

Tafel 3.1² Messnetze der Kryosphäre: Schnee, Gletscher, Permafrost

Einleitung

Die Messnetze der Kryosphäre haben in jüngster Zeit einige Veränderungen erfahren, was eine Neuauflage der Tafel 3.1 nötig machte. Während die Schneemessnetze einerseits erweitert und andererseits auch automatisiert wurden, erfuhr das traditionelle Gletschermessnetz einige Anpassungen und Erweiterungen. Neu hinzugekommen ist das im Jahr 2000 zunächst als Pilotprojekt gestartete Messnetz Permafrost. Die 2006 neu gegründete Expertenkommission Kryosphäre der schweizerischen Akademie für Naturwissenschaften (EKK/scnat) hat die Koordination der einzelnen Messnetze übernommen.

Schnee

Schneemessungen erfolgen in der Schweiz hauptsächlich an den Stationen des Eidg. Institutes für Schnee- und Lawinenforschung (SLF) und des Bundesamtes für Meteorologie und Klimatologie (MeteoSchweiz). Zusätzlich gibt es Einzelstationen und kleinere Messnetze mit lokalem Charakter. Sie dienen Forschungszwecken, dem Wintertourismus, der Beurteilung der Betriebssicherheit von Bahnen oder werden von Kraftwerksgesellschaften zur Abschätzung des Wasserangebots verwendet [5,7,14].

Karte, Tabellen und Figuren geben einen Überblick über die Lage der Messstationen, die gemessenen Kenngrössen und die Vollständigkeitsraten der Messreihen der einzelnen Schneemessnetze. Bei der Analyse der eigentlichen Messwerte (s. z.B. [3,8,11]) ist dem Umstand Rechnung zu tragen, dass nur ein Teil der Daten kontrolliert, korrigiert und interpoliert wurde und dass sich die ausgewiesenen Fehljahre auf die Schneehöhe beziehen. Es können also bei anderen Kenngrössen zusätzliche Ausfälle oder Lücken bestehen. Zudem kann es vorkommen, dass sich die Messnetzzugehörigkeit im Laufe der Jahre verändert hat. Dargestellt wird die Zugehörigkeit im Jahre 2006. Insgesamt sind 581 Schneemessstationen aufgeführt, von denen 311 im Jahr 2006 in Betrieb standen (s. Tab. 1). Aufgenommen wurden nur solche Stationen, deren Daten in der Datenbank der jeweiligen Institution digital verfügbar sind.

Schneekenngrössen

Die drei wichtigsten, in dieser Tafel dargestellten Kenngrössen der Schneemessung sind die Schneehöhe (HS), die Neuschneehöhe (HN) sowie das Wasseräquivalent der Schneedecke (SWE) (s. Tab. 2). Die Schneehöhe wird an graduierten Pegeln abgelesen oder mit einem Ultraschallsensor automatisch bestimmt. Die Messung des Neuschnees erfolgt alle 24 Stunden jeweils morgens um ca. 7 Uhr, indem die Höhe des seit der letzten Beobachtung gefallenen Schnees auf einem Neuschneebrett gemessen wird. Das Brett wird anschliessend gereinigt und wieder auf die Schneeoberfläche gelegt. Diese Kenngrösse kann nicht mit einem Sensor gemessen werden. Das Wasseräquivalent der Schneedecke entspricht der Höhe des geschmolzenen Schnees der Schneedecke.

An automatischen Stationen können die Dichte und das Wasseräquivalent des Neuschnees modelliert werden, wenn neben der Schneehöhe auch Strahlung, Luftfeuchtigkeit, Windrichtung und -geschwindigkeit, Lufttemperatur und Schneetemperaturen in verschiedenen Tiefen gemessen werden.

Schneemessnetze

Das automatische ANETZ ist das zeitlich hochaufgelöste Bodenmesssystem von MeteoSchweiz; es wurde zwischen 1977 und 1982 realisiert und umfasst insgesamt 72 Stationen, die in der ganzen Schweiz automatisch alle 10 Minuten eine breite Palette meteorologischer Daten erheben (vgl. Tafel 2.1²). An 34 dieser Stationen wird eine konventionelle Schneemessung durchgeführt.

Die Stationen werden seit 2005 ins neue, ebenfalls automatische SwissMetNet überführt und dabei mit automatischen Schneehöhenmessern ausgestattet [10].

Das Ergänzungsnetz ENET wurde zwischen 1990 und 1994 installiert [9]. Es ersetzte das sogenannte Gfeller-Sturmwarnnetz von MeteoSchweiz und umfasst insgesamt 44 Stationen, davon 10 im Hochgebirge mit Schneemessung. Dabei handelt es sich um sogenannte Doppelstationen, die über eine Gipfelstation (beheizter Windsensor, ventilierter Lufttemperaturmesser, teilweise Strahlungssensoren) und eine davon versetzte Flachfeldstation (Schneehöhe, Schneeoberflächentemperatur und Schneetemperaturen) verfügen.

Das Interkantonale Mess- und Informationssystem IMIS wurde in den Jahren 1992 bis 2006 realisiert. Die 99 Stationen bestehen ebenfalls aus einer Gipfel- und einer Flachfeldstation. Neben den im ENET gemessenen Kenngrössen werden auch die Luftfeuchtigkeit und die kurzweilige reflektierte Strahlung erfasst. Mit diesen Datengrundlagen kann das Schneedeckenmodell SNOWPACK [1] betrieben werden, das Schichteigenschaften, Driftindex, Reifindex, Neuschnee und Wasseräquivalent der Schneedecke simuliert.

Das sogenannte Vergleichsnetz VG ist das Basismessnetz für die Lawinenwarnung und umfasst 80 Stationen. Neben den Schneekenngrössen melden die Beobachter auch die beobachteten Lawinen und schätzen die Lawinengefahr für ihre Region ein.

Gletscher

Der Schwerpunkt des Messprogramms zur langfristigen Dokumentation der Gletscherveränderungen liegt in der Erhebung und Bereitstellung einer repräsentativen Datengrundlage für breit gefächerte Bedürfnisse. Neben den Untersuchungen zur Klima-Gletscher-Beziehung erfüllt das Messprogramm auch Ansprüche aus den Bereichen Wirtschaft (Wasserkraft, Tourismus) und Öffentlichkeitsarbeit (Information, Ausbildung) und dient auch der Erfassung und Beurteilung von Naturgefahren.

Der Beginn der systematischen, jährlichen Messungen, mit denen man u.a. die Ursachen der Eiszeiten erforschen wollte, reicht zurück ins Jahr 1880. Im Laufe der Zeit haben sich die Forschungsziele der Gletschermessungen verlagert und parallel dazu sind neue Messmethoden entwickelt worden. Es gilt heute, neue Technologien (z.B. Fernerkundung, Geoinformatik) mit den traditionellen Messtechniken (z.B. Feldmessungen) zu verbinden. Die Messergebnisse bilden zugleich einen Beitrag zu den internationalen Programmen zur Dokumentation von Gletscheränderungen.

Messgrössen

Das Gletschermessnetz ist so strukturiert, dass es sowohl globale wie regionale Analysen der Gletscherveränderungen zulässt. Das Messprogramm beinhaltet die jährliche oder mehrjährige Erhebung von Längenänderung, Massenbilanz und Volumenänderungen, Fliessgeschwindigkeit und Firntemperatur sowie die periodische Bestimmung von Gletscherkenngrössen (vgl. Tab. 3).

Die Längenänderung wird jeweils im Spätsommer an derzeit rund 100 Gletschern mit relativ geringem Aufwand aus der Verlagerung des Zungenendes ermittelt. Dabei gelangen verschiedene Messmethoden (Messband, Theodolit oder GPS) direkt vor Ort wie auch die Auswertung von Luftbildern zum Einsatz. Längenänderungen bilden ein je nach Grösse, Geometrie und Fliessedynamik des Gletschers verzögertes und gefiltertes Klimasignal ab (vgl. Tafel 3.7). Das dichte Messnetz umfasst Gletscher aller Grössenklassen und gibt einen guten Überblick über die regionalen Schwankungen (Fig. 7,[6]). Seit Beginn der dokumentierten Aufnahmen im 19. Jahrhundert existieren rund 9100 einzelne Beobachtungen mit einer mittleren Messreihenlänge von 71 Jahren.

Die Massenbilanz aus Schneezuwachs (Akkumulation) und Eisabtrag (Ablation, vor allem Schmelze) wird am Ende des Winters (meist Mitte Mai) und am Ende des Bilanzjahres (meist Ende September) derzeit an drei Gletschern mit der sehr aufwendigen direkten glaziologischen Methode (Pegelstangen und Schneeschächte) bestimmt. Ergänzt werden diese detaillierten Aufnahmen mit

jährlichen Punktmessungen an einigen weiteren Gletschern und mit langfristigen Messungen der gesamten Volumenänderung an 25 Gletschern [2]; eine Auswahl der Messergebnisse zeigt Figur 8.

Die Fließgeschwindigkeit an der Gletscheroberfläche hängt von der Eisdicke, der Neigung und den Gleitprozessen am Untergrund ab. Sie wird durch die terrestrische Vermessung von Pegeln oder Querprofilen sowie durch eine photogrammetrische Analyse von Luftbildern in Jahresauflösung erfasst. Die auf einzelne Gletscher beschränkten Messungen der Firn- oder Eistemperatur sind in dieser Tafel nicht dargestellt. Periodische Aufnahmen der gesamten vergletscherten Fläche in den Schweizer Alpen und die Ableitung weiterer Kenngrößen (s. Tafel 3.10) komplettieren die Erhebungen.

Permafrost

Permafrost ist ein wichtiger Indikator für Umweltveränderungen im Hochgebirge, dessen Erforschung in den letzten Jahren an Bedeutung gewonnen hat. Nach einer mehrjährigen Aufbauphase wurde zwischen 2000 und 2006 ein Konzept für PERMOS (PERmafrost MONitoring Switzerland) in Form einer Pilotphase umgesetzt [12,13]. Dadurch wurden bereits bestehende Messreihen gesichert und die Methodik für die Permafrost-Beobachtung verfeinert.

Die Erhebungen ermöglichen, zusammen mit der Auswertung periodisch aufgenommener Luftbilder, eine verbesserte Beurteilung von Naturgefahren, die in Permafrostgebieten ihren Ursprung haben (z.B. Murgang- und Sturzprozesse). Im Vordergrund stehen die nachfolgend genannten Kenngrößen:

- Mächtigkeit der Auftauschicht, Permafrosttemperaturen in Bohrungen: Die Beobachtungen zeigen, dass es rund ein halbes Jahr dauert, bis ein Temperatursignal von der Oberfläche in 10 m Tiefe eingedrungen ist. In dieser Tiefe sind kurzzeitige Schwankungen (z.B. Tag–Nacht) nicht mehr erkennbar; die Einflüsse der jahreszeitlichen Schwankungen kommen dagegen umso deutlicher zum Ausdruck (s. Fig. 6).
- Bodenoberflächen- und Felstemperaturen: Temperatursensoren knapp unter der Oberfläche erfassen die Auswirkungen von Lufttemperatur, Sonnenstrahlung sowie Schneedecke und eventuelle Luftzirkulation zwischen groben Blöcken auf die Bodenoberflächentemperaturen. Einige dieser Temperatursensoren sind in nahezu senkrechten Felswänden, in denen kein Schnee liegen bleibt, andere in flachen Partien angebracht. Dadurch lässt sich der unterschiedliche Einfluss verschiedener Größen wie Lufttemperatur, Strahlung, Schnee und Luftzirkulation ableiten und ihre Veränderung mit der Zeit beobachten (s. Fig. 5).

Literatur

- [1] **Bartelt, P., Lehning, M. (2002):** A physical SNOWPACK model for the Swiss avalanche warning, Part I: numerical model. In: Cold regions Science and Technology 35:123–145, Amsterdam.
- [2] **Bauder, A. (2001):** Bestimmung der Massenbilanz von Gletschern mit Fernerkundungsmethoden und Fließmodellierungen. Mitteilungen der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie der ETH Zürich, Nr. 169, Zürich.
- [3] **Beniston, M., Keller, F., Goyette, S. (2003):** Snow pack in the Swiss Alps under changing climatic conditions: an empirical approach for climate impacts studies. In: Theoretical and Applied Climatology, V74, N1–2:19–31, Wien.
- [4] **Colbeck, S. et al. (1990):** The International Classification for Seasonal Snow on the Ground. ICSI, International Association of Scientific Hydrology, Springfield.
- [5] **Eidg. Institut für Schnee- und Lawinenforschung (1936/37–2002/03):** Winterberichte. Davos.
- [6] **Gletscherberichte (1881–2006):** Die Gletscher der Schweizer Alpen. Nr. 1–126, Zürich.
- [7] **Laternser, M. (2002):** Langjährige SLF-, SMA- und RhB-Schneedatenreihen: Übersicht und Grundlagen für die Messnetzevaluation. Interner Bericht Nr. 746 des Eidgenössischen Instituts für Schnee- und Lawinenforschung SLF, Davos.
- [8] **Laternser, M. (2002):** Snow and Avalanche Climatology of Switzerland. Diss. ETH No. 14493, Zurich.
- [9] **MeteoSchweiz (1995):** Automatisches meteorologisches Ergänzungsnetz (ENET). Arbeitsbericht Nr. 180 des Bundesamtes für Meteorologie und Klimatologie (MeteoSchweiz), Zürich.
- [10] **MeteoSchweiz (2002):** Konzept Messnetz 2010 von MeteoSchweiz. Arbeitsbericht Nr. 199 des Bundesamtes für Meteorologie und Klimatologie (MeteoSchweiz), Zürich.
- [11] **Scherrer, S.C., Appenzeller, C., Laternser, M. (2004):** Trends in Swiss Alpine snow days: The role of local- and large-scale climate variability. In: Geophysical Research Letters, Vol 31; L13215, Washington.
- [12] **Vonder Mühll, D. et al. (2004):** Permafrost in Switzerland 2000/2001 and 2001/2002. Glaciological Report (Permafrost) No 2/3. Permafrost Monitoring Switzerland. Zurich.
- [13] **Vonder Mühll, D. et al. (2005):** Permafrost in den Schweizer Alpen 2002/2003 und 2003/2004. In: Die Alpen 10/05:24–31, Bern.
- [14] **Witmer, U. (1986):** Erfassung, Bearbeitung und Kartierung von Schneedaten in der Schweiz. Geographica Bernensia. G25, Bern.