

## Tafel 3.6 Variationen der Schneegrenze

### Einleitung

Die Schneedecke ist nach [7] «eine dünne, thermisch isolierende, räumlich ausgedehnte, zeitlich begrenzte und extrem strahlungsreflektierende Erdoberflächenschicht, die für folgende Bereiche wichtig ist: Wintertourismus (Gleitschicht), Landwirtschaft (Isolierschicht), Wasserwirtschaft (temporärer Wasserspeicher), Lawinen, Gletscher, Permafrost, Klima». Allein die Tatsache, dass im Kanton Graubünden rund zwei Drittel der Erträge aus dem Tourismus auf die vor allem vom Skisport abhängige Wintersaison fallen [6], unterstreicht die ökonomische Bedeutung der Schneedecke. Sie spielt aber auch im hydrologischen Kreislauf eine herausragende Rolle, wie das Beispiel der Abflussregimes in Tafel 5.2 belegt. Da sich der Schnee in unseren Breitengraden oftmals nahe am Schmelzpunkt befindet, reagiert er auf Temperaturveränderungen sehr empfindlich und ist deshalb ein ausgezeichnete Indikator für Klimaveränderungen [7].

### Beobachtung der Schneedecke

Als Ergänzung zu den terrestrischen Punktmessungen der Schneemessnetze (s. Tafel 3.1) ermöglichen Wetter- und Erdbeobachtungssatelliten die flächenhafte Betrachtung der Schneebedeckung. Wettersatelliten überfliegen ein Gebiet sehr häufig. Für die hier vorgestellten Untersuchungen wurden Daten des amerikanischen NOAA-Satelliten mit einer zeitlichen Auflösung von zwölf Stunden verwendet (NOAA: National Oceanic and Atmospheric Administration). Dank dieser hohen Wiederholungsrate der Datenaufnahme kann auch bei einer grossen Bewölkungshäufigkeit mit mindestens einer wolkenfreien Aufnahme pro Woche gerechnet werden. Der grosse Öffnungswinkel des auf dem NOAA-Satelliten installierten AVHRR-Scanners (AVHRR: Advanced Very High Resolution Radiometer) erlaubt die Aufnahme grosser Gebiete mit einer maximalen Ausdehnung von etwa  $2000 \cdot 5000 \text{ km}^2$ . Das räumliche ( $1 \cdot 1 \text{ km}^2$ ) und spektrale ( $0.55\text{--}0.68 \mu\text{m}$ ,  $0.73\text{--}1.1\mu\text{m}$ ,  $3.55\text{--}3.75\mu\text{m}$  und  $11.5\text{--}12.5\mu\text{m}$ ) Auflösungsvermögen des AVHRR-Scanners eignet sich hervorragend für Schneekartierungen [4]. Die NOAA-AVHRR-Daten sind dank der Empfangsanlage und des Datenarchivs des Geographischen Instituts der Universität Bern rasch verfügbar [2].

### Karten zur Akkumulation und Ablation der Schneedecke

Aus Satellitendaten lassen sich mit Hilfe der digitalen Bildverarbeitung und Geographischer Informationssysteme Karten zur Schneebedeckung ableiten [3]. Durch die Überlagerung von Schneebedeckungskarten unterschiedlicher Aufnahmezeitpunkte kann der Verlauf des Einschneiens (Akkumulation) und des Ausaperns (Ablation) räumlich differenziert erfasst werden. Die vier auf der Atlas-Tafel dargestellten Karten 1:1'100'000 veranschaulichen die generelle Entwicklung der Schneedecke in den beiden Wintern 1983/84 und 1992/93. Kurzfristige Veränderungen – also die Ausbildung einer temporären, nach wenigen Tagen wieder abschmelzenden Schneedecke – blieben unberücksichtigt. Um die Vergleichbarkeit der Karten zu erhöhen, wurden in beiden Zeiträumen – je nach den Bewölkungsverhältnissen – die gleichen oder zumindest ähnliche Aufnahmedaten verwendet. Über die in Figur 1 dargestellten Zeitreihen lassen sich die beiden analysierten Winter in eine längere Zeitperiode einordnen. Im Winter 1983/84 erfolgten Akkumulation und Ablation der Schneedecke durchschnittlich rund eine bis zwei Wochen später als im langjährigen Mittel. Die Periode mit einer permanenten Schneedecke war im langjährigen Vergleich von durchschnittlicher bis überdurchschnittlicher Länge. Wie die Karten veranschaulichen, war die Schweiz anfangs März 1984 fast vollständig schneebedeckt. Der Winter 1992/93 lässt sich durch den kurzen Zeitraum mit einer permanenten Schneedecke und durch das im langjährigen Vergleich sehr frühe Ausapern charakterisieren. Weite Teile des Mittellandes blieben schneefrei. Dieser Winter steht stellvertretend für die kurzen, schneearmen Winter, welche am Ende der 1980er und zu Beginn der 1990er Jahre vermehrt aufgetreten sind.

In Abhängigkeit der Höhenlage lassen sich einfache Regressionsmodelle zur Ermittlung des mittleren Datums des Einschneiens und des Ausaperns bestimmen. So bestehen für die Alpennordseite folgende Beziehungen:

$$E = -0.0386 \cdot \text{Höhe} + 140.89 \quad r^2 = 0.78, \quad n = 31$$

$$A = 0.0752 \cdot \text{Höhe} + 128.89 \quad r^2 = 0.88, \quad n = 31$$

E: mittleres Datum des Einschneiens [Tage nach dem 1. September]

A: mittleres Datum des Ausaperns [Tage nach dem 1. September]

Höhe: Höhe über Meer [m]

$r^2$ : Bestimmtheitsmass

n: Stichprobenumfang

### Langfristige Veränderungen der Schneedecke

Die zeitlichen Variationen der Ausdehnung der Schneedecke sind ausgezeichnete Klimaindikatoren. Deshalb wurden die in der Schweiz verfügbaren Zeitreihen terrestrischer Daten systematisch ausgewertet. Charakteristische Beispiele sind in Figur 1 ausgewiesen: Pro Region SLF (Eidg. Institut für Schnee- und Lawinenforschung, s. Tafel 3.3) wurden in der Regel zwei Stationen in unterschiedlichen Höhenlagen ausgewählt (ca. 1100 m bis 1500 m ü. M. und ca. 1700 m bis 2000 m ü. M.); zusätzlich ist je ein Beispiel für eine sehr hoch gelegene (Weissfluhjoch) und eine tief gelegene Station (Interlaken) aufgeführt. Pro Winter können mehrere Zeitabschnitte mit einer permanenten Schneedecke auftreten, die jeweils durch einen Zeitraum ohne Schnee getrennt sind. In den Diagrammen der Figur 1 ist der jeweils längste Zeitabschnitt mit permanenter Schneebedeckung dargestellt. Die Daten stammen aus den SLF-Winterberichten [5]. Wie die Diagramme verdeutlichen, lassen sich keine eindeutigen zeitlichen Trends beim Einschneien und Ausapern sowie bei der Dauer der Schneebedeckung erkennen. Ein Vergleich der Stationen zeigt im weiteren, dass die jährlichen Variationen des Einschneiens und des Ausaperns mit zunehmender Höhe abnehmen. In diesem Zusammenhang ist die für touristische Zwecke sehr wichtige 100-Tage-Regel zu nennen, die besagt, dass die Schneesicherheit eines Skigebietes dann gewährleistet ist, wenn in der Zeitspanne zwischen Mitte Dezember und Mitte April an mindestens 100 Tagen eine für den Skisport ausreichende Schneedecke vorhanden ist [1]. Eine hohe Schneesicherheit weisen Gebiete über 1800 m ü. M. auf; in Gebieten zwischen 1000 m und 1800 m kann die Schneesicherheit in Abhängigkeit der Exposition, der Entfernung zum Alpenkamm und weiterer Faktoren von Jahr zu Jahr stark variieren [1].

### Variationen der Schneegrenze und der Schneebedeckung

Aus den vier Karten zur Akkumulation und Ablation der Schneedecke wurden für die Winter 1983/84 und 1992/93 die Veränderungen der Schneegrenze und der Schneebedeckung in ausgewählten Flussgebieten abgeleitet (Fig. 2 und 3). In den Diagrammen treten die Unterschiede zwischen den beiden Wintern wiederum deutlich hervor: Die Schneegrenze lag im Winter 1992/93 im allgemeinen höher als im Winter 1983/84. Eine ausgedehnte Hochdrucklage vom Dezember 1992 bis zum Februar 1993 bewirkte, dass sich die Schneegrenze in diesem Zeitraum nur wenig veränderte. Anfangs März 1993 erfolgte ein kurzer Vorstoss in Lagen zwischen 500 m und 1000 m; bedingt durch relativ hohe Temperaturen verschob sich die Schneegrenze aber rasch wieder in höhere Lagen. Im Winter 1983/84 verzögerte sich – wie bereits erwähnt – der Zeitpunkt des Einschneiens und des Ausaperns gegenüber dem langjährigen Mittel. Sonst entsprechen die

Veränderungen der Schneegrenze weitgehend dem durch die Regressionsmodelle beschriebenen mittleren Verhalten.

Der unterschiedliche Verlauf der Schneegrenze in den beiden Wintern äussert sich auch in den Diagrammen zum Grad der Schneebedeckung. Auffällig sind vor allem die beträchtlichen Unterschiede zu Beginn der Ablationsphase im März, insbesondere in den Flussgebieten der Aare, der Reuss und des Ticino.

### **Modellierung des durch die Schneeschmelze verursachten Abflusses**

Eine für die Wasserwirtschaft interessante Anwendung der vorgestellten Daten ist die Modellierung und Vorhersage des Schneeschmelzabflusses. Am Beispiel des Snowmelt Runoff Models (SRM) [8] soll dies kurz skizziert werden. Das SRM-Modell basiert auf dem sogenannten Grad-Tag-Verfahren; es benötigt als Inputgrössen Tageswerte der Schneebedeckung, der Temperatur und des Niederschlags. Die Informationen zur Schneebedeckung lassen sich aus Satellitendaten gewinnen. Dazu wird, wie das Beispiel in Figur 4 zeigt, das Einzugsgebiet in Höhenzonen eingeteilt und der Schneeschmelzabfluss jeder Höhenzone gesondert berechnet. Figur 5 stellt das Ergebnis einer Modellrechnung für das Flussgebiet des Rheins bis Felsberg dar. Zum Vergleich der modellierten und gemessenen Abflüsse musste der beobachtete, durch die Wasserkraftnutzung beeinflusste Abfluss in den natürlichen Abfluss umgerechnet werden.

### **Literatur**

- [1] **Abegg, B. (1996):** Klimaänderung und Tourismus. Zürich.
- [2] **Baumgartner, M., Fuhrer, M. (1991):** A Swiss AVHRR and Meteosat receiving station. In: EUMETSAT P-09:23–33, Darmstadt.
- [3] **Baumgartner, M., Apfl, G. (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: 1507–1518, Dundee.
- [4] **Baumgartner, M., Weingartner, R. (1995):** Schneeschmelz- und Abfluss-Modellierung in den Alpen unter Einbezug von Fernerkundungsdaten. In: Österreichische Wasserwirtschaft 47. Jahrgang, Heft 9/10:216–224, Wien.
- [5] **Eidg. Institut für Schnee- und Lawinenforschung (1936/37–1993/94):** Schnee und Lawinen in den Schweizer Alpen, Winterberichte Nrn. 1–57, Davos.
- [6] **Elsasser, H., Abegg, B. (1995):** Tourismus und Klima im Alpenraum. In: unizürich 2/95:39–41, Zürich.
- [7] **Föhn, P. (1990):** Schnee und Lawinen. In: Mitteilung der VAW Nr. 108:33–48, Zürich.
- [8] **Martinec, J., Rango, A., Roberts, R. (1994):** The Snowmelt Runoff Model (SRM) – User's Manual. Geographica Bernensia P–29, Bern.

Fig. 4

**Ausaperung in verschiedenen Höhenzonen**

**Disparition de la couche de neige pour certaines tranches d'altitude**

**Rhein, Felsberg 1984**

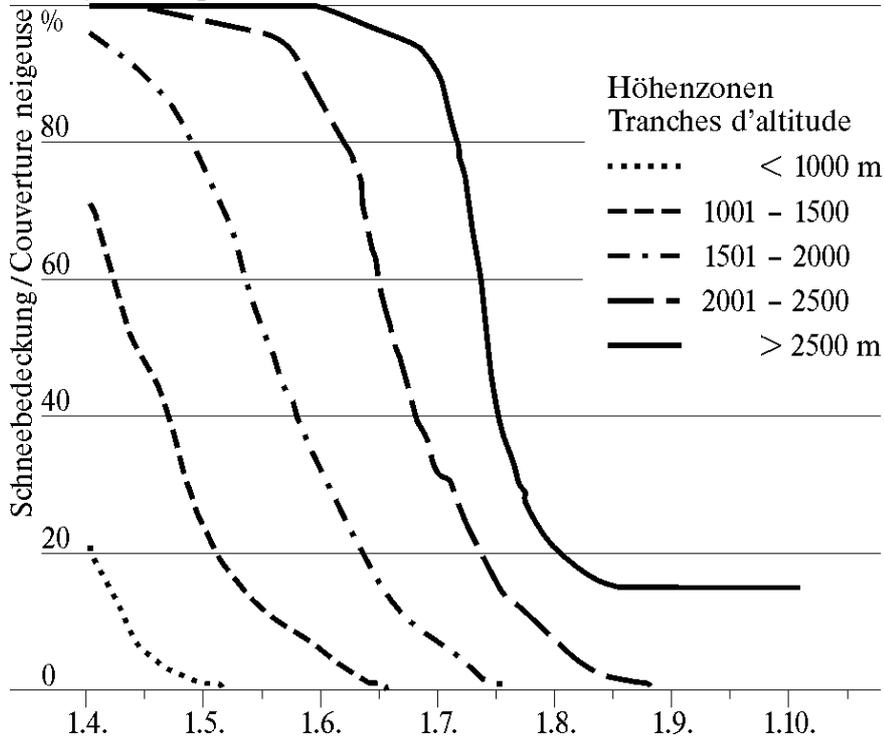
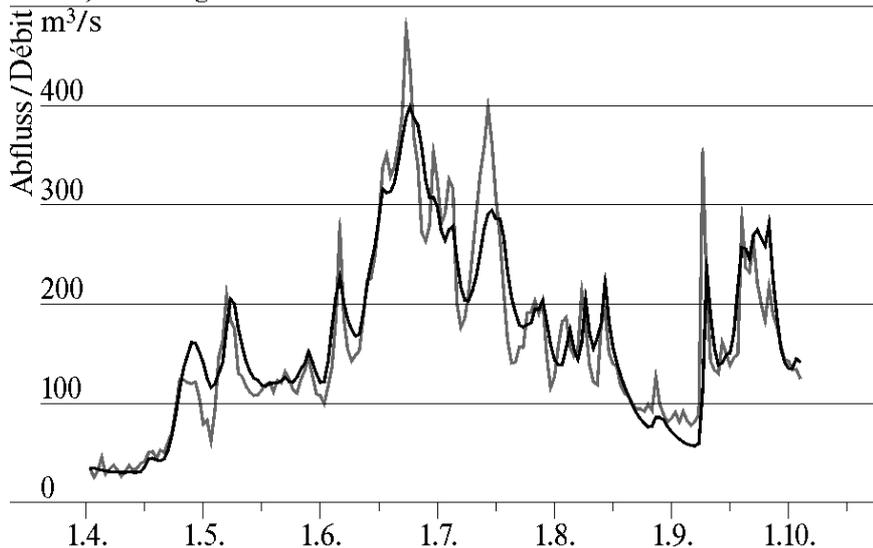


Fig. 5

**Schneesmelz-Abfluss-Modellierung**

**Débits de fonte de la neige simulés par le modèle**

**Rhein, Felsberg 1984**



— Gemessene Werte / Valeurs mesurées

— Modellierte Werte / Valeurs simulées