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

Herausgeber: Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband

Band: 81 (1989)

Heft: 7-8

Artikel: Wie aussergewöhnlich war de Winter 1988/89? : Ein Beitrag zum Problem der Abflussvorhersage

Autor: Rohrer, Mario / Lang, Herbert

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-940493

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: 23.08.2025

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

Bild 3. Rottachtalsperre: Schieberschacht; links unten Einlauf zum Grundablass (jetzt Bauumleitung).

Grosse Anstrengungen – etwa ein Drittel der Gesamtkosten – wurden für Naturschutz und Freizeitgestaltung unternommen. Die Konflikte zwischen Ökologen und Badefreunden sucht man dadurch zu entschärfen, dass man letzteren mit dem Bau von Parkplätzen, einem Weg rund um den See und anderen Einrichtungen (bezahlt vom Bauherrn der Sperre) entgegenkommt. Man hofft sie so auf einige Punkte zu konzentrieren und die Natur dafür an anderen Orten ungestört zu halten (eine Grundidee, der wir im übrigen auch bei den Speichern des Überleitsystems wieder begegneten). Grosse Flächen mussten erworben werden, um überstaute Biotope ersetzen zu können.

Wenn Seen abgesenkt werden, fallen oft weite Bereiche trocken, vor allem in den Stauwurzeln. Um dieses hässliche Bild zu vermeiden, wurden durch Auffüllen bis knapp unter das Normalstauziel Flachwasserzonen geschaffen, die gezielt bepflanzt werden. Eine andere Lösung ist eine 14 m hohe Vorsperre, das heisst ein Damm, mit dem eine Nebenstauwurzel abgeschlossen wird; auf diese Weise wird dort ein kleiner Vorsee mit konstantem Wasserspiegel gebildet.

Hier wie an allen anderen Orten wurden wir von Vertretern der Baubeteiligten ausgezeichnet geführt, was den guten Eindruck, den die Bauwerke auf uns machten, noch verstärkte. Dazwischen erlebten wir eine Landschaft, deren Gesicht von Süden nach Norden stark wechselte und doch während der ganzen Fahrt unerhört reizvoll blieb.

Adresse des Verfassers: *Benno Zünd,* Assistenz für Wasserbau an der ETH Zürich, CH-8093 Zürich.

Niederschlag und Schneedecke im schweizerischen Alpenraum

Wie aussergewöhnlich war der Winter 1988/89?

Ein Beitrag zum Problem der Abflussvorhersagen

Mario Rohrer und Herbert Lang

Zusammenfassung

Der Aufbau der alpinen Winterschneedecke zeigt von Jahr zu Jahr erhebliche Variationen. Die Analyse langjähriger Schneebeobachtungen (Wasseräquivalent) vermittelt ein interessantes Bild der zeitlichen Schwankungen. Besonders die Niederschläge im März und vor allem im April setzen oft entscheidende Akzente für hochgelegene Einzugsgebiete – ein typisches Beispiel war der Winter 1988/89. Gleichzeitig sind charakteristische regionale Verteilungsmuster der Schneewasservorräte zu erkennen, die von der Orographie und den jeweiligen atmosphärischen Strömungen abhängen. Zukünftige Schneedeckenmodelle werden diese zeitliche und räumliche Variabilität genauer erfassen und die Möglichkeiten der Abflussvorhersagen verbessern.

Einführung

Seitens der Energiewirtschaft besteht grosses Interesse an den Wasserreserven der Winterschneedecke im Alpenraum. Der Füllungsgrad dieses natürlichen jahreszeitlichen Wasserspeichers strebt gegen Ende des Winterhalbjahres einem Maximum zu. Je nach Verlauf von Niederschlag und Temperatur während des Winters kann dieser in der Schneedecke gespeicherte Wasservorrat (Wasseräquivalent) im Frühjahr von Jahr zu Jahr stark variieren. Entsprechend variabel sind dann auch die Schmelzwasserzuflüsse in die Stauseen der Wasserkraftwerke während der sommerlichen Schmelzperioden. Bei einer optimalen Bewirtschaftung dieses Wasserkraftpotentials werden zunehmend auch Vorhersagen der Schmelzwasserzuflüsse einbezogen. Dabei stützt man sich auf aktuelle Messungen und Berechnungen der Schneewasservorräte in den verschiedenen Regionen des Alpenraumes. Die Abteilung Hydrologie des Geographischen Institutes der ETH Zürich betreut seit über 30 Jahren, zum Teil gemeinsam mit dem Eidgenössischen Institut für Schnee- und Lawinenforschung, Weissfluhjoch, und in Kooperation mit Kraftwerksgesellschaften, ein entsprechendes Messnetz. Die damit erfassten Schneebeobachtungen erlauben es, zu bestimmten Zeitpunkten im Frühjahr die als Winterschneedecke gespeicherten Wasservorräte mit genügender Genauigkeit abzuschätzen. Zusammen mit weiteren meteorologischen und hydrologischen Daten werden damit seit vielen Jahren von der Abteilung Hydrologie Vorhersagen der sommerlichen Zuflüsse zu verschiedenen Stauseen im Alpenraum bereitgestellt [*Vischer* und *Jensen,* 1978].

Die Entwicklung im Winter 1988/89 führte bis etwa Mitte Februar zu einem starken Schneedefizit im gesamten Alpenraum, im Südalpenbereich war es sogar die längste Trokkenperiode (vom 7. Dezember 1988 bis zum 21. Februar 1989, SMA [1988, 1989]) seit Beginn der Beobachtungen. Damit stellte sich bereits zu diesem Zeitpunkt die Frage nach der Wahrscheinlichkeit, wieweit ein solches Defizit durch die Niederschläge im März und April aufgehoben werden könnte, um die Aussichten für eine befriedigende Füllung der Stauseen zu verbessern.

Im folgenden wird die Entwicklung der Schneedecke (Wasseräquivalent) des Winters 1988/89 für verschiedene repräsentative Stationen im Vergleich zu den langfristigen Beobachtungen diskutiert.

Niederschläge und Schneeanteil im Winter 1988/89

Die Niederschlagsverhältnisse in den einzelnen Monaten Oktober 1988 bis April 1989 lassen sich ganz knapp etwa so charakterisieren (Bild 1):

Oktober 1988: In der ganzen Schweiz normal bis übernormal; geringer Schneeanteil (100 % erst in höchsten Lagen, zum Beispiel Corvatsch 3300 m ü.M.)

November 1988: In der ganzen Schweiz unter der Norm, südliche Bereiche stark unter der Norm. Schneeanteil auch in tieferen Lagen der ganzen Schweiz hoch.

Dezember 1988: Nördliche, zentrale und westliche Alpen leicht über dem Mittel mit grossem Schneeanteil vor allem in höheren Lagen. Tessin und Engadin unter der Norm.

Januar 1989: Ganze Schweiz **stark unter der Norm** bis **extrem trocken** im südlichen Bereich.

Februar 1989: Niederschläge in der zweiten Monatshälfte bringen der ganzen Schweiz normale bis wenig übernormale Werte. Oberhalb 2000 m ü.M. 100 % Schneeanteil.

März 1989: Niederschläge im Tessin unter der Norm, übrige Regionen um den Mittelwert.

April 1989: Ganze Schweiz **über dem Mittel,** südliche Bündner Täler, Engadin und Tessin **stark übernormal.**

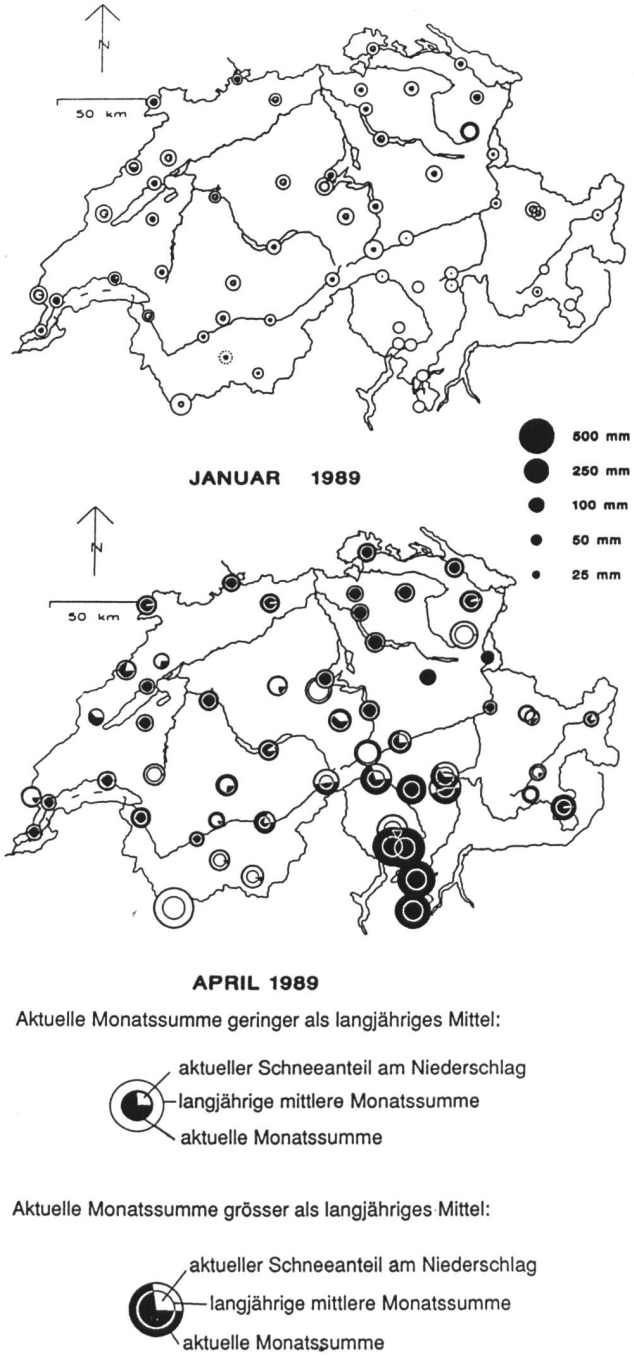

Bild 1. Aktuelle Monatssummen und Schneeanteile (berechnet) des Niederschlags an den Stationen des automatischen Netzes der SMA, verglichen mit den langjährigen mittleren Monatssummen für die beiden extremsten Monate des Winters 1988/89: Januar als sehr trockener Monat und April als sehr niederschlagsreicher Monat.

Bild 1 zeigt für die beiden extremen Monate des Winters 1988/89, Januar und April, die Niederschlagssummen der Stationen des automatischen Messnetzes der SMA im Vergleich zu den langjährigen Mittelwerten, zusätzlich ist noch der Schneeanteil, berechnet nach *Rohrer* [1989], angegeben.

Der sich aus dem Niederschlagsgeschehen ergebende Verlauf des Schneedeckenaufbaus wird in Bild 2 für den Winter vom 1. November 1988 bis zum 1. Mai 1989 für einige repräsentative Stationen des Alpenraumes besonders deutlich. Der Hochwinter bleibt praktisch ohne jeden weiteren Aufbau von Schneewasserreserven. Diese Entwicklung führte ab Januar/Februar in den Kreisen der Hydro-Energiewirtschaft zur Diskussion der berechtigten Frage, wie gross die Chancen seien, dass ein solches Defizit in den verbleibenden Wintermonaten noch aufgeholt werden könne.

Der weitere Verlauf des Winters brachte, wie wir inzwischen wissen, durch die Niederschläge im März 1989 und dann vor allem im April 1989 ein weitgehendes Aufholen der Schneedefizite. Die südalpine Stationengruppe konnte am 1. Mai schliesslich sogar einen leichten Überschuss verzeichnen (Bild 3). In den Höhenlagen unterhalb etwa 1600 m ü.M. reichte der Schneeanteil allerdings nicht mehr für den Aufbau der Schneewasserreserven aus.

Zur Beurteilung dieses Winters ist die Analyse der langjährigen Messreihen interessant, auf welche wir dank den gemeinsamen Bemühungen amtlicher und privater Stellen zurückgreifen können (ein Überblick über die Schneemessnetze ist in Arbeitsgruppe für operationelle Hydrologie [1985] enthalten).

Langjährige Variationen der Schneedecke und ihre regionalen Charakteristiken

In Bild 3 sind für südalpine Stationen, nordalpine Stationen und für alle Stationen die standardisierten Abweichungen der Wasseräquivalente der Schneedecke jeweils für den 1. April und den 1. Mai der Jahre 1975 bis 1989 graphisch dargestellt. Für diese Standardisierung wird vom Wasseräquivalent der Schneedecke zum entsprechenden Termin der langjährige Mittelwert abgezogen; diese Differenz wird darauf durch die Standardabweichung dividiert.

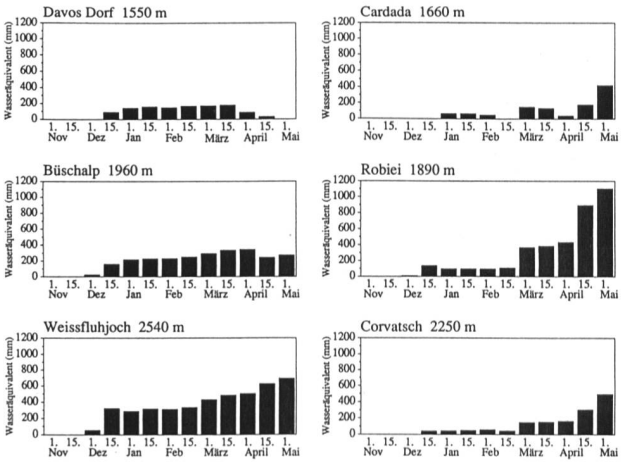

Bild 2. Schneedeckenverlauf im Winter 1988/89 (Wasseräquivalent).

Links: An den drei Stationen in Mittelbünden zwischen 1550 m und 2540 m. Man beachte die unterschiedlichen Auswirkungen, welche die Aprilniederschläge auf die Entwicklung der Schneedecke in diesem Monat je nach Höhenlage hatten!

Rechts: An zwei Stationen der Alpensüdseite, nämlich Cardada (oberhalb von Locarno) und Robiei (hinterstes Val Bavona), sowie einer Engadiner Station (Corvatsch) mit einer für inneralpine Täler typischen geringen Niederschlagsmenge.

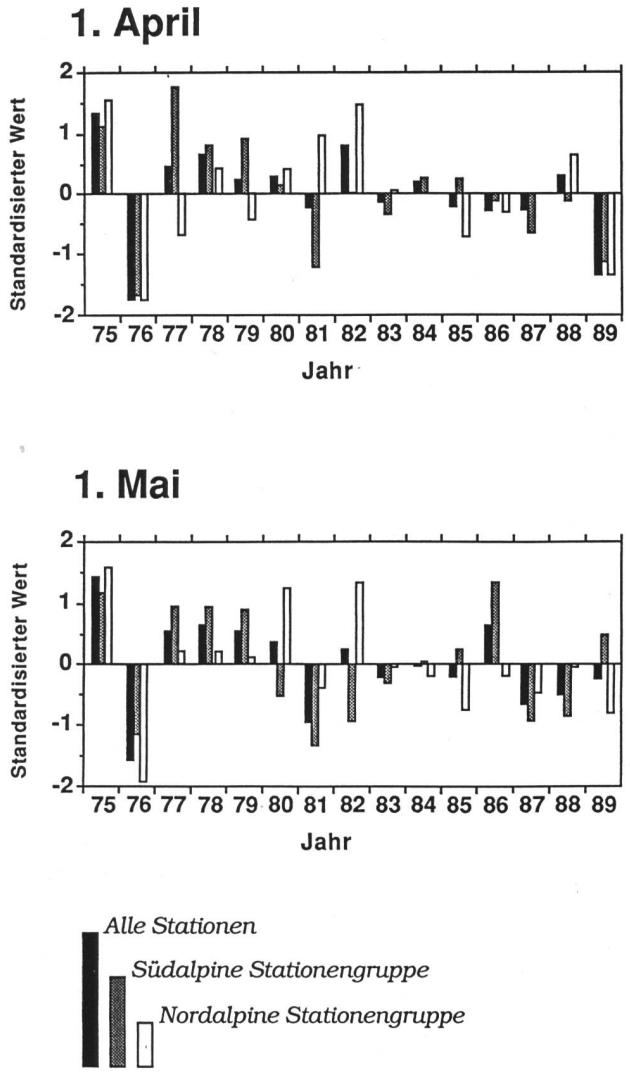

Bild 3. Standardisierte Abweichungen des Wasseräquivalentes der Schneedecke vom Mittel 1975 bis 1989 für die beiden Termine 1. April und 1. Mai, gesondert dargestellt für alle Stationen sowie für die nordalpine und die südalpine Stationengruppe.

Im Jahr **1976,** dem Winter mit dem grössten Schneedefizit des Zeitraumes 1975 bis 1989, konnte der April das Defizit für den Südalpenraum zwar etwas abschwächen, doch das Wasseräquivalent blieb auch Anfang Mai mehr als eine Standardabweichung unter dem Mittel. Im Nordalpenraum verschlechterte sich die Lage in bezug auf das langjährige Mittel noch erheblich. Die in der Schneedecke gespeicherten Wasservorräte lagen Anfang Mai fast zwei Standardabweichungen unter dem Mittel. Weitere Jahre, in denen eine wesentliche Änderung der Situation erst im Laufe des April eintrat, waren die Jahre 1980, 1981, 1982, 1986 und 1989.

1980: Der April war geprägt durch Anströmungslagen feuchter Luft aus nördlichen Richtungen. Der Süden blieb in diesem Monat fast vollständig trocken. Aus einer nahezu durchschnittlichen Situation am 1. April ergab sich daher bis zum 1. Mai im Süden ein Defizit, im Nordalpenraum resultierte ein beträchtlicher Schneereserven-Überschuss.

1982: Durch ähnliche Witterungsverhältnisse wie 1980 wurde der hohe Überschuss im Nordalpenraum bis zum 1. Mai weiter erhöht, im südlichen Alpenraum wurde aus einer normalen Situation eine solche mit starkem Defizit.

1986: Allein die extremen Niederschläge im April auf der Alpensüdseite und im Engadin brachten ein Maximum der gesamten Winterschneedecke für den 1. Mai, ausgehend von nahezu durchschnittlichen Verhältnissen am 1. April.

1989: Eine stark unternormale Lage entwickelte sich bis Ende März auf der Alpensüdseite sogar in einen leichten Überschuss, auf der Alpennordseite wurde eine ebenfalls stark defizitäre Lage noch wesentlich gemildert.

Damit ist bereits deutlich geworden, dass offensichtlich der Aufbau der Winterschneedecke in den hier interessierenden Höhenbereichen nach dem Ende des kalendarischen Winterhalbjahres sogar im Vorzeichen der Abweichung vom Mittelwert stark ändern kann. Dies scheint besonders für den südalpinen Bereich zu gelten. Im April können die bereits relativ warmen mediterranen Luftmassen beträchtliche Feuchtigkeitsmengen bringen, die in höheren Lagen der Alpensüdseite (oder in abgeschwächter Form auch im Engadin) grosse Neuschneefälle verursachen können.

Interessant sind auch die Informationen, die wir aus Bild 4 für zwei hochgelegene Stationen der Alpennordseite ziehen können, welche für ausgewählte Stationen das Wasseräquivalent der Schneedecke jeweils am 1. Mai zusammen mit dem langjährigen Mittelwert und der Standardabweichung wiedergeben. Damit wird auch sofort deutlich, dass sich seit 1976, mindestens was die nordalpinen Stationen betrifft, keine extrem negative Abweichung mehr einstellte. Davor waren vor allem die Winter 1963/64 und 1971/72 (nur nordalpine Stationen) als besonders schneearme Winter in die Annalen eingegangen.

Zu den regionalen Unterschieden im Alpenraum

Einige ausgewählte Stationen wurden einer *Hauptkomponentenanalyse* unterzogen. Damit sollen die wesentlichen Einflussgrössen auf die Jahr-zu-Jahr-Variationen des Wasseräquivalentes der Schneedecke bestimmt werden. Interessierte seien auf die umfangreiche Literatur hingewiesen, in deutscher Sprache etwa *Fahrmeir* und *Hamerle* [1984]. Es wurden die Wasseräquivalent-Messwerte des 1. April und des 1. Mai der Jahresreihe 1975 bis 1989 verwendet (Bild 5). Für den 1. April (1. Mai) ergab sich folgendes Ergebnis:

Die 1. Hauptkomponente erfasst für den 1. April bereits 60% der Varianz (50% für den 1. Mai) und betrifft die gemeinsame Variation von Jahr zu Jahr.

Die 2. Hauptkomponente erfasst immerhin noch 26% der Varianz (26% für den 1. Mai) und repräsentiert erwartungsgemäss das unterschiedliche Verhalten zwischen Nordalpen- und Südalpenregionen. Die Ergebnisse für den 1. April werden von früheren Untersuchungen für eine grössere Anzahl Stationen und eine andere Referenzperiode (*Jensen* 1979) bestätigt.

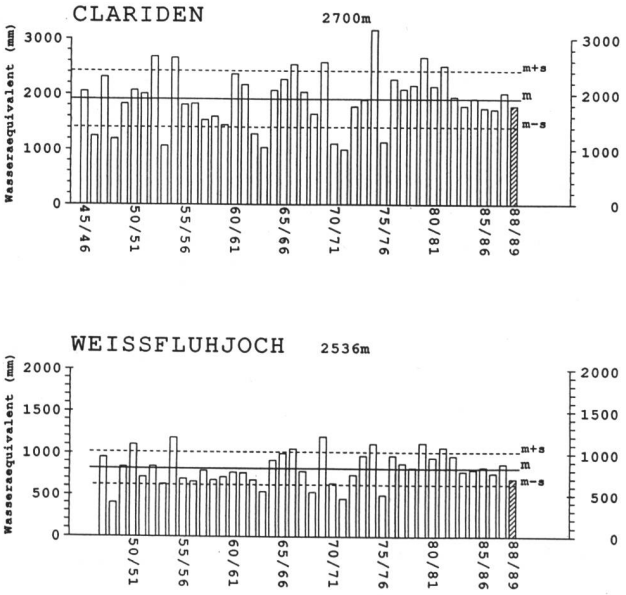

Bild 4. Messreihen des Wasseräquivalentes der Schneedecke zweier hochgelegener Schneemessstationen der Alpennordseite am 1. Mai. Das langjährige Mittel (m) sowie $m + s$ und $m - s$ (s = Standardabweichung) sind eingezeichnet. Der Wert vom 1. Mai 1989 ist schraffiert dargestellt. Die Clariden-Daten sind grösstenteils aus *Kappenberger* und *Müller* [1989]. Die Messdaten wurden von den Autoren auf den Termin reduziert.

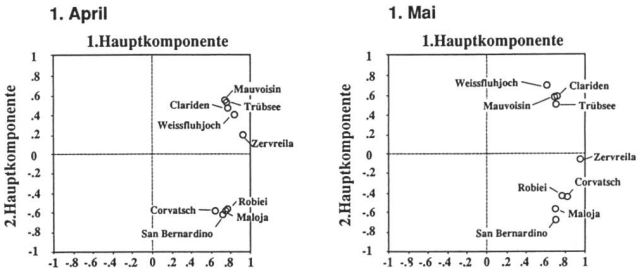

Bild 5. Hauptkomponentenanalyse des Wasseräquivalentes der Schneedecke von neun ausgewählten Stationen für die beiden Termine 1. April und 1. Mai und für die Periode 1975 bis 1989.

Die Situation der Station Zervreila (1735 m, Valsertal GR) kann offensichtlich nicht klar als nordalpin oder südalpin klassifiziert werden. Dagegen ist die Station Mauvoisin (1810 m) im Val de Bagnes (VS) bezüglich ihrer Schneereserven eindeutig der nordalpinen Region zuzuordnen. Diese Klassifikation der Station Mauvoisin lässt sich auch an einzelnen grossen Schneefallereignissen nachweisen. Eine entscheidende Bedeutung kommt dabei wohl ihrer topographischen Lage in der Fortsetzung des Rhone-Quertals zu (*Lang* und *Rohrer* [1987]).

Abschliessende Bemerkungen

Im Winter 1988/89 erzeugte eine ungewöhnlich anhaltende Trockenperiode im Hochwinter ein starkes Defizit in den Schneewasserreserven des schweizerischen Alpenraumes. Am 1. April 1989 zeigten nordalpine und südalpine Stationen Wasseräquivalentwerte, die um eine Standardabweichung und mehr unter dem langjährigen Mittelwert lagen.

Ergiebige Niederschläge im April 1989 liessen eine völlig veränderte Situation entstehen. Für die nordalpine Stationengruppe wurde das Defizit auf zirka 0,7 Standardabweichungen reduziert, für die südalpine Stationengruppe resultierte gar ein Überschuss von zirka 0,5 Standardabweichungen.

Diese Untersuchungen zeigen deutlich, dass die entscheidende winterliche Akkumulation der Schneewasserreserven in den Höhenlagen des Alpenraums (oberhalb etwa 1500 m) in einzelnen Jahren erst im Spätwinter bis Ende April stattfindet. Der Grund dafür liegt in den jahreszeitlichen Charakteristiken der allgemeinen atmosphärischen Zirkulation und der damit verbundenen Feuchteadvektion.

Im Hinblick auf die Ausgabe von Langfrist-Vorhersagen der sommerlichen Schmelzwasserzuflüsse zu den Stauseen der Wasserkraftwerke ist es deshalb sinnvoll, im Zeitraum von Ende März bis Anfang Mai mehrere Vorhersagen bereitzustellen.

Ausblick

Eine hohe Genauigkeit der langfristigen Vorhersagen der Sommerzuflüsse zu den Stauseen im Alpenraum hängt von folgenden Bedingungen ab:

a) Der Ausgabezeitpunkt im Frühjahr liegt nahe dem Ende der winterlichen Akkumulationsperiode.
b) Die regionale quantitative Erfassung des Wasseräquivalentes der Schneedecke ist genügend genau.
c) Die Summe der Niederschläge und die Schmelzbedingungen liegen während der Prognoseperiode nahe beim Mittelwert der Referenzperiode.

Jede grössere Abweichung, vor allem der Sommerniederschläge, bringt eine Variation in den Abfluss, die wir im Frühjahr noch nicht vorhersagen können. Brauchbare langfristige meteorologische Vorhersagen wären hier nötig, sind aber in der nahen Zukunft nicht zu erwarten. Deshalb sind auf wenige Prozent genaue Langfrist-Abflussvorhersagen, wie andernorts verschiedentlich angekündigt, vorläufig undenkbar. An der Abteilung Hydrologie des Geographischen Instituts der ETH wird zurzeit ein Schneedeckenmodell entwickelt, das sich auf die jederzeit und verlässlich verfügbaren Daten der Schweizerischen Meteorologischen Anstalt (SMA) abstützt. Damit wird es möglich sein, die oben genannten Voraussetzungen a) und b) zu erfüllen. Die bis jetzt nur einmal oder zweimal im Frühjahr für die Wasserwirtschaft bereitgestellten Prognosen können dann praktisch jederzeit operationell abgegeben werden.

Die Autoren danken Dr. *Ludwig Braun* für wertvolle Diskussionsbeiträge.

Literatur

Arbeitsgruppe für operationelle Hydrologie, 1985. Die Schneedecke der Schweiz aus hydrologischer Perspektive. Landeshydrologie Bern, 67 S.

Fahrmeier L. und *Hammerle A.*, 1984. Multivariate statistische Verfahren. de Gruyter, Berlin. 796 S.

Jensen H., 1979. Statistische Untersuchung der Beziehung zwischen den Schneereserven und dem Sommerabfluss alpiner Gebiete. Festschrift für Peter Kasser. In: Mitteilungen der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie an der ETH Zürich, Nr. 41, pp. 123–144.

Lang H. und *Rohrer M.*, 1987. Temporal and spatial variations of the snow cover in the Swiss Alps. In: IAHS Publ. No. 166, pp. 79–92.

Kappenberger G. und *Müller H.*, 1989. Clariden Messungen 1914–1984 (Arbeitstitel). Geographisches Institut ETH/VAW. (In Vorbereitung)

Rohrer M., 1989. Determination of the transition air temperature from snow to rain and intensity of precipitation. In: Proc. of St. Moritz Symp. WMO No.? (In Vorbereitung)

SMA, 1988, 1989, Witterungsberichte der SMA.

Vischer D. und *Jensen H.*, 1978. Langfristprognosen für den Rheinabfluss bei Rheinfelden. «Wasserwirtschaft», *68* (9). pp. 259–264.

Adresse der Verfasser: *Mario Rohrer* und Prof. Dr. *Herbert Lang*, Abteilung Hydrologie, Geographisches Institut ETH, CH-8057 Zürich.

70 Millionen Franken jährlich für den «Landschaftsrappen»?

(VSE) – Anlässlich der Juni-Session 1989 hat der Nationalrat beschlossen, die Stromproduktion aus Wasserkraft mit 0,2 Rappen pro Kilowattstunde zu belasten. Nachdem im vorigen Jahr in der Schweiz gut 36 Milliarden Kilowattstunden in hydroelektrischen Anlagen erzeugt worden sind, kann man davon ausgehen, dass der vom Nationalrat gefasste Beschluss die schweizerische Volkswirtschaft mit rund 70 Millionen Franken pro Jahr belasten würde. Geht man davon aus, dass von der gesamten letztjährigen Stromproduktion knapp 29 Prozent in den Haushaltungen benötigt worden waren, käme die Mehrbelastung für diese Abnehmergruppe auf jährlich etwa 20 Millionen Franken zu stehen. In die Industrie flossen 1988 gut 33 Prozent des Endverbrauches, was Mehrkosten aus dem «Landschaftsrappen» von rund 23 Millionen Franken pro Jahr bedeuten würde. In der gleichen Grössenordnung kämen – falls der Ständerat im Differenzbereinigungsverfahren zustimmt – die Belastungen für das Gewerbe, die Landwirtschaft und die Dienstleistungen zu stehen, nachdem diese Konsumgruppe im letzten Jahr zusammen ebenfalls rund einen Drittel des Endverbrauches an elektrischer Energie benötigte. Die Bahnen beanspruchten 1988 laut Angaben des Bundesamtes für Energiewirtschaft 5,5 Prozent des Jahresverbrauchs. Umgerechnet auf die eingangs erwähnten Gesamtbelastungen durch den «Landschaftsrappen» von 70 Millionen Franken, entspräche dies einem Kostenaufwand von etwa vier Millionen Franken jährlich.