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

Herausgeber: Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband

Band: 98 (2006)

Heft: 2

Artikel: Snowpower : ein neuer automatischer Sensor für Schneewasserwert-Messungen

Autor: Stähli, Manfred / Völksch, Ingo / Sommer, Wolfram

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-939331

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: 16.07.2025

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

Snowpower

Ein neuer automatischer Sensor für Schneewasserwert-Messungen

■ *Manfred Stähli, Ingo Völksch, Wolfram Sommer, Roland Meister*

Zusammenfassung

Im vorliegenden Artikel wird ein neuer In-situ-Sensor zur automatischen Messung des Schneewasserwerts vorgestellt. Dabei handelt es sich um ein 10 bis 20 m langes Flachband, welches teilweise oder ganz in der Schneedecke liegt und entlang dessen die Dielektrizitätskonstante gemessen wird. Testmessungen auf dem Messfeld des Eidg. Instituts für Schnee- und Lawinenforschung (SLF) Weissfluhjoch, Davos, haben gezeigt, dass der neue Sensor grundsätzlich in der Lage ist, die Veränderung der Schneedichte und des Schneewasserwerts über eine Wintersaison zu messen. Zusätzlich kann damit auch der Flüssigwassergehalt der Schneedecke bestimmt werden. Offene Fragen bestehen noch bezüglich des Eichverfahrens und der Langzeitperformance des Sensors.

1. Einleitung

Wasserkraftgesellschaften und Hochwasserbehörden sind auf genaue und regelmässige Messungen des Schneewasserwerts angewiesen, um verlässliche Abschätzungen der zu erwartenden Wassermengen während der Schneeschmelze machen zu können. In der Schweiz gibt es das Netz der Vergleichsstationen des SLF (Eidgenössisches Institut für Schnee- und Lawinenforschung Davos), wo der Schneewasserwert bei rund 50 Stationen halbmonatlich in Schneeprofilen bestimmt wird. Ansonst müssen sich die Wasserkraftgesellschaften und Hochwasserbehörden auf eigene (meist manuelle) Messungen abstützen. Neue automatische Messmethoden könnten u.U. solch aufwändige manuelle Messungen ersetzen und somit zu einer beträchtlichen Verringerung des Arbeitsaufwands (und der damit verbundenen Kosten) führen. Aus diesem Grund hat sich das SLF im Rahmen eines EU-Forschungsprojekts am Test eines neuen Schneewassersensors beteiligt.

Dieser so genannte Snowpower-Sensor wurde ursprünglich am Forschungszentrum Karlsruhe entwickelt (Huebner u.a., 1997). Er bestimmt die Dielektrizitätskonstante des Schnees entlang eines PVC-Bandes, welches teilweise oder ganz in der Schneedecke liegt. Aus dieser lässt sich die Dichte des Schnees berechnen und kombiniert mit einer Schneehöhenmessung (z.B. mit einem Ultra-Sonic Schneehöhenmesser) ergibt sich daraus der Schneewasserwert. Im Gegensatz zu anderen automatischen Schneewasserwert-Messmethoden, wie z.B. dem Schneekissen, das in Nordamerika seit vielen Jahren zur Anwendung kommt (NRCS, 2003), oder dem französischen Nivometer (Paquet und Laval, 2005), welches den Schneewasserwert aus der Absorption der kosmischen Strahlung be-

Bild 2. Installation des Snowpower-Sensors auf dem Weissfluhjoch Davos.

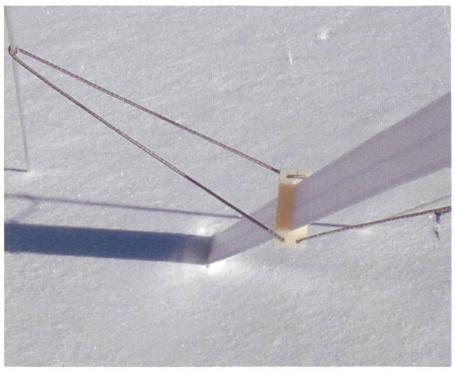

Bild 3. Das Flachbandkabel wird über ein Gummiband und 2 parallel verlaufende Nylonschnüre seitwärts stabilisiert.

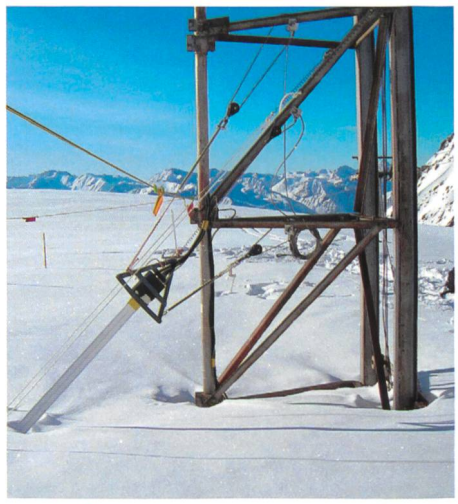

Bild 4. Über eine gefederte Aufhängung wird das Flachband an einem Mast befestigt.

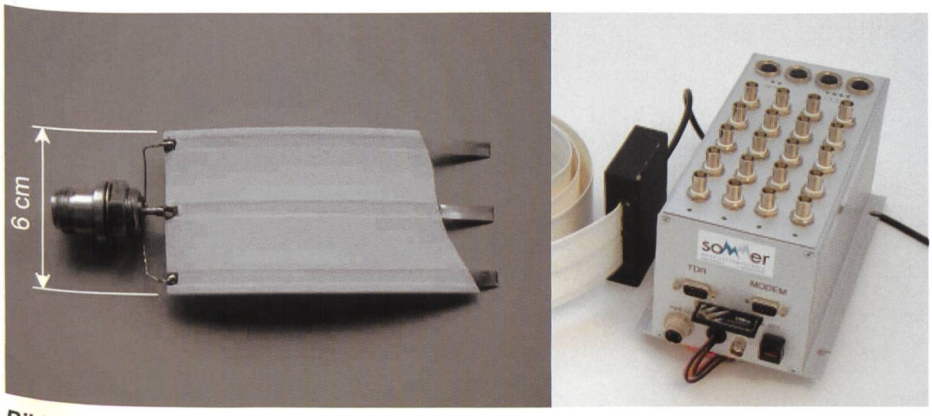

Bild 1. Bestandteile des Snowpower-Sensors: (a) Querschnitt des Flachbandkabels, (b) Elektronische Messeinheit, bestehend aus einem Multiplexer, einem Impedanzmessgerät und einem Datenspeicher.

stimmt, besteht beim Snowpower-Sensor die Möglichkeit, dass gleichzeitig auch das freie Wasser (= Flüssigwassergehalt) der Schneedecke gemessen wird. Diese Zusatzinformation ist sowohl für hydrologische Fragestellungen (Zeitpunkt der Sättigung und des ersten Drainierens) als auch für die Gefahrenbeurteilung z.B. bezüglich Nassschneelawinen von grossem Interesse. Auch der Flüssigwassergehalt der Schneedecke kann sonst nur manuell mit der Denoth-Sonde (Denoth, 1994) gemessen werden.

Ziel dieses Artikels ist es, den Snowpower-Sensor vorzustellen, über den Entwicklungsstand zu informieren und einige Ergebnisse der Testmessungen zu präsentieren.

2. Der Snowpower-Sensor

Das Snowpower-Messsystem besteht aus den folgenden Grundbestandteilen:

- ein 10 bis 20 m langes PVC-Flachband, 6 cm breit, in welches drei Kupferkabel eingegossen sind *(Bild 1a)*,
- die elektronische Messeinheit mit einem Multiplexer, einem Impedanzmessgerät und einem Datenspeicher *(Bild 1b)*
- die Stromversorgung (z.B. eine mit Sonnenenergie gespeiste Batterie)
- ein Modem für den drahtlosen Datentransfer.

Das Grundprinzip der Snowpower-Messungen beruht auf der Tatsache, dass bestimmte Materialien bei verschiedenen Messfrequenzen stark unterschiedliche Dielektrizitätskonstanten aufweisen. Entlang des Flachbandkabels wird die Dielektrizitätskonstante gemessen, die sich aus den Dielektrizitätskonstanten der einzelnen Schneebestandteile Eis, Luft und Wasser zusammensetzt. Aus Messungen bei mindestens zwei verschiedenen Frequenzen können die Volumenanteile der einzelnen Phasen bestimmt werden, woraus sich wiederum die mittlere Dichte der Schneedecke berechnen lässt. Bei unseren Testmessungen wurde normalerweise bei drei verschiedenen Frequenzen (10, 20 und 80 kHz) gemessen.

3. Installation des Messgerätes

Grundsätzlich gibt es zwei verschiedene Messkonfigurationen für den Snowpower-Sensor. Sollen Dichte und Flüssigwassergehalt einer bestimmten Schneeschicht gemessen werden, wird das Kabel zum entsprechenden Zeitpunkt einfach auf die bestehende Schneedecke gelegt, wo es anschliessend durch nachfolgende Schneefälle eingeschneit wird.

Ist man an der gesamten Schneedecke interessiert, wird das Flachbandkabel von einem Bodenanker aus schräg zu einem Turm oder einer entsprechenden Befestigungsmöglichkeit gespannt *(Bild 2)*, welche höher als die maximal zu erwartende Schneehöhe ist. Dadurch ergibt sich ein Neigungswinkel gegenüber der Horizontalen von 10 bis 30°. Die Länge des Kabels muss aus messtechnischen Gründen mindestens 8 bis 10 m betragen. Das Kabel wird hochkant installiert und mit Gummibändern aufrecht stabilisiert *(Bild 3)*, damit es durch die Schneelast so wenig wie möglich belastet wird. Das obere Ende des Kabels wird an einer gefederten Aufhängung befestigt *(Bild 4)* und so straff wie möglich gespannt. Die Federn sollen ein leichtes Nachgeben gegen Ende des Winters erlauben, wenn die Schneelast sehr gross wird, und somit einen Bruch des Kabels verhindern.

Neben dem Snowpower-Sensor sollten ein Schneehöhenmessgerät (Ultra Sonic) sowie eine Anzahl Schneetemperatursensoren (auf verschiedenen Niveaus über Boden) installiert werden. Ist dies nicht möglich, kann die mittlere Schneetemperatur auch nur aus der gemessenen Lufttemperatur und der Annahme, dass die Bodentemperatur 0°C beträgt, abgeschätzt werden. Schneehöhe und Schneetemperaturen werden zur Berechnung des Schneewasserwerts benötigt.

4. Testmessungen

In den drei Wintern 2002/03, 2003/04 und 2004/05 wurde der Snowpower-Sensor auf dem SLF-Testfeld Weissfluhjoch, Davos (2540 m ü.M.), im Rahmen eines EU-Projekts getestet. Die Hauptziele dabei waren:

- die Aufhängung und die Installation des Kabels zu optimieren
- die Messgenauigkeit sowie den Einfluss von meteorologischen Faktoren und Messeinstellungen (Frequenzwahl, Kalibrierungsparameter) zu bestimmen
- die Robustheit des Geräts zu überprüfen.

Zur Verifikation der Snowpower-Messungen dienten die von Institutsmitarbeitern zweimal pro Monat manuell erfassten Schneeprofil-Aufnahmen, in deren Rahmen u.a. auch der Schneewasserwert schichtweise bestimmt wird. Im Winter 2004/05 konnte ausserdem auf die Daten eines Schneekissens (Firma Sommer GmbH) zurückgegriffen werden, das neben dem Sensor aufgestellt worden war. Für die Auswertung waren zudem 10-Minuten-Werte aller relevanten Wet-

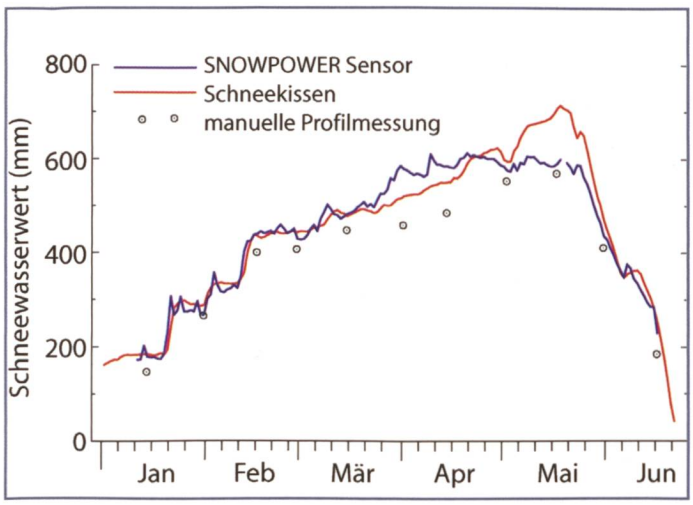

Bild 5. Saisonaler Verlauf des Schneewasserwerts (mm) im Winter 2004/05 auf dem Weissfluhjoch, gemessen mit dem Snowpower-Sensor, dem Schneekissen und aus den Profilmessungen.

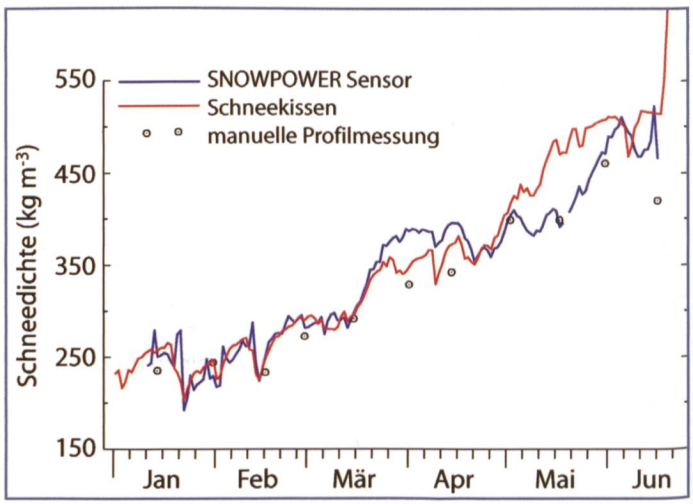

Bild 6. Saisonaler Verlauf der Schneedichte (kg/m³) im Winter 2004/05 auf dem Weissfluhjoch gemessen mit dem Snowpower-Sensor, dem Schneekissen und aus manuellen Profilmessungen.

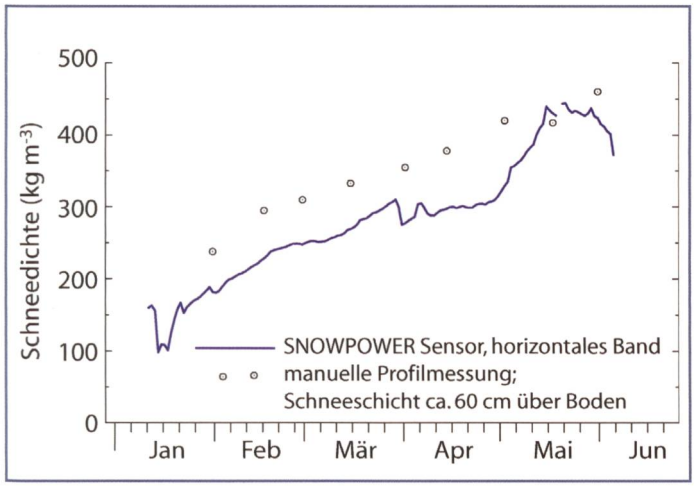

Bild 7. Saisonaler Verlauf der Dichte einer bestimmten Schneeschicht (60 cm über dem Boden) im Winter 2004/05 auf dem Weissfluhjoch, gemessen mit dem Snowpower-Sensor und aus manuellen Profilmessungen.

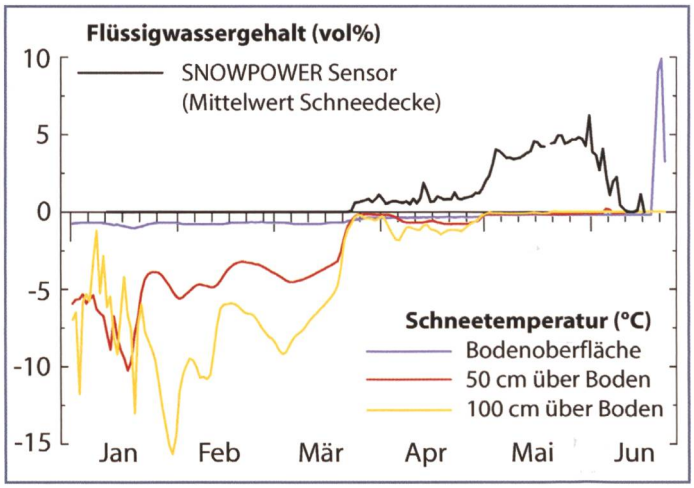

Bild 8. Mittlerer Flüssigwassergehalt der Schneedecke im Winter 2004/05 auf dem Weissfluhjoch, gemessen mit dem Snowpower-Sensor. Die gemessenen Schneetemperaturen auf verschiedenen Höhen über Boden zeigen, ab wann die Schneedecke isotherm ist.

terdaten sowie der Schneehöhe und der Schneetemperaturen (50, 100 und 150 cm über Boden sowie an der Boden- und der Schneeoberfläche) verfügbar.

In allen drei Wintern erreichte die Schneedecke eine Maximalhöhe von über 1,8 m. Bezüglich der Dauer der Schneebedeckung unterschieden sich die Jahre jedoch stark. Während im Sommer 2003 und 2005 die Schneedecke bereits Mitte Juni ausaperte, dauerte es 2004 fast bis Ende Juli, bis der ganze Schnee geschmolzen war.

Im Winter 2002/03 war noch ein alter Prototyp des Impedanzanalysators im Einsatz, ab dem Winter 2003/04 stand eine neue, kompakte elektronische Messeinheit zur Verfügung. Aufgrund von Verzögerungen bei der Entwicklung der Elektronik konnten die Messungen im Winter 2003/04 jedoch erst Ende März und im Winter 2004/05 erst in der zweiten Januar-Woche in Betrieb genommen werden. In beiden Jahren liefen die Messungen ab Inbetriebnahme bis zur Ausaperung ohne Unterbruch.

5. Resultate

Der Winter 2004/05, von welchem hier ausschliesslich Resultate gezeigt werden, war auf dem Weissfluhjoch bezüglich Schneehöhe und Schneewasserwert unterdurchschnittlich. Bis Mitte Januar war die Schneehöhe sogar rekord-niedrig, bevor eine deutliche Akkumulierung bis Mitte Februar einsetzte. Der maximale gemessene Schneewasserwert von 724 mm wurde mit dem Schneekissen am 18. Mai gemessen. Die anschliessende Abschmelze geschah relativ zügig. Am 22. Juni war das Versuchsfeld ausgeapert.

Betrachtet man die Schneewasserwerte des schräg gespannten Snowpower-Kabels, kann eine gute Übereinstimmung mit dem Schneekissen und den manuellen Profilmessungen festgestellt werden *(Bild 5)*. Der kontinuierliche Anstieg des Schneewasserwerts bis in den Mai wird von beiden automatischen Messgeräten gut wiedergegeben. Die mittlere Abweichung der Snowpower-Messungen von den manuellen Messungen betrug 42 mm. Vergleicht man die beiden automatischen Messmethoden miteinander, ist die durchschnittliche Abweichung noch geringer. Hier beträgt sie 29 mm.

Betrachtet man die Messungen der Schneedichte im Detail *(Bild 6)*, kann ebenfalls festgestellt werden, dass der Snowpower-Sensor den saisonalen Anstieg plausibel gemessen hat. Die Messwerte variieren zwischen 200 kg/m^3 im Januar und 500 kg/m^3 im Mai/Juni. Die grössten Abweichungen von den manuellen Messungen sind zwischen dem 20. März und dem 20. April festzustellen. Am Ende des Winters jedoch, als das Schneekissen im Vergleich zu den Profilmessungen eher zu hohe Dichtewerte anzeigte, stimmen die Resultate des Snowpower-Sensors gut mit den manuellen Messungen überein. Einzelne Schneefallereignisse (z.B. 21. Januar, 14. Februar, 9. April) führten zu einer kurzzeitigen Verringerung der mittleren Schneedichte, was in den Snowpower-Messungen deutlich wahrgenommen werden kann.

Ein zweites Snowpower-Flachband wurde am 13. Januar bei einer aktuellen Schneehöhe von 62 cm horizontal auf die Schneeoberfläche gelegt, wo es später eingeschneit wurde. Im Laufe des Winters veränderte sich die Position des Flachbandes infolge Setzung auf 45 cm. Ein Vergleich mit den manuellen Dichtemessungen der entsprechenden Schneeschicht *(Bild 7)* zeigt, dass die kontinuierliche Setzung mit der damit verbundenen Dichtezunahme (von 200 auf 460 kg/m^3) vom Snowpower-Sensor recht gut wiedergegeben wurde. Allerdings hat der Sensor die von Hand bestimmten Schneeschicht-Dichten systematisch unterschätzt. Unerklärlich ist der plötzliche Rückgang der Snowpower-Dichte Ende März, der in den Handmessungen nicht festgestellt werden konnte.

Wie bereits erwähnt wurde, kann mit dem Sensor auch das freie Wasser in der Schneedecke gemessen werden. *Bild 8* zeigt sehr schön, dass bis zum 22. März kein Flüssigwasser in der Schneedecke vorhanden war. Danach folgte eine Periode von etwa 40 Tagen, für die der Sensor eine leichte Durchfeuchtung der Schneedecke anzeigte. Während dieser Zeit bewegten sich die Schneetemperaturen nahe bei 0°C. Aber erst am 2. Mai wurde die Schneedecke richtig isotherm, was zu einem deutlichen Anstieg des Flüssigwassergehalts führte. Die maximalen Flüssigwassergehalte erreichten 6 Vol.-%, was ungefähr einer normalen Schneedecken-Wasserretention entspricht.

Abschliessend soll noch auf die Unsicherheiten in den bisher durchgeführten Messungen eingegangen werden. Eine relativ grosse Unsicherheit besteht noch bezüglich der Eichung des Sensors. Grundsätzlich müssen für jedes Snowpower-Band drei Parameter individuell kalibriert werden. Wir haben mit einem einfache Verfahren eine beste Parametri-

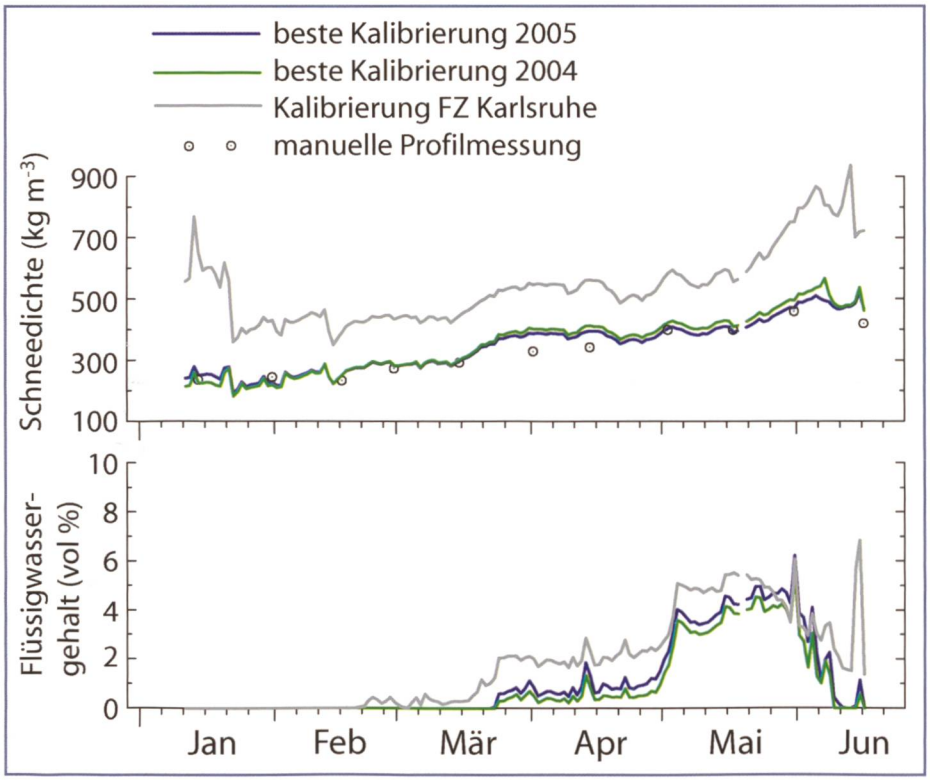

Bild 9. Unsicherheit bezüglich der Eichung des Sensors: Schneedichte (oben) und Flüssigwassergehalt (unten) im Winter 2004/05 auf dem Weissfluhjoch, gemessen mit dem Snowpower-Sensor unter Verwendung verschiedener Eichverfahren.

sierung für die Daten vom Winter 2003/04 und vom Winter 2004/05 bestimmt. Zusätzlich wurde zunächst versucht, im Labor des Forschungszentrums Karlsruhe mit Messungen in Materialien mit bekannter Dielektrizitätskonstante (Zucker, Salz, Luft, Glaskügelchen) eine allgemein gültige Parametrisierung zu bestimmen. Wie aus *Bild 9* klar hervorgeht, ist diese ursprüngliche Laboreichung für Schnee jedoch ungeeignet. Es ist also unvermeidlich, die Eichung der Flachbänder direkt im Schnee vorzunehmen. Dies kann in Bezug auf die Schneedichte gut realisiert werden, jedoch ist die Eichung für die Feuchtemessung bedeutend schwieriger.

Eine weitere Unsicherheit besteht auch noch bezüglich des Wettereinflusses auf die Snowpower-Messungen. Wir haben Tagesschwankungen festgestellt, welche zumindest teilweise auf die Besonnung des Sensors beziehungsweise der Messeinheit zurückzuführen sind. Ausserdem haben die Resultate gezeigt, dass an Tagen mit Schneefall oder starker Raureifbildung die Dichte und der Schneewasserwert überschätzt werden. In solchen Situationen ist das gesamte Band – also auch der Teil, welcher in der Luft hängt – kurzzeitig schneebedeckt, was zu einer Überschätzung der Dielektrizitätskonstante führt.

6. Schlussfolgerungen und Ausblick

Die Testmessungen auf dem Weissfluhjoch, Davos, haben gezeigt, dass der neue Sensor grundsätzlich in der Lage ist, die Veränderung der Schneedichte über eine Wintersaison zu messen. Unsicherheiten bestehen im Moment noch bezüglich der optimalen Wahl der Messfrequenzen und der Optimierung der Kalibrationskonstanten. Eine vertiefte Auswertung der Messergebnisse des letzten Winters sowie weitere Testmessungen im Winter 2005/06 sollen diesbezüglich Fortschritte bringen. Auch muss das Rauschen, welches durch meteorologische Einflüsse verursacht wird, noch besser in den Griff bekommen werden.

Für die reine Bestimmung des Schneewasserwerts glauben wir, dass der Snowpower-Sensor eine mit anderen automatischen Methoden (Schneekissen, Kombination von gemessener Schneehöhe und simulierter Schneedichte) vergleichbare Genauigkeit erreichen kann. Die Stärke des Sensors liegt jedoch darin, dass zusätzlich zur Dichte und dem Schneewasserwert auch der Flüssigwassergehalt der Schneedecke gemessen wird. Dies ist einerseits für hydrologische Fragestellungen interessant, weil damit der Zeitpunkt der Sättigung und des ersten Drainierens der Schneedecke festgestellt werden kann. Andererseits kann diese Zusatzinformation auch für die Gefahrenbeurteilung bezüglich Nassschneelawinen von bedeutendem Interesse sein. Aus diesem Grund verfolgt das SLF die Weiterentwicklung des Sensors und sieht ein Potenzial für die Anwendung des Sensors sowohl für Forschungsprojekte als auch für das Monitoring.

Auch wenn die Messungen des Winters 2004/05 ohne Unterbruch gelaufen sind, so ist es noch verfrüht, Aussagen über die Lebensdauer oder Langzeitperformance des Sensors zu machen. Hierzu müssen noch weitere Erfahrungen gesammelt werden. Zu diesem Zweck will das SLF auch in den kommenden Jahren und an mehreren Standorten den Snowpower-Sensor weitertesten.

Literatur

Denoth, A., 1994: An electronic device for long-term snow wetness recording. Ann. Glaciol. 19, 104–106.

Huebner, C., A. Brandelik, G. Doepke, S. Wunderle, F. Rau, M. Braun, F. Weber. 1997: A New Method for Snow Moisture Sensing. In Wunderle, S., ed. Proc. of the EARSeL Workshop Remote Sensing of Land Ice and Snow, 17–18 April 1997, Freiburg, Germany, pp. 103–109.

NRCS, 2003: SNOTEL – Snowpack Telemetry. National Water and Climate Center; Natural Resources Conservation Service, Portland, OR; www.wcc.nrcs.usda.gov.

Paquet, E., Laval, M.-T., 2005: Retour d'expérience et perspectives d'exploitation des Nivomètres à Rayonnement Cosmique d'EDF; SHF – section Glaciologie-Nivologie réunion du 9 mars 2005, Grenoble F, 9 p.

Anschrift derVerfasser:
Manfred Stähli, Ingo Völksch, Wolfram Sommer, Roland Meister
Eidgenössisches Institut für Schnee- und Lawinenforschung
Flüelastrasse 11
CH-7260 Davos Dorf
manfred.staehli@wsl.ch
ingo.voelksch@w sl.ch
meister@slf.ch

Sommer Mess-Systemtechnik
Strassenhäuser 27
A-6842 Koblach
sommer@sommer.at