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

Herausgeber: Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband

Band: 92 (2000)

Heft: 3-4

Artikel: Monitoring und Prognose der Schneedeckenentwicklung anhand von Satellitendaten

Autor: Kleindienst, Hannes

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-940246

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: 10.08.2025

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

Monitoring und Prognose der Schneedeckenentwicklung anhand von Satellitendaten

■ *Hannes Kleindienst, Stefan Voigt, Stefan Wunderle*

1. Einleitung

Die intensiven Schneefälle im Frühjahr 1999 haben zu aussergewöhnlichen Schneeverhältnissen im Berner Oberland geführt. Es bestand seitens kantonaler Behörden die Befürchtung, dass sich die Ablationsperiode auf Grund der grossen Schneemengen im Vergleich zu anderen Jahren verlängern und damit zu einer anhaltenden Durchfeuchtung der Böden führen würde. Die so erhöhte Disposition verschiedener Naturgefahren veranlasste den Kanton Bern, die Expertengruppe «Schnee-Wasser Bern» einzusetzen, um ein Monitoring- und Frühwarnsystem zu initiieren. Insbesondere während der Hochwasserperiode Mitte Mai 1999 wurden täglich Zustandsberichte und Prognosen erarbeitet und verteilt. Die Gruppe Fernerkundung des Geografischen Instituts der Universität Bern übernahm in diesem Rahmen die Beobachtung und Prognose der Schneedeckenentwicklung. Die Ausdehnung der Schneefläche wurde im Durchschnitt einmal pro Woche per Satellit bestimmt und diente als Ausgangslage, um die zu erwartende Entwicklung der Schneefläche auf der Basis meteorologischer Vorhersagen zu prognostizieren. Zu diesem Zweck wurden Fernerkundungsdaten und Angaben zu Schneehöhe und Schneewasseräquivalent mit einem einfachen Schneedeckenmodell verknüpft.

2. Datengrundlagen und Methodik

Die Gruppe für Fernerkundung betreibt seit etwa 20 Jahren eine eigene Empfangsanlage für die NOAA-Satelliten, um die Daten des Advanced-Very-High-Resolution-Radiometers (AVHRR) mit einer räumlichen Auflösung von 1,1 km für unterschiedlichste Fragestellungen nutzen zu können. Diese können in Echtzeit, wie in diesem Aufsatz gezeigt, oder retrospektiv anhand eines ca. 12 000 AVHRR-Szenen umfassenden Archivs behandelt werden. Die Erstellung von Schneekarten und die Analyse der Akkumulations- und Ausaperungsmuster in den Schweizer Alpen bildet einen langjährigen Forschungsschwerpunkt der Gruppe für Fernerkundung (Baumgartner, 1994).

2.1 Prozessierung der Schneekarten

Der Empfang sowie die Verarbeitung von NOAA-AVHRR-Daten ermöglicht eine häufige Kartierung der Schneebedeckung, da die zwei operationellen NOAA-Satelliten mehrmals täglich das Gebiet der Alpen abbilden. Für die Schneekartierung eignen sich vor allem die Aufnahmen zur Mittagszeit bei entsprechend hohem Sonnenstand. Der grösste limitierende Faktor bei der Schneebeobachtung im optischen Bereich des elektromagnetischen Spektrums ist die Wolkenbedeckung. Im Zeitraum Januar bis Juni 1999 war es im Mittel alle sechs Tage möglich, eine Schneekarte auf Basis von Satellitendaten zu erstellen. Die längste Periode ohne verwendbare Daten betrug 30 Tage (vom 25. Januar bis 25. Februar 1999).

Die Verarbeitung der Daten untergliedert sich in drei Abschnitte. Der erste Schritt besteht in der geometrischen Korrektur der Daten, bei der das Satellitenbild in Schweizer Landeskoordinaten überführt wird. In einem zweiten Schritt erfolgt die radiometrische Kalibration und Normierung der Daten, um eine über die Zeit konstante Qualität der Schneekarten zu erreichen. Dabei werden die am Satellit gemessenen Strahldichten ($W\,m^{-2}\,\mu^{-1}\,sr^{-1}$) für die reflektiven Kanäle in Albedowerte und für die thermalen Kanäle in Strahlungstemperaturen überführt. Topografisch bedingte Beleuchtungsunterschiede werden anhand eines digitalen Höhenmodells und des aktuellen Sonnenstandes kompensiert. Auch die Normalisierung der Strahlungswerte auf einen mittleren Erd-Sonnen-Abstand findet in diesem Arbeitsschritt statt. Schlussendlich werden die Daten mittels physikalisch basierter Schwellwerte für Albedo und Strahlungstemperatur klassifiziert und in thematische Karten mit den Klassen «Schnee», «Nicht-Schnee» und «Wolke» überführt (Voigt et al., 1999). Die Schwellwerttests sind hierfür hierarchisch angeordnet und sind sowohl in der Lage, dichte Cirrenschleier zu erkennen als auch tief liegende Wolken von Schnee zu unterscheiden. Die Verarbeitung konnte weitgehend automatisiert werden, sodass, sobald es die Wolkenbedeckung erlaubt, eine flächendeckende Schneekartierung innerhalb sehr kurzer Zeit nach Satellitenüberflug möglich ist.

2.2 Schneedeckenmodell

Die teilweise ungünstigen Bewölkungsverhältnisse, die eine Angabe zur Ausdehnung der Schneefläche einschränkten, aber auch die Anforderung, die Entwicklung der Schneefläche mehrere Tage im Voraus zu prognostizieren, machten die Entwicklung eines einfachen Schneedeckenmodells notwendig. Dieses ermöglicht, den Aufbau und die Schmelze der Schneedecke auf der Basis eines 1-km-Rasters zu simulieren. Angaben zur räumlichen Verteilung des Schneewasseräquivalents sind insbesondere für die Prognose der Schneeflächenentwicklung unentbehrlich, da erst durch sie der Zeitpunkt des Ausaperns in den Randbereichen der Schneedecke berechnet werden kann.

Die für das Modell erforderlichen Temperatur- und Niederschlagsdaten von zehn Stationen des Automatischen Mess-

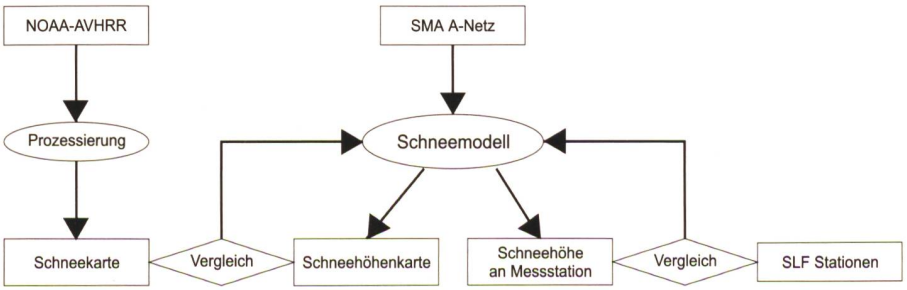

Bild 1. Verknüpfung der Fernerkundungsdaten und Schneehöhenmessungen mit dem Schneedeckenmodell.

netzes (A-Netz) wurden von MeteoSchweiz (SMA) zur Verfügung gestellt. Daten zu Schneehöhe und Schneewasseräquivalent konnten über das Eidgenössische Institut für Schnee- und Lawinenforschung (SLF) bezogen werden. Insgesamt waren 27 Stationen mit Schneehöhendaten und zwei Beobachterstellen mit Messungen des Schneewasseräquivalents in naher Echtzeit, d.h. innert Tagesfrist, verfügbar. Bild 1 zeigt die Verknüpfung der verschiedenen Daten mit dem Schneedeckenmodell.

Die meteorologischen Eingangsdaten für das Schneedeckenmodell werden via täglich bestimmter vertikaler Temperatur- und Niederschlagsgradienten und anhand des digitalen Höhenmodells (DHM) auf das 1-km-Raster interpoliert (Pfister, 2000). Die Bestimmung des Niederschlagstyps basiert auf einer einfachen Schnee-Regen-Grenztemperatur.

Der Kälteinhalt der Schneedecke wird aus dem Verlauf der Lufttemperatur der vergangenen Tage abgeleitet. Die Berechnung der potenziellen Schneeschmelze erfolgt nach dem Gradtag-Verfahren, wobei effektive Schneeschmelze erst dann auftritt, wenn die potenzielle Schmelze den Kälteinhalt der Schneedecke übersteigt. Die Setzung der Schneedecke infolge frei werdenden Schmelzwassers oder Regeneintrags wird gemäss dem Schmelz-Setzungsverfahren nach Bertler (1966) berechnet.

Die Schneedaten des SLF dienten der Validierung der Simulationsergebnisse und bei Bedarf der Kalibrierung der Modellparameter. Bild 2 zeigt ein Beispiel für einen Vergleichsplot, wie er automatisch vom Modell erstellt wird. Es wurde nicht versucht, die Messungen an einzelnen Stationen genau nachzubilden, vielmehr war es das Ziel, eine grundlegende Unter- oder Überschätzung der Modellrechnung zu erkennen. Ein Vergleich der simulierten Schneebedeckung mit den aus Satellitendaten abgeleiteten Schneekarten zeigt, dass im Mittel 93% der Fläche richtig bestimmt worden sind. Zu jeweils ca. 3,5% wurden schneefreie Bereiche als schneebedeckt modelliert und umgekehrt.

2.3 Zeitlicher Ablauf der Datenprozessierung

Bild 3 zeigt den zeitlichen Ablauf der Datenprozessierung. Die Aufbereitung der Satellitendaten fand je nach Wolkenbedeckung an einem der Vortage der eigentlichen Schneedeckenbewertung statt. Eine halbe Stunde nach dem Satellitenüberflug wurden die Daten von der Empfangsstation per Netzwerk übertragen. Vorprozessierung und Ableitung der Schneekarte dauerten in aller Regel ca. 45 min.

Die Schneedeckenbewertung fand einmal wöchentlich, jeweils am Donnerstag, statt. Ab 9.30 Uhr morgens standen aktuelle Schneemessdaten, meteorologische Messdaten sowie Prognosen zur Verfügung und wurden für die Schneedeckensimulation aufbereitet. Die Modellrechnungen und Prognosen fanden jeweils während des Vormittags statt, anschliessend erfolgten die Analyse und Überprüfung der Ergebnisse. Falls eine Kalibrierung erforderlich war, wurde diese eingearbeitet und die Modell- und Satellitendaten für die Auslieferung vorbereitet. Hierfür

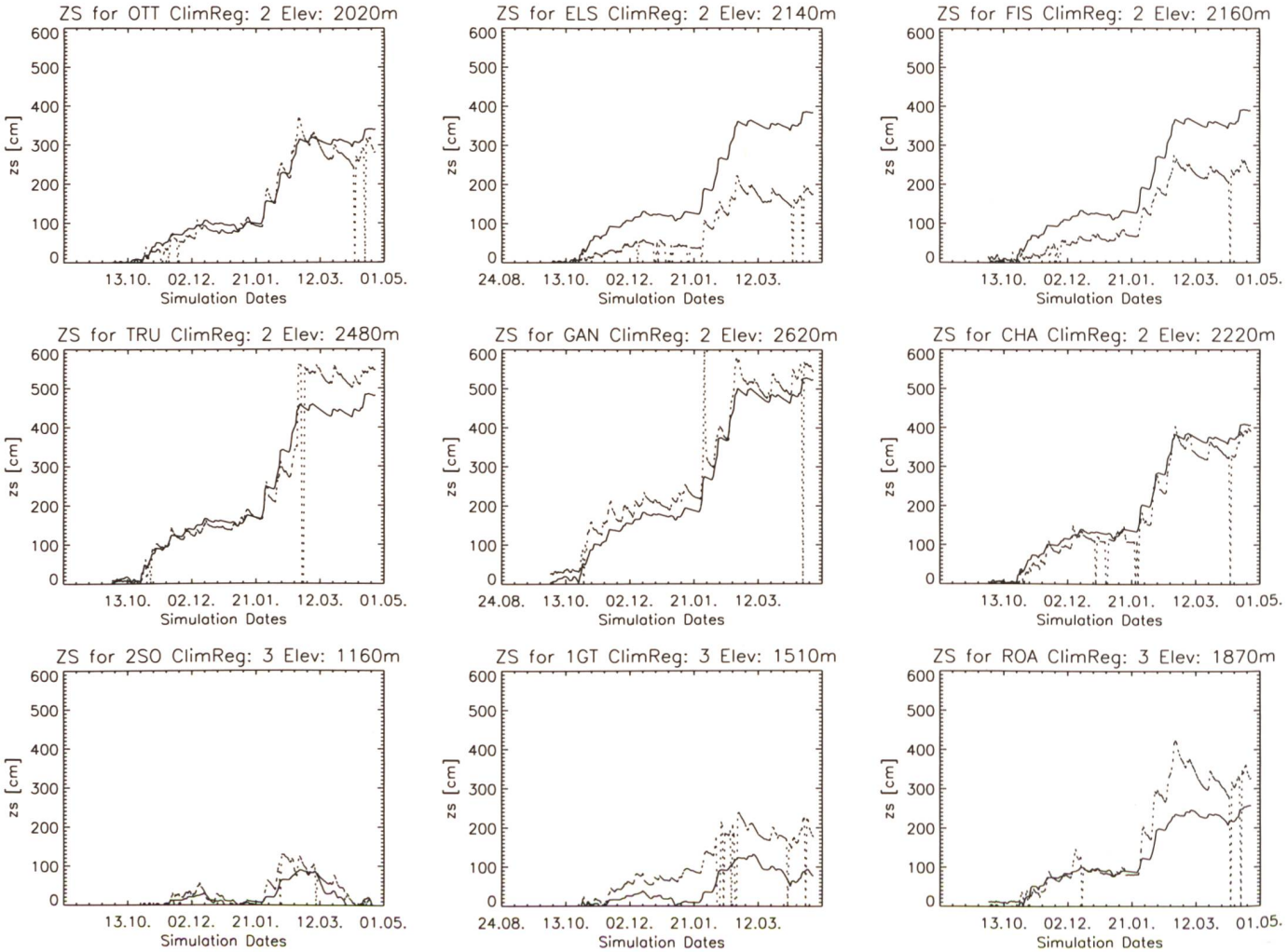

Bild 2. Beispiel eines Ergebnisplots, wie er vom Modell automatisch erstellt wird. An 27 Stationen wurden simulierte und gemessene Schneehöhen verglichen. Vertikale Linien in den Plots bedeuten Datenlücken in den Messreihen. Vertikal ist jeweils die Schneehöhe in cm aufgetragen.

wurden Grafiken und Schneekarten erstellt sowie die Rohdaten in GIS-kompatible Formate überführt. Die Auslieferung der Daten, versehen mit einer kurzen Dokumentation und Lagebewertung, erfolgte jeweils in den Mittagsstunden per E-Mail an GEO7. Die Weiterverarbeitung der Daten sowie Erstellung der Hochwasserinformationen ist im Beitrag von P. Mani in der gleichen Ausgabe von «wasser, energie, luft» 3/4, S. 69, dargestellt.

3. Analyse und Bewertung der Ergebnisse

Die im Folgenden vorgestellten Auswertungen beziehen sich auf das Gebiet des Berner Oberlands, wie aus Bild 4 ersichtlich wird. Das Bild stellt die vom Modell berechnete Verteilung des Schneewasseräquivalents sowie die anhand der Satellitendaten beobachtete Schneedecke am 25. April 1999 dar.

3.1 Bewertung der Situation im Frühjahr 1999

Wie Bild 5 zeigt, haben die intensiven Schneefälle im Februar 1999 die Schneefläche im Berner Oberland auf knapp 95% anwachsen lassen. Bis Ende April ging die Schneebedeckung auf 80% zurück. Aus der Abbildung wird auch ersichtlich, dass zu diesem Zeitpunkt verstärkte Ablation einsetzte, sodass im Monat Mai weitere 30% der Fläche ausaperten und die Schneebedeckung somit Ende des Monats nur noch ca. 45% betrug. Mit geringfügigen Neuschneefällen in grösseren Höhen im Juni belief sich die Schneebedeckung Anfang Juli auf ca. 30% der Fläche des Berner Oberlandes.

Im Folgenden wird die Schneebedeckung kurz vor dem Hochwasser Mitte Mai 1999 etwas genauer beschrieben (siehe auch Bild 6). Eine eingehende Bewertung der meteorologischen Ereignisse findet sich bei Grebner und Roesch (1999). Am 9. Mai 1999, wenige Tage vor Einsetzen der Hochwasser, waren noch ca. 68% des Berner Oberlands schneebedeckt, wobei der Höhenbereich zwischen 1000 m ü.M. und 1500 m ü.M. bereits zu drei Viertel aper war, während sich die Schneedecke zwischen 1500 m ü.M. und 2000 m ü.M. immerhin noch über 85% der Fläche erstreckte. Oberhalb von 2000 m ü.M. war an diesem Tag eine nahezu noch vollständige Schneebedeckung anzutreffen. Bis zum 29. Mai hatten sich diese Verhältnisse um ca. 500 m nach oben verschoben, sodass zu diesem Zeitpunkt die Höhenstufe 1500–2000 m ü.M. nur noch zu ca. 30% schneebedeckt war, während zwischen 2000 m ü.M. und 2500 m ü.M. 15% der Fläche ausaperten und die Schneebedeckung dort jetzt 85% betrug. Oberhalb 2500 m ü.M. verblieb weiterhin eine weitgehend vollständige Schneedecke.

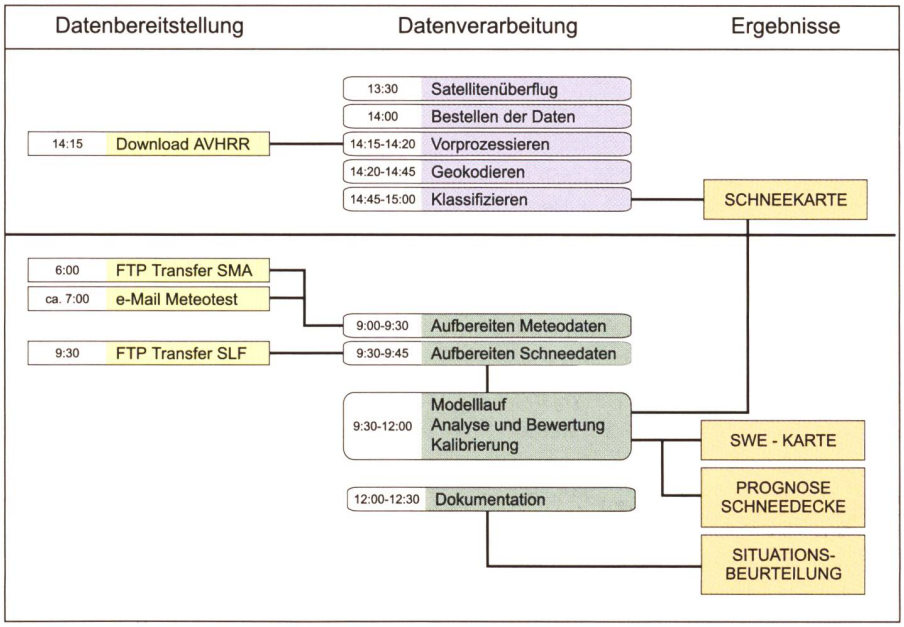

Bild 3. Verarbeitungsschritte vom Empfang der Satellitendaten und der Prozessierung der Schneekarte bis zur Erzeugung der Karten des Schneewasseräquivalents und der Schneedeckenprognose. Die linke Spalte kennzeichnet die erforderlichen Dateneingaben, die mittlere Spalte umfasst die Verarbeitungsschritte und die rechte Seite enthält die schlussendlich an Geo7 weitergeleiteten Resultate.

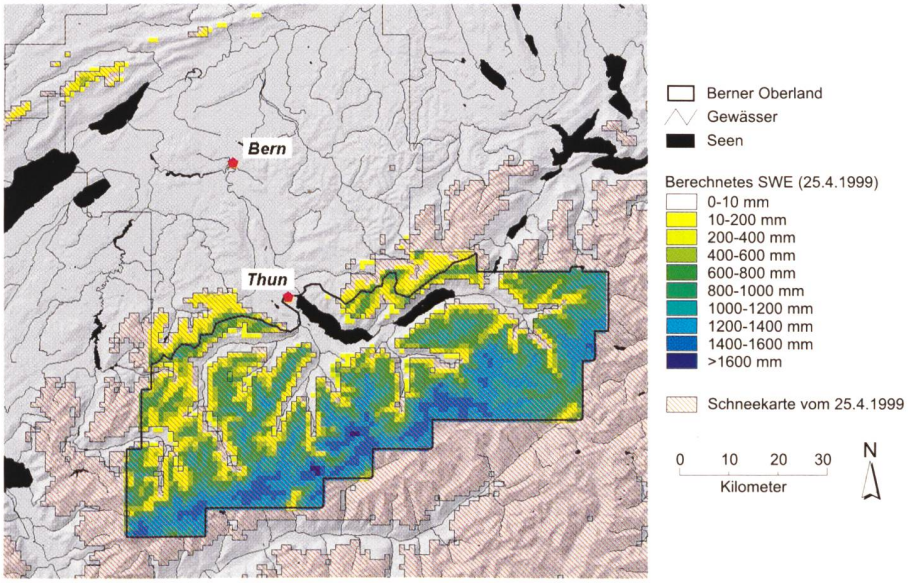

Bild 4. Verteilung des modellierten Schneewasseräquivalents im Vergleich mit der beobachteten Schneebedeckung, basierend auf NOAA-AVHRR-Daten für den 25. April 1999. Das der Analyse zugrunde liegende Gebiet des Berner Oberlandes, mit einer Fläche von ca. 3240 km², ist durch die schwarze Einrahmung markiert.

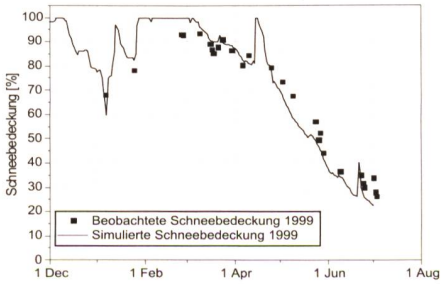

Bild 5. Simulierte und beobachtete Schneebedeckung im Berner Oberland. Die Beobachtung beruht auf NOAA-AVHRR-Satellitendaten.

Bild 6 zeigt, dass das sehr einfach gehaltene Schneedeckenmodell das Akkumulations- und Ablationsverhalten der Schneedecke gut wiedergeben kann. Insbesondere bildet das Modell die Neuschneefälle im April ab, die aus den Schneekarten nicht ersichtlich werden.

Im Mai simuliert das Modell eine zu geringe Schneebedeckung. Da jedoch am 9. Mai 1999 zu einem günstigen Zeitpunkt eine Bestimmung der Schneefläche anhand von Satellitendaten möglich war, wurde dieser Fehler rechtzeitig erkannt und korrigiert.

3.2 Vergleich mit vorausgegangenen Jahren

Vergleicht man die Schneedeckenentwicklung im Frühjahr 1999 mit den Jahren 1992 und 1998, zeigt sich, dass 1999 die Ablationsperiode tatsächlich um etwa zwei Wochen verlängert war (Bild 7). Eine Analyse der schweizweiten mittleren Höhe der Schneegrenze unter Zuhilfenahme von NOAA-AVHRR-Daten ergibt, dass Mitte Mai 1992 die Schneegrenze ca. 150 m höher lag als 1999.

Eine Analyse der gemessenen Schneehöhen an den Stationen Grimsel-Hospitz (1980 m ü.M.) und Adelboden (1320 m ü.M.) zeigt, dass insbesondere im Vergleich mit den 90er-Jahren im Frühjahr 1999 tatsächlich aussergewöhnlich grosse Schneemengen zu verzeichnen waren (Bild 8). Vor allem im kritischen Höhenbereich der Station Adelboden wurde im März 1999 mit etwa 140 cm Höchststand fast die doppelte Schneemenge relativ zu den Maxima der Jahre 1990 bis 1998 gemessen. Auch an der Station Grimsel-Hospitz wurden im Vergleich zu den 90er-Jahren 1999 die grössten Schneemengen beobachtet.

Bezieht man die Jahre 1980–1989 in den Vergleich mit ein, zeigt sich, dass in diesem Zeitraum an der Station Adelboden häufig vergleichbare Schneehöhen beobachtet werden konnten, wohingegen an der Station Grimsel-Hospitz nur wenige ähnlich grosse Schneehöhen auftraten.

4. Schlussfolgerungen

Die Erfahrungen des Frühjahrs 1999 belegen, dass es möglich ist, mit NOAA-AVHRR-Daten in naher Echtzeit mit nur wenigen Stunden Verzögerung Schneekarten abzuleiten, die für ein Monitoring-Programm, wie es vom Kanton Bern gefordert wurde, wertvolle Information darstellen. Das für die Prognose eingesetzte Schneedeckenmodell war trotz seiner Einfachheit in der Lage, aufschlussreiche Angaben über die zu erwartende Entwicklung der Schneefläche zu liefern.

Insgesamt konnte ein robustes System entwickelt und praktisch eingesetzt werden.

Das Jahr 1999 zeichnet sich durch anhaltende hohe Schneebedeckung bis in die ersten Wochen des Monats Mai aus, die jedoch innerhalb eines Monats insbesondere in den Höhenstufen zwischen 1000 m ü.M. und 2000 m ü.M. rasch abnahmen. Verglichen mit 1992 und 1998 war die Ablationsperiode 1999 um etwa zwei Wochen verzögert, was die ursprünglichen Befürchtungen der kantonalen Behörden bestätigt. Schneemessungen zeigten, dass bis spät ins Jahr vor allem in höheren Lagen noch grosse Schneehöhen auftraten.

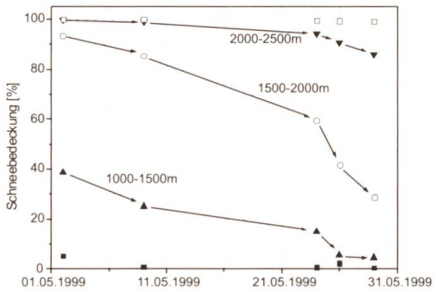

Bild 6. Entwicklung der Schneebedeckung im Monat Mai 1999, basierend auf NOAA-AVHRR-Satellitendaten. Insbesondere in den Höhen zwischen 1000 m ü.M. und 2000 m ü.M. nahm die Schneefläche stark ab. In den Höhen unter 1000 m ü.M. und über 2500 m ü.M. (volle und offene Quadrate) hat sich die Schneebedeckung nur geringfügig verändert.

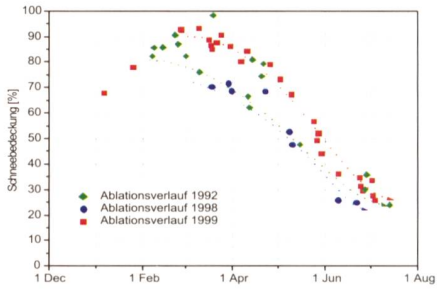

Bild 7. Vergleich der Schneebedeckung in den Jahren 1992, 1998 und 1999. Alle Beobachtungen beruhen auf Auswertung von NOAA-AVHRR-Satellitendaten. Der scheinbare Anstieg der Schneefläche im April 1992 ist auf in der Regel schnell abschmelzende Neuschneefälle oder auf Klassifikationsprobleme der Satellitendaten zurückzuführen. Die Pfeile dienen nur zur Verdeutlichung der Unterschiede.

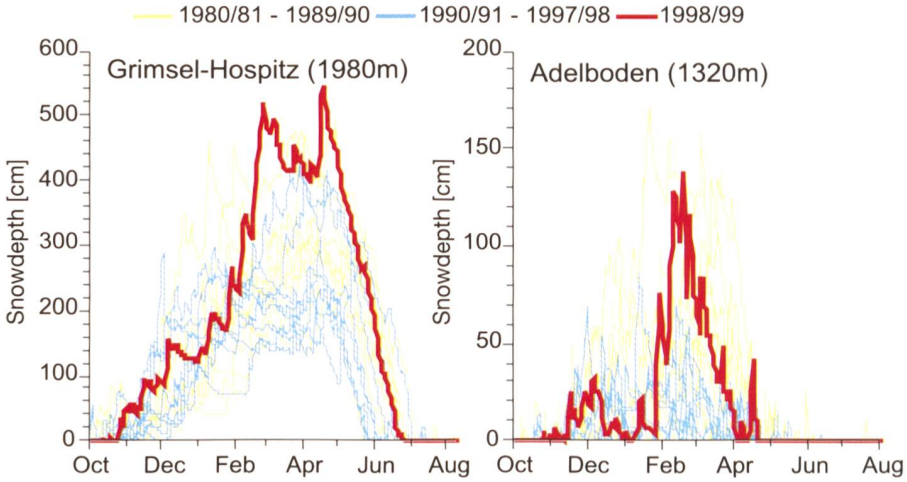

Bild 8. Vergleich der 1998/99 gemessenen Schneehöhen mit vorausgegangenen Jahren an zwei repräsentativen Stationen im Berner Oberland.

Verdankung

Die Autoren möchten sich bei MeteoSchweiz für die Bereitstellung der A-Netz-Daten sowie beim Eidgenössischen Institut für Schnee- und Lawinenforschung, das uns freundlicherweise die Schneedaten überlassen hat, bedanken.

Literatur

Baumgartner, M. F. (1994): Towards an integrated geographic analysis system with remote sensing, GIS and consecutive modelling for snow cover monitoring. In: International Journal of Remote Sensing, Vol. 15, No. 7, 1507–1517.

Bertler, F. A. (1966): Effect of Snow-Compaction on Runoff from Rain on Snow. Bureau of Reclamation, Engineering Monograph No. 35, Washington.

Grebner, D.; Roesch, T. (1999): Zusammenhänge und Beurteilung der Hochwasserperiode in der Schweiz vom 11. bis 15. Mai 1999. – Wasser, Energie, Luft, 5/6, 127–132.

Pfister, M. (2000): Meteorologische und Klimatologische Untersuchung des Rhein-/Inngebiets zur Verbesserung der Abflussvorhersage. Diplomarbeit, Geografisches Institut der Universität Bern. In Arbeit.

Voigt, S.; Koch, M.; Baumgartner, M. F. (1999): A multichannel threshold technique for NOAA AVHRR data to monitor the extent of snow cover in the Swiss Alps. In: Interactions Between the Cryosphere, Climate and Greenhouse Gases (ed. by M. Tranter, R. Armstrong, E. Brun, G. Jones, M. Sharp & M. Williams), 35–43. IAHS Publ. no. 256, Wallingford, UK.

Adresse der Verfasser

Hannes Kleindienst, Stefan Voigt, Stefan Wunderle. Geografisches Institut, Universität Bern, Hallerstrasse 12, CH-3012 Bern.