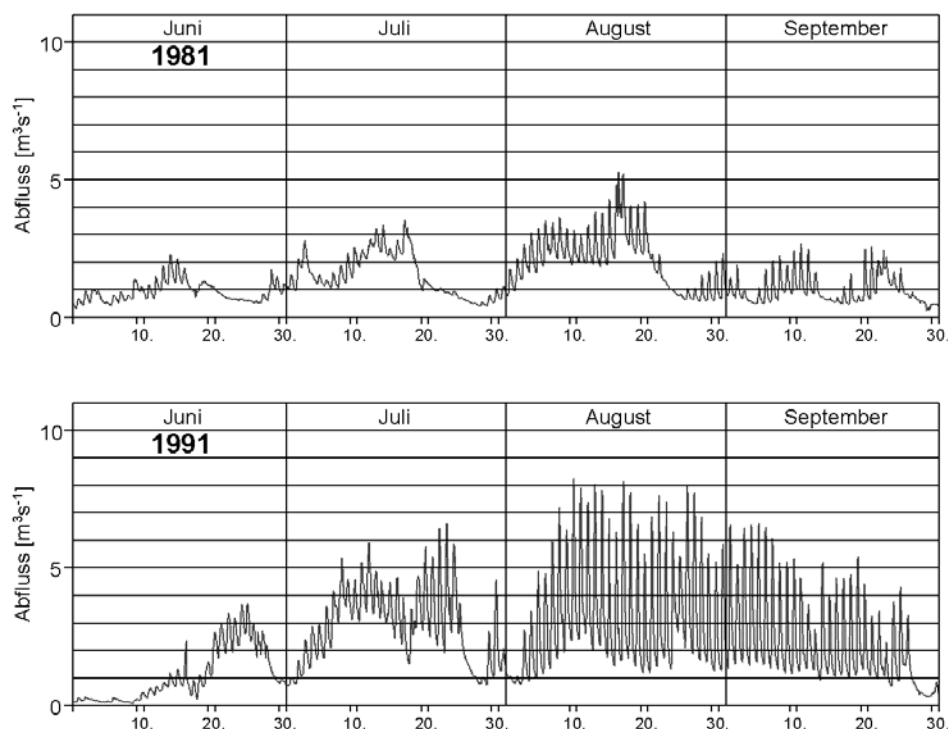


Abb. 1: Abflussganglinien (Stundenmittel) an der Pegelstation Vernagtbach (2635 m ü.M.) bei ausgeglichenem (1980/81) und stark negativem (1990/91) Gletschermassenhaushalt.

Auswirkungen einer künftigen Klimaerwärmung auf die Abflüsse alpiner Einzugsgebiete

Die Abschätzung von künftigen Klimaentwicklungen beruhen auf grobmaschigen globalen Modellen (wie z.B. ECHAM3, 60 x 60 km) und darin eingefügten regionalen Modellen (wie z.B. MM5/MCCM, 15 x 15 km und kleiner). Die im Rahmen von BayFORKLIM (1999) durchgeführten Studien für den süddeutschen, schweizerischen und österreichischen Raum unter der Annahme einer Verdoppelung der CO₂-Konzentration zeigen einen klaren Trend zu höheren Sommertemperaturen (Abb. 2a, aus Egger, 1999). Demgegenüber gibt es keine eindeutigen Trends hinsichtlich Niederschlagsentwicklung (Abb. 2b).

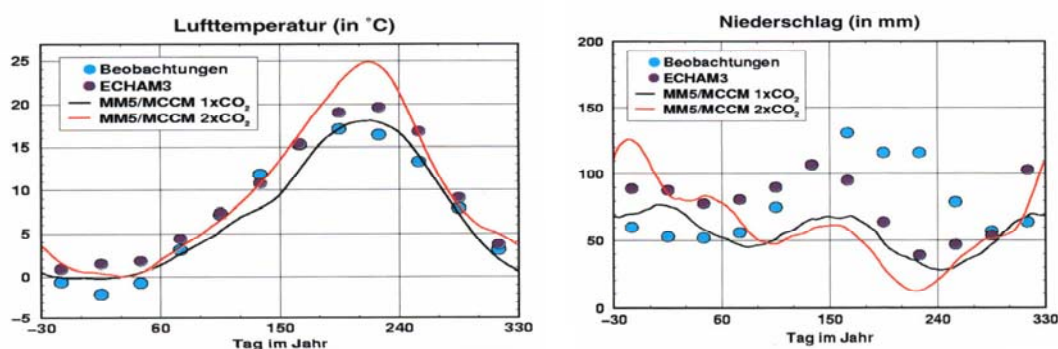


Abb. 2a) und 2b): Monatsmittel von Lufttemperatur und Niederschlag für ein Gebiet von 60 x 60 km² im Raum München. Blaue Punkte: Beobachtungen (Mittel 1961-1990), rote Punkte: Globalmodell ECHAM3 (1 x CO₂), Linien: Regionalmodell (15 km; schwarz: 1 x CO₂, rot: 2xCO₂). Aus Egger (1999)

Mithilfe von Abflussmodellen kann die Sensitivität des Abflusses auf zu erwartende Änderungen der Temperatur- und Niederschlagsbedingungen abgeschätzt werden. So haben Kuhn und Batlogg (1999) in insgesamt 10 vergletscherten und 12 unvergletscherten Einzugsgebieten Österreichs mit Flächen zwischen 22 und 650 km² ein hydrometeorologisches Modell im Monatsschritt angewandt und Szenarien gerechnet. Ihre Resultate können wie folgt zusammengefasst werden:

- In stark vergletscherten Einzugsgebieten kommt mit steigenden Temperaturen im Sommer mehr Abfluss zustande, weil genügend Gletschereis zum Schmelzen zur Verfügung steht.
- Schwach vergletscherte Gebiete zeigen einen Anstieg des Winterwassers und die Vorverlegung und Verflachung der Schmelzwasserspitze mit steigenden Temperaturen ohne Komplikationen.
- Unvergletscherte Gebiete verhalten sich ähnlich wie die schwach vergletscherten, zeigen aber ein sekundäres Abflussmaximum im Herbst, das sich mit steigender Temperatur verstärkt, weil der wachsende Regenanteil im Oktober und November ungespeichert abfließen kann.

Da das Abflussgeschehen überwiegend durch die Witterung geprägt wird, haben die oben erwähnten Ergebnisse von generellen Temperatur- und Niederschlagsmodifizierungen nur beschränkte Aussagekraft. Deshalb wurde von Escher-Vetter et al. (1998) bei der Abflussmodellierung mithilfe eines konzeptionellen Modells (HBV3/ETH9) eine höhere zeitliche Auflösung von einem Tag und die konkreten Informationen der oben erwähnten BayFORKLIM-Szenarien benutzt, um mit einigen plausiblen Annahmen neue Datensätze der Temperatur und des Niederschlags zu erstellen. Damit konnte eine realitätsnahe Änderung der Witterung und der damit verbundenen Abflussgenerierung für ein unvergletschertes randalpines Gebiet (Pegel Klausbach, Berchtesgadener Alpen, 41 km², **Abb. 3**) und das zu 41% vergletscherte Gebiet der Rofenache (Ötzaler Alpen, 98 km², **Abb. 4**) simuliert werden.

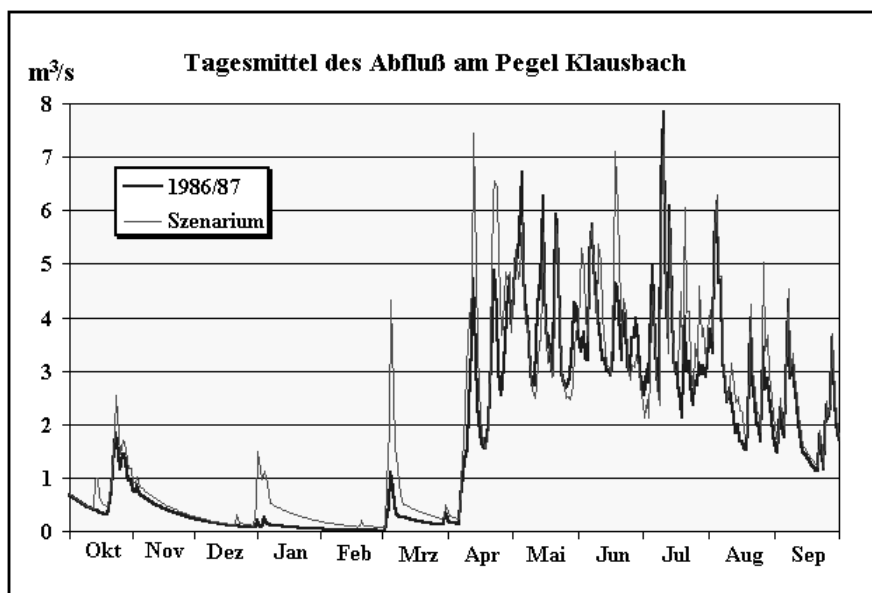


Abb. 3: Auswirkung modifizierter Klimaeingabedaten auf den Abfluss des Klausbachs am Beispiel des Jahres 1986/87

a) Referenzjahre Gletscherstand 1990

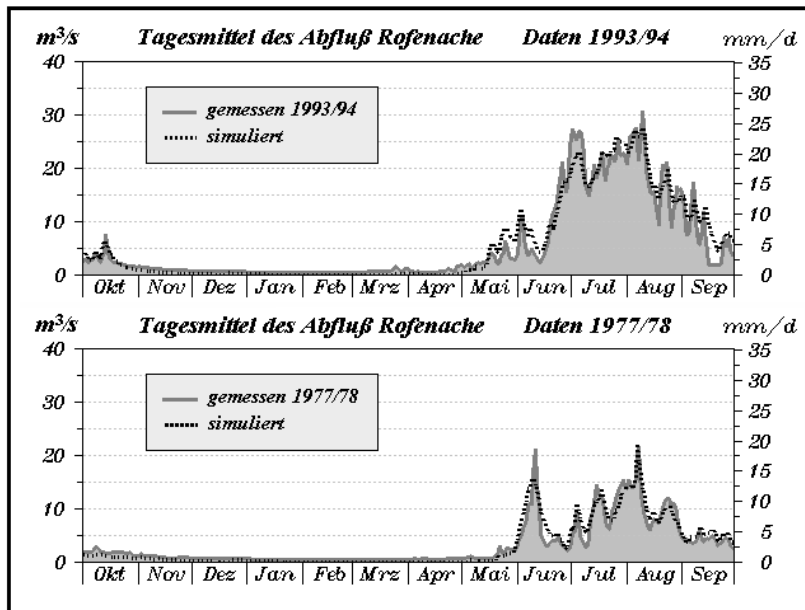
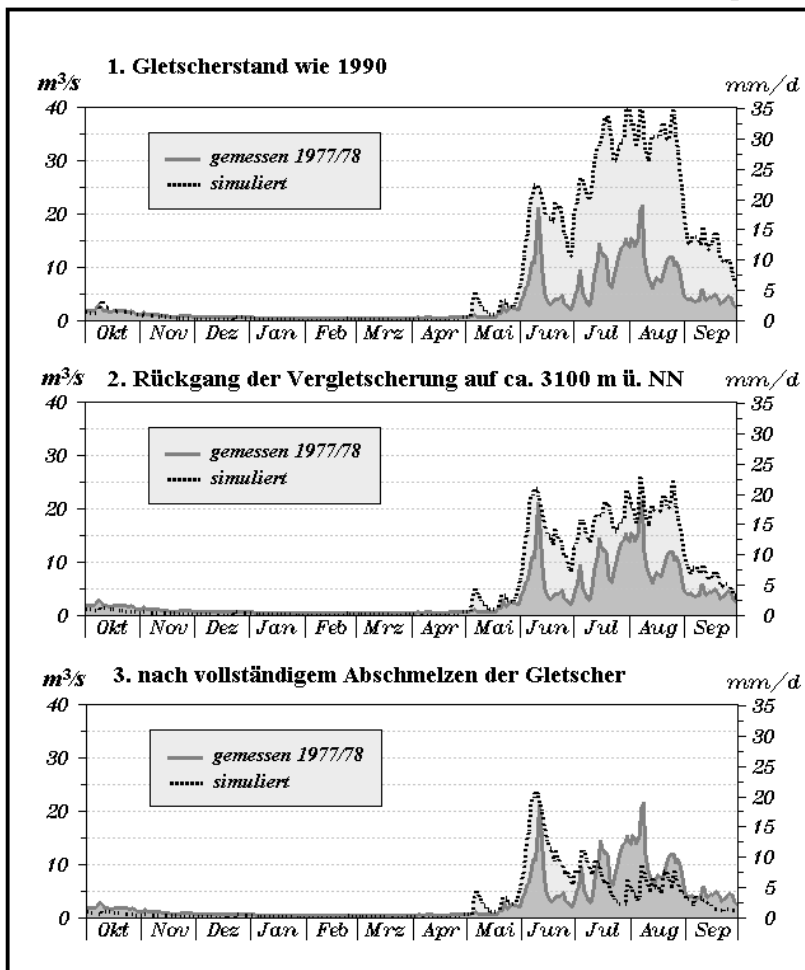
b) Simulation der Situation 1977/78 mit modifizierten Klimadaten ($2xCO_2$)

Abb. 4a): Modellerte und gemessene Abflüsse für die Referenzjahre 1977/78 und 1993/94 im stark vergletscherten Einzugsgebiet der Rofenache; **b)** Auswirkungen der modifizierten Klimadaten auf den Abfluss unter Annahme verschiedener Vergletscherungsgrade.

Folgerungen

- Die Region der Alpen wird auf die weiterhin zu erwartende Klimaerwärmung empfindlicher reagieren als Tieflandregionen. Dies geschieht vor allem durch den Anstieg der Frostgrenze und der damit verbundenen Verminderung der Zwischenspeicherung des Niederschlages in Form von Schnee und Eis.
- Ausgehend von Klimaszenarien, wie sie im Rahmen von BayFORKLIM erstellt wurden, werden sich die Abflussbedingungen im Zentralalpenraum deutlicher ändern als in unvergletscherten Voralpen. Die sommerlichen Abflüsse **aus stark vergletscherten Einzugsgebieten** werden dabei zunächst ansteigen, bedingt durch die Abnahme von Neuschneefällen in den Gletscherregionen und der erhöhten Schmelzraten aufgrund der allgemein höheren Lufttemperaturen im Hochsommer. Falls die starken Gletscherschwundjahre der achtziger und frühen neunziger Jahre sich über weitere Jahrzehnte fortsetzen sollten, wird die vergletscherte Fläche weiter schrumpfen und die Abflussspenden der Gletscher werden graduell zurückgehen. Beim endgültigen Verschwinden der Gletscher werden die sommerlichen Abflüsse stark reduziert, was u.U. zu empfindlichen Engpässen in der Wasserversorgung führen kann. Demgegenüber beschreiben die auf diesen Klimaszenarien beruhenden Modellrechnungen für die **tiefer gelegenen Voralpen** zwar eine Reduktion der Schneedecke vor allem in den Hochlagen, das Abflussverhalten wird sich dadurch aber kaum merklich ändern. Generell ist ein Wechsel von nival zu pluvial gesteuerter Abflussbildung zu erwarten, d.h. der Abfluss wird vermehrt über den flüssigen Niederschlag und weniger über die Schmelze von Schnee und Eis gesteuert werden und ist damit von Jahr zu Jahr größeren Schwankungen unterworfen.

Literaturhinweise

- BayFORKLIM (1999): Klimaänderungen in Bayern und ihre Auswirkungen. Abschlussbericht des Bayerischen Klimaverbundes, München, 90 S.
- Braun, L. und Weber, M. (2002): Droht im nächsten Sommer Hochwasser vom Gletscher? Rundgespräche der Kommission f. Ökologie der Bayerischen Akademie der Wissenschaften, München, Heft 23, im Druck.
- Chen, J. und Ohmura, A. (1990): Estimation of Alpine glacier water resources and their change since the 1870s. In: Hydrology in Mountainous Regions. I – Hydrological Measurements; The Water Cycle (Proceedings of two Lausanne Symposia, August 1990). IAHS Publ. No. 193, 127-135.
- Egger, J. (1999): Klimamodellierung. In: Klimaänderungen in Bayern und ihre Auswirkungen. Abschlussbericht des Bayerischen Klimaverbundes, c/o Universität München, Theresienstr. 37, 80333 München, 19-31.
- Escher-Vetter, H., Weber, M. und Braun, L.N. (1998): Auswirkungen von Klimaänderungen auf den Wasserhaushalt alpiner, teilweise vergletschertes Gebiete. Schlussbericht BayFORKLIM, Kommission f. Glaziologie, Bayerische Akademie der Wissenschaften, München, 57 S. Erhältlich auf CD-ROM, ISBN 3 7696 3500 0
- IPCC (2001): Climate Change 2001. Impacts, Adaption and Vulnerability. Summary for Policymakers. A Report of the Working Group I of the Intergovernmental Panel on Climate Change. UNEP & WMO, Geneva. Internet-Adresse <http://www.ipcc.ch/>
- Kasser, P. (1981): Rezente Gletscherveränderungen in den Schweizer Alpen. Jahrbuch der Schweizer Naturforscher Gesellschaft 1978, wiss. Teil, 106 -138.
- Kuhn, M. und Batlogg, N. (1999): Modellierung der Auswirkung von Klimaänderung auf verschiedene Einzugsgebiete in Österreich. In: Schriftenreihe der Forschung im Verbund, Bd. 46, Hrsg. Österreichische Elektrizitätswirtschaft-AG, 94 S.
- Weiterführende Informationen: siehe auch <http://www.glaziologie.de>