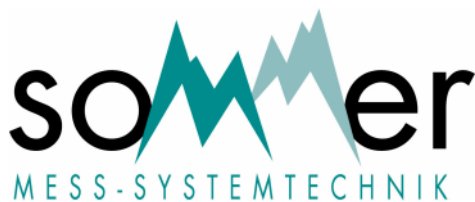


Snow Pack Analyser (SPA) zur Bestimmung des Schneewasseräquivalents und des Flüssigwasseranteils

Dokumentversion: V1.0.0

Stand: März 2010



Sommer Mess-Systemtechnik

Sommer GmbH & Co. KG
Straßenhäuser 27, A-6842 Koblach, Österreich
Tel +43 5523 55989 Fax +43 5523 55989 19
www.sommer.at office@sommer.at

Snow Pack Analyser (SPA) zur Bestimmung des Schneewasseräquivalents und des Flüssigwasseranteils.

Wolfram SOMMER¹, Reinhard FIEL¹

¹ Sommer Mess-Systemtechnik, Straßenhäuser 27, A-6842 Koblach, Österreich

1. ABSTRACT

Eine verbesserte Bestimmung der räumlichen Verteilung des Schneewasseräquivalents (SWE) ist eine der Hauptaufgaben in der aktuellen Schneeforschung. Die Quantifizierung der zeitlichen und räumlichen Variabilität des SWE ist entscheidend, um den Betrieb von Speicherkraftwerken, die Vorhersage von Naturgefahren (Lawinen, Hochwasser, Hangrutschungen) sowie den Schutz der Infrastruktur in alpinen Lagen zu verbessern.

Der Snow Pack Analyser (SPA) ist ein automatisches Messsystem, um die Charakteristik einer Schneedecke bestimmen zu können. Entlang von Flachbandsensoren wird die komplexe Impedanz bei mindestens zwei Frequenzen gemessen, um die Schneedichte, das Schneewasseräquivalent und den Flüssigwasseranteil direkt vor Ort zu bestimmen

Das System kann mit bis zu vier Sensoren betrieben werden. Die Sensoren werden entweder geneigt durch die komplette Schneedecke angebracht oder sie werden horizontal am Boden oder in festgelegten Höhen installiert. Die Kombination von mehreren Sensoren ermöglicht es, die Messergebnisse für die jeweiligen Fragestellungen zu optimieren.

Die Bestimmung des Flüssigwasseranteils ist einzigartig. In Tauperioden nimmt der Flüssigwasseranteil zu. Dadurch ist es möglich, den Zeitpunkt des beginnenden Wasseraustritts vorherzusagen. Dies kann eine entscheidende Information zur Bewertung von Speichern, zur Hochwasservorhersage oder zur Einschätzung der Lawinensituation darstellen.

2. EINLEITUNG

Ein effizientes Energiemanagement von Wasserkraftwerken benötigt die genaue Vorhersage der Wassermengen, die sich durch die Schneeschmelz und den Austritt von Wasser aus der Schneedecke ergeben. Zur Zeit liegt die Genauigkeit der Schmelzwasserprognose für Stauseen zwischen 30 und 50 %. Als Beispiel würde eine Verbesserung der Vorhersage von 10 % für das Einzugsgebiet 'La Grande Rivière' in Quebec (Kanada) einer Leistung von 2,2 TWh entsprechen. Eine verbesserte Genauigkeit für Messungen des Schneewasseräquivalents steigern somit die Wirtschaftlichkeit von Wasserkraftwerken und auch von Trinkwasserreservoirs.

Eine Vorhersage des Austrittszeitpunktes von Wasser aus der Schneedecke ist wichtig für die Verhinderung von Überflutungen. Dabei sind nicht nur Gebirgsregionen sondern auch die Unterläufe der Flüsse von Überflutungen betroffen. Zum Beispiel ist es bekannt, dass ein schnelles Abschmelzen der Schneedecke in den Alpen eine Ursache für Überschwemmungen entlang des gesamten Rheins ist. Daher können die genaue Überwachung und Modellierung des Schneewasseräquivalents, des Flüssigwassers und des Zeitpunkts des beginnenden

Wasseraustritts aus der Schneedecke die Genauigkeit der Überflutungsvorhersage verbessern und einen Beitrag zur Verminderung der Auswirkungen leisten.

Der Flüssigwasseranteils der Schneedecke ist ein neuer Parameter und eine Ergänzung zum Schneewasseräquivalent. Der Anteil des Wassers im Schnee ist zum Beispiel ein Indikator für das Auftreten von Nassschneelawinen im Frühling.

Zusätzlich kann durch eine kontinuierliche Messeinrichtung die gefährliche und teure Probennahme im winterlichen Gelände minimiert werden.

3. HISTORISCHER ÜBERBLICK

Die anfängliche Entwicklung des SPA erfolgte durch das internationale EU Forschungsprojekt SNOWPOWER [1][2][3] in den Jahren 2001 bis 2004. Das Ziel des Projektes war es, die Genauigkeit von Füllungsprognosen von Stauseen um 20 % zu verbessern, indem Satellitendaten mit Werten vom Boden kalibriert werden, die nach einer neuen Messmethode aufgezeichnet werden.

Der neue elektromagnetische Sensor ermöglichte es eine Fläche von bis zu 2000 m² zu betrachten. Anhand der Versuchsergebnisse mit einem Laborgerät wurde ein neues Feldinstrument entwickelt. Die Berechnung des Schneewasseräquivalents und der Schneedichte erfolgte mit einer PC-Software.

Während drei Wintersaisonen wurden Versuche in zwei Testfeldern in der Schweiz und in Kanada durchgeführt. Die Messanlage am Weissfluhjoch in Davos wurde vom Schweizer Lawinenforschungsinstitut SLF betrieben. Es handelte sich um ein hochalpines Messfeld mit harten Winterbedingungen und Temperaturen unterhalb von -20 °C und teilweise Windgeschwindigkeiten von über 30 m/s. Zwischenzeitliches Schmelzen der Schneedecke war selten. Der Schmelzvorgang begann ca. im April, wobei die Schneedecke vom oben nach unten durchfeuchtet wurde. Das zweite Versuchsfeld befand sich in Bras d'Henri in Quebec [4]. Die Bedingungen waren arktisch, die Geländeform relative flach und die Schneedecke blieb relative trocken.

Die Schneehöhe und Schneetemperaturen wurden an beiden Versuchsfeldern kontinuierlich und automatisch aufgezeichnet und mit der Lufttemperatur, der Windgeschwindigkeit, der relativen Feuchte, der Globalstrahlung und dem Niederschlag ergänzt.

Am Weissfluhjoch wurde zweimal monatlich ein detailliertes Schneeprofil genommen. Dabei wurde die Schneedichte, das Wasseräquivalent, die Schneetemperaturen, die Durchfeuchtung und die Kornform aufgezeichnet. Der Ausfluss von Wasser aus der Schneedecke wurde mit einem Lysimeter gemessen.

In Kanada wurde die Schneehöhe, die Schneedichte und somit das SWE anhand von Bohrprofilen zweimal pro Woche gemessen und ein Schneeprofil genommen.

Mit Hilfe dieser genauen Datengrundlage wurde der Prototyp des Messsystems entwickelt.

In den Jahren 2004 bis 2008 wurde das Messsystem von der Firma Sommer Mess-Systemtechnik kontinuierlich weiterentwickelt. Die Sensoren und die Installation wurde überarbeitet, der Berechnungsalgorithmus wurde verbessert und die Mess- und Steuerungseinheit so umgestaltet, dass die Messergebnisse im Feld berechnet werden können. Im Jahr 2009 wurde die Entwicklung des SPA abgeschlossen.

4. SNOW PACK ANALYSER (SPA)

Das SPA ist ein vollständiges Messsystem zur Bestimmung der Schneedichte, des Schneewasseräquivalenz und des Flüssigwasseranteils der Schneedecke. Das Messsystem besteht aus:

- SPA-Sensor: 6 cm breites und 5 m langer Flachbandsensor mit drei Kupferleitern ummantelt mit Kunststoff.
- Mess- und Steuerungseinheit: Durchführung der Messung, Umschalten zwischen mehreren Sensoren und die Berechnung der Schneeparameter
- Ultraschalllaufzeit Schneehöhenmessung
- Aufhängung und Abspannvorrichtung für eine aufrechte und fixe Positionierung von geneigten und horizontalen Sensoren.

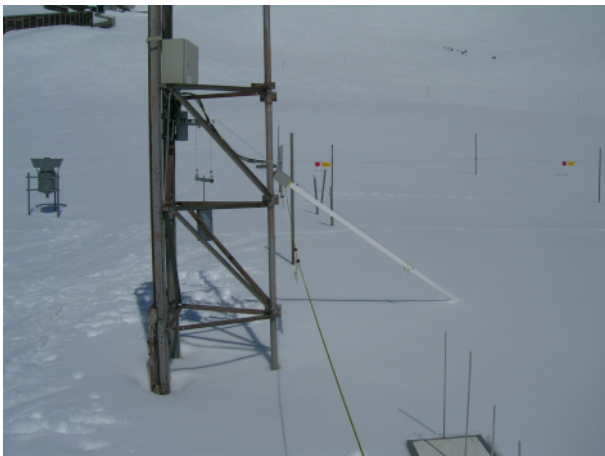


Fig. 1: Versuchsfeld am Weissfluhjoch (Schweiz)

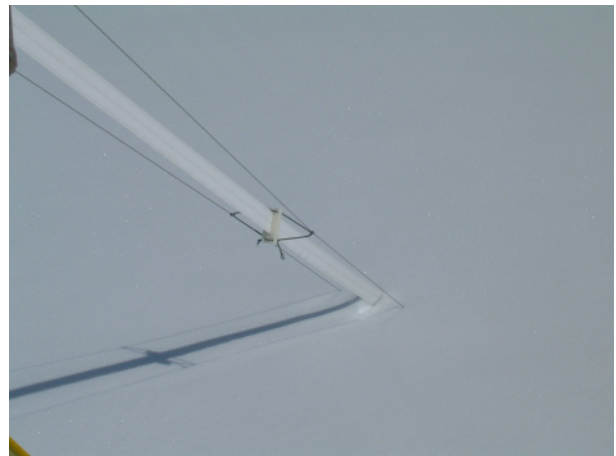


Fig. 2: SPA Sensor beim Eintritt in die Schneedecke

4.1. Aufbau des SPA-System

Das SPA-System kann mit bis zu vier Sensoren betrieben werden. Die Sensoren werden entweder geneigt durch die gesamte Schneedecke angebracht, oder sie werden horizontal in einer festen Höhe gespannt. Die Anzahl und die Installationsweise hängt von den gewünschten Informationen ab.

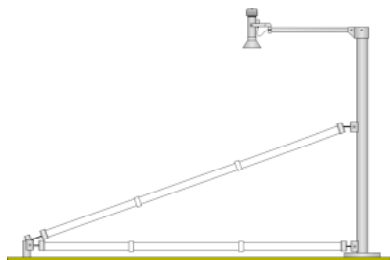
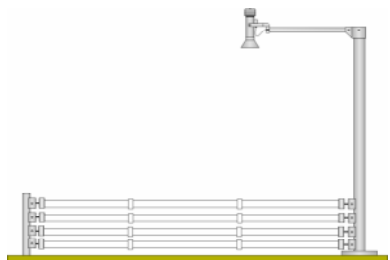

4.1.1. Integrale Messung der Schneedecke

Um die integralen Schneeparameter der Schneedecke zu messen, wird der Sensor geneigt von einem Bodenanker zu einem Mast hin gespannt. Der geneigte Sensor bestimmt die Schneedichte, das Wasseräquivalent und die Eis- und Wasseranteile der gesamten Schneedecke.

4.1.2. Schneeparameter in bestimmten Höhen

Horizontal gespannte Sensoren ergeben die Schneedichte und die Anteile in der jeweiligen Höhe. Die Sensoren können entweder am Boden oder in festgelegten Höhen installiert werden.

4.1.3. Möglichkeiten des Aufbaus

Standardaufbau	Profilaufbau	Flächenaufbau
<p>Ein geneigter und ein horizontaler Sensor werden gemeinsam installiert. Der geneigte Sensor ermittelt die Parameter der gesamten Schneedecke, der horizontale Sensor liefert zusätzliche Informationen vom Boden oder einer bestimmten Höhe.</p> <p>Anwendungsgebiete:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Speichermanagement • Hochwasserschutz  <p>Fig. 3: Standardaufbau</p>	<p>Bis zu vier Sensoren werden horizontal am Boden oder in festgelegten Höhen gespannt. Der Fortschritt des Schmelzvorgangs kann für die Schneedecke betrachtet werden und die Messdaten können in einem Profil zusammengefügt werden.</p> <p>Anwendungsgebiete:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Hochwasserschutz • Vorhersage von Nassschneelawinen  <p>Fig. 4: Profilaufbau</p>	<p>Vier Sensoren werden sternförmig installiert. Die Messwerte der einzelnen Sensoren werden gemittelt. Die Messwerte besitzen dadurch eine große Flächeninformation, die sehr gut mit der Pixelgröße von Satellitendaten übereinstimmt.</p> <p>Anwendungsgebiete:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Kalibrierung von Satellitendaten • Kalibrierung von numerischen Modellen  <p>Fig. 5: Flächenaufbau in Sternform</p>

4.2. Schneeparameter

Die Messwerte in den folgenden Diagrammen sind vom Versuchsfeld am Weissfluhjoch in Davos (Schweiz). Es wird von Schweizer Institut für Lawinenforschung SLF betrieben. Die Meereshöhe beträgt ca. 2500 m.

Die Referenzwerte stammen einerseits von einem 3x3 m Schneekissen. Andererseits wurden alle zwei Wochen manuell Schneeprofile genommen. Diese Messwerte werden im folgenden mit den Messwerten des SPA verglichen.

SPA	Manuelle Messungen	Schneekissen
<ul style="list-style-type: none"> • Wasseräquivalent • Schneedichte • Flüssigwasseranteil • Schneehöhe 	<ul style="list-style-type: none"> • Wasseräquivalent • Schneedichte • Schneehöhe 	<ul style="list-style-type: none"> • Wasseräquivalent

4.2.1. Schneewasseräquivalent (SWE)

Der Verlauf der SWE Daten stimmt mit der Referenzmessungen des Schneekissen und den manuellen Ergebnissen überein. Die Beziehung zwischen SWE und der Schneehöhe entspricht dem natürlichen Vorgang während der Anlagerung der Schneedecke. Nach einem Schneefall nimmt dabei die Schneehöhe ab, da sich die Schneedecke komprimiert, das SWE jedoch bleibt konstant. Mit dem Beginn der Abschmelzperiode im April nehmen die Schneehöhe und das SWE ab.

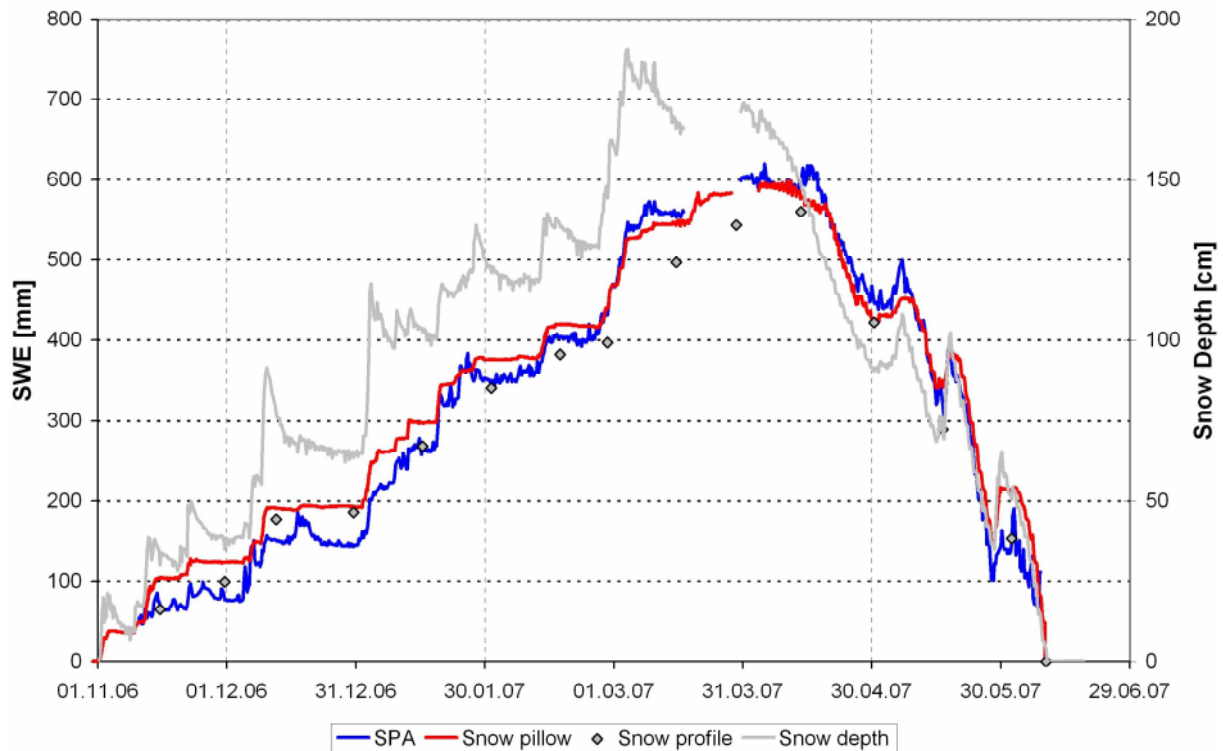


Fig. 6: Schneewasseräquivalent von SPA, Schneekissen und manuellen Messungen.

4.2.2. Schneedichte

Die gemessenen Schneedichten des SPA, des Schneekissen und der manuellen Messungen sind sehr ähnlich. Während eines Schneefalls nimmt die Dichte ab, um während der Komprimierung der Schneedecke wieder zuzunehmen.

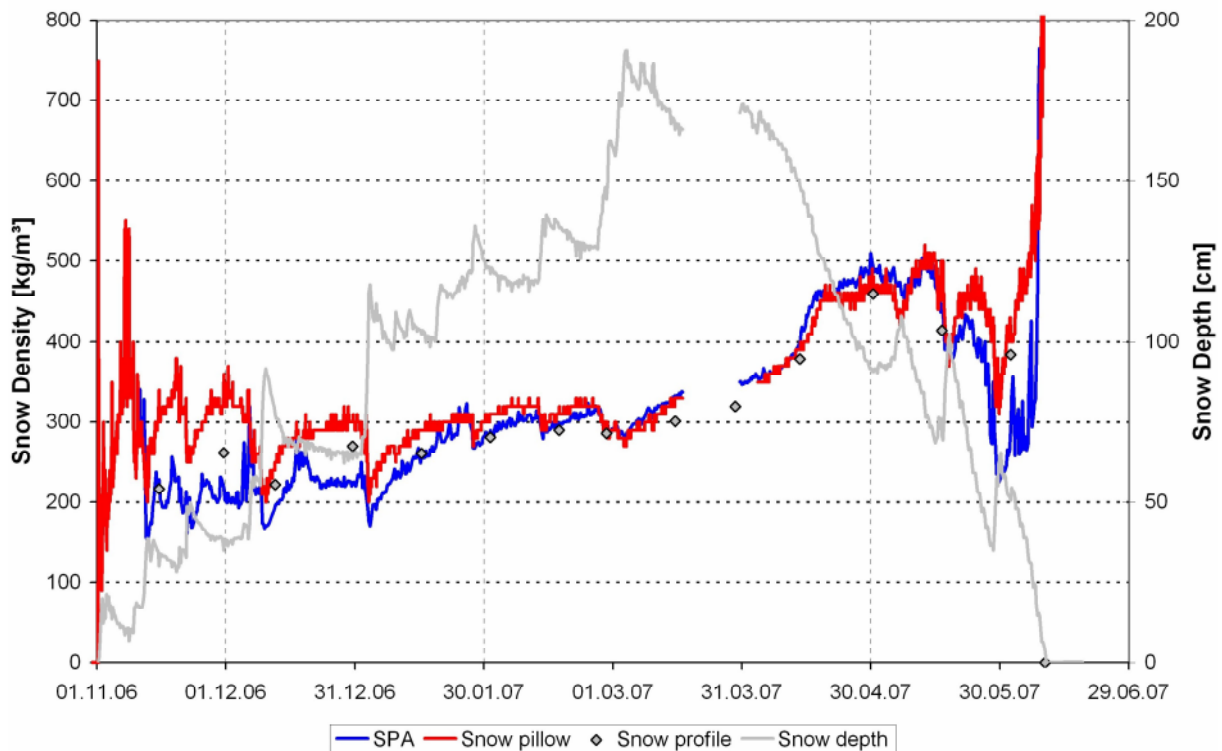


Fig. 7: Schneedichte von SPA, Schneekissen und manuellen Messungen.

4.2.3. Flüssigwasseranteil der Schneedecke

Der Flüssigwasseranteil in der Schneedecke bleibt bis in die Mitte des April relative konstant. Mit dem Beginn der Schmelzperiode tritt ein signifikanter Anstieg auf. Die Werte am Ende der Daten zeigen tägliche Variationen, wobei der Flüssigwasseranteil täglich ansteigt und durch Ausfließen aus der Schneedecke wieder abnimmt.

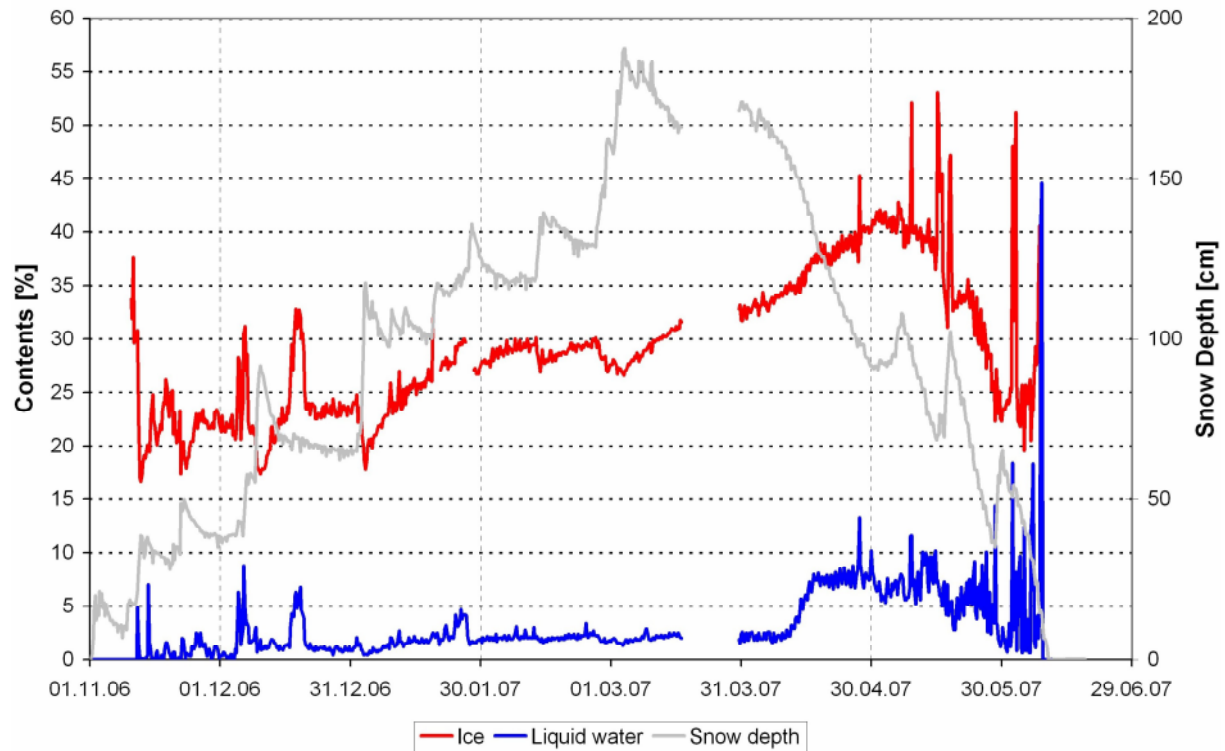


Fig. 8: Eis- und Flüssigwasseranteil der Schneedecke.

4.2.4. Vorhersage des Wasseraustritts / run-off

Anfangs März (Punkt A) wird die Schneedecke komprimiert während das SWE konstant bleibt. Der Beginn der Schmelzperiode ist durch die Abnahme des SWE definiert (Punkt B). Zu diesem Zeitpunkt beginnt das Wasser aus der Schneedecke zu fließen. Ein signifikanter Anstieg des Flüssigwasseranteil kann jedoch schon vor diesem Zeitpunkt gesehen werden (Punkt C). Die Messung des Flüssigwasseranteils kann somit als Vorhersage für den Zeitpunkt des Wasseraustritts verwendet werden.

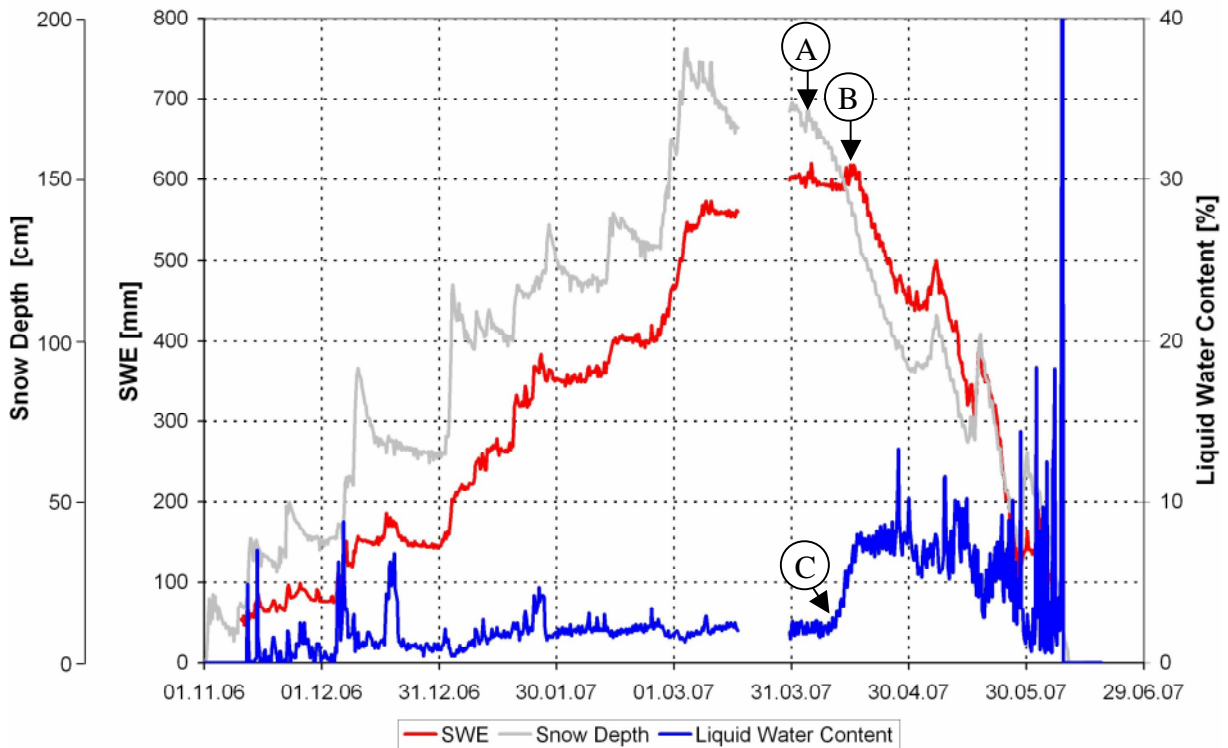


Fig. 9: Bestimmung des Zeitpunkts des beginnenden Wasseraustritts aus der Schneedecke.

5. ZUSAMMENFASSUNG

Das SPA-System ist ein kontinuierliches Messsystem zur Ermittlung der Schneehöhe und des Wasseräquivalents vor Ort. Die einzigartige Bestimmung des Flüssigwasseranteils ermöglicht neue Anwendungen. Durch die Kombination von bis zu vier Sensoren können die Informationen entsprechend der Fragestellung optimiert werden.

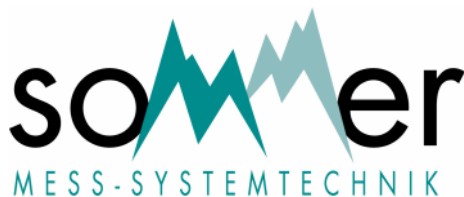
Die Vorteile des SPA-System sind:

- In-situ Messung des Schneewasseräquivalents und der Schneedichte
- Die einzigartige Bestimmung des Flüssigwasseranteils in der Schneefläche eröffnet neue Möglichkeiten.
- Eine Vorhersage des Zeitpunktes des beginnenden Wasseraustritts aus der Schneedecke hilft, das Speichermanagement, den Hochwasserschutz und die Lawinenvorhersage zu verbessern.
- Genaue Messung auch bei großen Schneemengen und unterschiedlichen Schneebedingungen.
- Messungen mit hoher Flächeninformation um numerische Modelle und Satellitendaten kalibrieren zu können.
- Dauerhafte Überwachung anstelle von manuellen Messungen
- Einfache Installation auch in Hanglagen.

6. REFERENZEN:

- [1] Stähli, M., Völksch, I., Sommer, W., und Meister, R. SNOWPOWER – ein neuer automatischer Sensor für Schneewasserwert-Messungen. Wasser-Energie-Luft, 2006 / Heft 2
- [2] Stähli, M., Gustafsson, D., Stacheder, M., Sommer, W., Schneebeli, M., Test of a new in-situ snow sensor for validation of remote sensing images at a high alpine site in eastern Switzerland, 2004
- [3] <http://www.project-snowpower.de>
- [4] Niang, M., Bernier, M., Gauthier, Y., Fortin, G., Van Bochove, E., Stacheder, M., Brandelik, A., On the Validation of Snow Densities Derived from SNOWPOWER Probes in a Temperate Snow Cover in Eastern Canada: First Results, 2003

7. KONTAKT UND WEITERE INFORMATIONEN



Sommer GmbH & Co KG
Straßenhäuser 27
A-6842 Koblach
Österreich
Tel +43 5523 55989 – 0
Fax +43 5523 55989-19
office@sommer.at
www.sommer.at