



## Anwendungen der Fernerkundung für die Schneehydrologie

Helmut Rott <sup>1</sup>, Thomas Nagler <sup>2</sup>, Dana-Marie Floricioiu <sup>3</sup>

<sup>1</sup> *Institut für Meteorologie und Geophysik, Universität Innsbruck, Innrain 52, A-6020 Innsbruck*

<sup>2</sup> *Institut für Meteorologie und Geophysik, Universität Innsbruck, Innrain 52, A-6020 Innsbruck*

<sup>3</sup> *Institut für Meteorologie und Geophysik, Universität Innsbruck, Innrain 52, A-6020 Innsbruck*

VGI – Österreichische Zeitschrift für Vermessung und Geoinformation **84** (1), S. 51–54

1996

Bib<sub>T</sub>E<sub>X</sub>:

```
@ARTICLE{Rott_VGI_199613,  
Title = {Anwendungen der Fernerkundung f{"u}r die Schneehydrologie},  
Author = {Rott, Helmut and Nagler, Thomas and Floricioiu, Dana-Marie},  
Journal = {VGI -- {"0}sterreichische Zeitschrift f{"u}r Vermessung und  
Geoinformation},  
Pages = {51--54},  
Number = {1},  
Year = {1996},  
Volume = {84}  
}
```



## Literatur:

- [1] Adams, J. B. und Milton O. S. (1986), Spectral Mixture Modeling: A New Analysis of Rocks and Soil Types at the Viking Lander 1 Site, Journal of Geophysical Research, Vol. 91, No. B8, pp 8098 – 8112.
- [2] Adams, J. B., Smith, M. O und Gillespie, A. R. (1989), Simple Model for Complex Natural Surfaces: A Strategy for the Hyperspectral Era of Remote Sensing, Proceedings of IGARSS'89, Vol. 1, pp 16 – 21.
- [3] Gillespie, A. R. (1992), Spectral Mixture Analysis of Multispectral Thermal Infrared Images, Remote Sensing of Environment, 42:137 – 145.
- [4] Mertes, L. A. K., Smith, M. O. und Adams, J. B. (1993), Estimating Suspended Sediment Concentrations in Surface Wa-

- ters of the Amazon River Wetlands from Landsat Images, Remote Sensing of Environment, 43:281 – 301.
- [5] Shipman, H. und Adams, J. B. (1987), Detectability of Minerals on Desert Alluvial Fans using Reflectance Spectra, Journal of Geophysical Research, Vol. 92, No. B10, pp 10.391 – 10.402.
- [6] Smith, M. O., Ustin, L. S., Adams, J. B. und Gillespie, A. R. (1990), Vegetation Deserts: I. A Regional Measure of Abundance from Multispectral Images, Remote Sensing of Environment, 31:1 – 26.

## Anschrift des Autors:

Florian Kressler, Abteilung Umweltplanung, Forschungszentrum Seibersdorf, 2444 Seibersdorf.



## Anwendungen der Fernerkundung für die Schneehydrologie

Helmut Rott, Thomas Nagler und Dana-Marie Floricioiu, Innsbruck

## Zusammenfassung

Es wird ein Überblick über Anwendungen satellitengetragener Sensoren zur Erfassung von Ausdehnung und Eigenschaften der Schneedecke gegeben. Ein Verfahren zur Schneekartierung im Hochgebirge wird vorgestellt, das auf multitemporalen SAR Aufnahmen basiert. Das Potential von Schneeanalysen aus SAR-Daten wird anhand einer Fallstudie nachgewiesen, bei der tägliche Abflüsse zufolge Schnee- und Gletscherschmelze berechnet werden.

## Abstract

Possibilities and applications of spaceborne sensors for monitoring extent and properties of the snow cover are discussed. A method for snow mapping in mountain areas by means of multitemporal SAR data is presented. The usefulness of SAR-derived snow maps for runoff modelling is demonstrated based on calculations of daily runoff due to snow- and glacier-melt in an Alpine drainage basin.

## 1. Sensoren zur Erfassung von Schnee und Eis

Für die Erfassung von Schnee und Eis bietet sich eine Vielzahl von Sensoren im Sichtbaren, im Infraroten und im Mikrowellenbereich an. Einige der wichtigsten Sensoren sind in Tab. 1 verzeichnet. Aus Bilddaten des AVHRR auf NOAA-Satelliten mit 1 km räumlicher Auflösung werden seit zwei Jahrzehnten operationell Schneekarten erstellt, die für Klimastudien und für die Modellierung von Schneeschmelz-Abflüssen in großen Einzugsgebieten genutzt werden (Rango, 1986). Für kleinere Einzugsgebiete im Gebirge ist die Auflösung von AVHRR nicht ausreichend. Höher auflösende Systeme im optischen Bereich (Landsat TM, SPOT HRV) sind für die Schneekartierung in Einzugsgebieten ab Größen von einigen Quadratkilometern gut geeignet; Nachteile für operationelle Anwendungen resultieren jedoch aus den zeitlichen Abständen zwischen zwei Aufnahmen, die neben dem Aufnahmezyklus auch

von der Bewölkung abhängen. SPOT HRV und Landsat TM bieten auch gute Möglichkeiten zur Kartierung von Gletschergrenzen und von Schnee- und Eisflächen auf Gletschern. In TM Bildern kann man Schnee und Wolken eindeutig trennen, da das Reflexionsvermögen von Schnee in den Spektralkanälen 5 (1.55–1.75  $\mu\text{m}$ ) und 7 (2.08–2.35  $\mu\text{m}$ ) nur wenige Prozent beträgt, während das Reflexionsvermögen von Wolken hoch ist (Rott and Markl, 1989; Rott, 1994).

Mikrowellen dringen in Schnee und Eis ein und liefern deshalb Information über Eigenschaften des Schneevolumens; außerdem kann man mit Mikrowellensensoren die Erdoberfläche unter allen Wetterbedingungen beobachten. Wegen der starken dielektrischen Verluste von Wasser wird das Reflexions- und Emissionsverhalten der Schneedecke im Mikrowellenbereich wesentlich vom Gehalt an flüssigem Wasser beeinflusst. Bei nassem Schnee dringen die Mikrowellen im C-Band ( $f=5.3$  GHz, SAR auf ERS-1 und RADAR-

Satellit	Sensor	Auflösung	zeitl. Folge	Schneeparameter
AVHRR	NOAA	1 km	12 h	Fläche, Albedo, Temp.
Radiometer	Meteosat	2.5/5 km	0.5 h	Fläche, Albedo, Temp.
TM	Landsat	30 m	16 d	Fläche, Albedo, Temp.
HRV	SPOT	10/20 m	3 d*	Fläche, Albedo
SAR	ERS-1 / -2	25 m	17/35 d	Fläche <sup>1</sup>
SAR	RADARSAT	25 m	3 d*	Fläche <sup>1</sup>
SSM/I	DMSP	12.5/25 km	12 h	Fläche <sup>2</sup> , WE

Tabelle 1: Satellitensensoren für Analysen der Schneebedeckung.

\* Kürzest mögliche Aufnahmefolge in mittleren Breiten bei entsprechender Programmierung.

<sup>1</sup> Nur für nassen Schnee.

<sup>2</sup> Nur für trockenen Schnee.

AVHRR – Advanced Very High Resolution Radiometer

TM – Thematic Mapper

HRV – High Resolution Visible

SAR – Radar mit synthetischer Apertur

SSM/I – Special Sensor Microwave/Imager

ERS – European Remote Sensing Satellite

DMSP – US Defense Meteorological Satellite Program

WE – Wasseräquivalent

SAT) nur wenige Zentimeter in die Schneedecke ein, das rückgestreute Signal ist schwach. Dies ermöglicht die Kartierung schmelzenden Schnees. Für trockenen Schnee ist die Eindringtiefe um etwa zwei Zehnerpotenzen größer. Bei Frequenzen  $f < 10$  GHz ist die trockene Schneedecke weitgehend transparent; trockene Schneeflächen sind deshalb in SAR Bildern im allgemeinen nicht zu erkennen. Eine Ausnahme sind Firngebiete auf Gletschern (Rott and Nagler, 1994).

Bei höheren Frequenzen ( $f > 20$  GHz) wird die Mikrowellenstrahlung durch trockene Schneedecke zufolge Volumsstreuung erheblich modifiziert. Aus technischen Gründen sind bei diesen Frequenzen jedoch keine SAR-Systeme im Einsatz, sondern nur abtastende Mikrowellenradiometer wie das SSM/I, mit denen man von Satelliten aus bestenfalls eine Auflösung im Bereich von mehreren Kilometern erreicht. Aus Messungen satellitengetragener Mikrowellenradiometer kann man das Wasseräquivalent einer trockenen Schneedecke bestimmen (Nagler and Rott, 1992); in Kanada werden derartige Verfahren operationell eingesetzt (Goodison, 1989). Wegen Einflüssen der Morphologie der Schneedecke auf die Streuung von Mikrowellen müssen die Verfahren zur Bestimmung des Wasseräquivalents regional geeicht werden (Nagler and Rott, 1992).

## 2. Ein Verfahren zur Schneekartierung im Gebirge mittels SAR

Die zeitliche Dynamik der Schneeflächen während der Schmelzperiode ist für hydrologische

Anwendungen besonders interessant. Wegen des deutlichen Kontrasts im Rückstreuvermögen zwischen feuchtem Schnee und schneefreien Oberflächen kann man mit satellitengetragener SAR im C-Band und X-Band schmelzende Schneeflächen kartieren. Für die Schnee-Erkennung ist es im allgemeinen ausreichend, wenn eine Schicht der Schneedecke feucht ist. Bei Vergleichen von Tag- und Nachtaufnahmen des SAR auf ERS-1 war für nassen Frühjahrsschnee kein nennenswerter Einfluß der gefrorenen Kruste auf das Rückstreuverhalten erkennbar (Rott and Nagler, 1993; 1994).

Wegen der starken geometrischen Verzerrung in SAR Bildern zufolge der Topographie sind mehrere Arbeitsschritte notwendig, um aus SAR Daten digitale Schneekarten zu erstellen (Rott and Nagler 1994; 1995). Unser Klassifizierungs-Algorithmus, der auf multitemporalen SAR-Daten beruht, wurde mit ERS-1 SAR-Daten des Ötztals entwickelt und im Rahmen mehrerer Meßkampagnen verifiziert. SAR Bilder von Terminen ohne Schneebedeckung oder mit trockener Schneedecke werden als Referenz verwendet. Es wird die Ratio der Rückstreuoeffizienten  $\sigma^\circ$  aus dem Bild mit feuchter Schneedecke zu  $\sigma^\circ$  des Referenzbildes berechnet. Als Schwellwert der Ratio wird  $-3$ dB zur Trennung der Schneeflächen und schneefreien Flächen verwendet. Um die Informationsverluste zufolge Bildüberlagerung auf Berghängen, die in Richtung SAR orientiert sind, zu reduzieren, werden für die Erstellung einer Schneekarte ERS SAR Bilder von aufsteigender (Überflug 11:00 MEZ) und absteigender (22:30 MEZ) Umlaufbahn kombiniert. Ein wichtiger Schritt ist weiters die Geokodierung

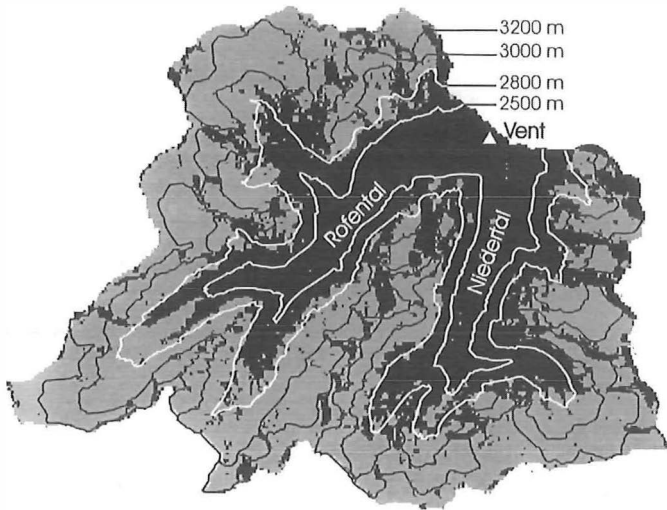


Abb. 1: Karte der Schneebedeckung des Einzugsgebiets der Venter Ache am 1. Juni 1992 aus ERS-1 SAR Daten. Die eingezeichneten Schichtlinien entsprechen den Grenzen der einzelne Höhenzonen für die Abflußberechnungen

der SAR Daten unter Berücksichtigung der Topographie; dafür wird neben Sensorparametern ein hochauflösendes digitales Höhenmodell benötigt. Vergleiche der SAR-Schneekarten mit Analysen aus Landsat TM-Daten und aus Bodenmessungen zeigen gute Übereinstimmung.

### 3. Abflußmodellierung unter Verwendung von Schneekarten aus SAR-Daten

Die Nutzung von Karten der Schneebedeckung aus SAR-Daten wurde an Hand von Abflußberechnungen in den Einzugsgebieten der Venter Ache (164 km<sup>2</sup>) und Rofenache (98 km<sup>2</sup>) oberhalb von Vent im Ötztal überprüft. 38% des Einzugsgebiets der Venter Ache sind vergletschert; der gesamte Höhenbereich erstreckt sich von 1890 m bis 3771 m. Die Schneekarte für den 1. Juni 1992 (Abb. 1) wurde aus den ERS-1 SAR Bildern von aufsteigender und absteigender Umlaufbahn erstellt. Die Schneegrenze variierte zwischen 2600 m und 2900 m, die Gletscher waren vollständig schneebedeckt.

Die täglichen Abflüsse wurden für die Periode vom 1. Mai 1992 bis 30. September 1992 berechnet. Die Berechnungen beruhen auf dem Schneeschmelz-Abflußmodell (SRM) (Martinec et al., 1994). Der Abfluß eines Tages wird jeweils

aus dem gemessenen oder berechneten Abfluß des Vortages und aus den Beiträgen von Schnee- und Gletscherschmelze und von Regen berechnet. Grundlage für die Berechnung der Schneeschmelze waren die Karten der Schneebedeckung auf Gletschern und auf unvergletscherten Flächen sowie Meßwerte der Lufttemperatur. Für die Berechnungen wurde das Einzugsgebiete in insgesamt 5 Höhenzonen und weiters in vergletscherte und unvergletscherte Gebiete unterteilt. Zur Abschätzung des Gebietsniederschlags standen lediglich Messungen an der Station Vent zur Verfügung, was wegen der räumlichen Variabilität zur erheblichen Fehlern führen kann. Insgesamt standen Schneekarten aus SAR-Daten von 5 Terminen im Abstand von jeweils 5 Wochen zur Verfügung. Die Abnahme der Schneebedeckung zwischen diesen Terminen wurde für die einzelnen Teilflächen linear interpoliert.

Die berechneten und gemessenen Abflüsse für das Einzugsgebiet der Rofenache (Abb. 2) zeigen gute Übereinstimmung ( $R^2=0.885$ ; volumetrische Differenz zwischen gemessenem und berechnetem Abfluß für die gesamte Periode: 2.39%). Ausgangswert für die Simulationsrechnungen war der gemessene Abfluß am 30. April 1992, als weitere Eingabedaten dienten die SAR-Schneekarten und die täglichen Messungen von Lufttemperatur und Niederschlag an der Station Vent (Rott and Nagler, 1995). Abgesehen von kurzfristigen Ereignissen zufolge von Niederschlägen wird der Abflußverlauf von den Berechnungen gut wiedergegeben, einschließlich des starken Anstiegs Mitte Juli und des Abfalls Ende August. Für den operationellen Ein-

fluss

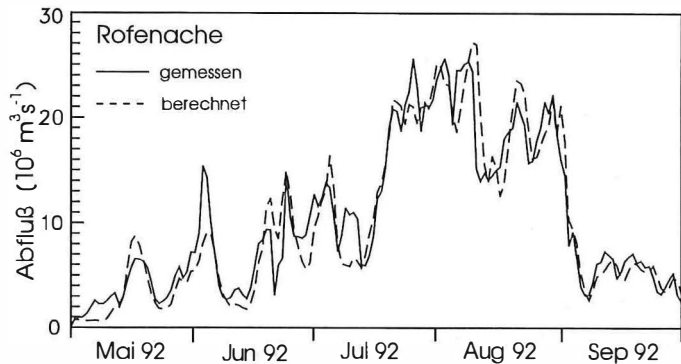


Abb. 2: Tageswerte des berechneten und gemessenen Abflusses für das Einzugsgebiet der Rofenache

satz werden Karten der Schneebedeckung in zeitlichen Abständen von etwa 7 bis 10 Tagen benötigt. Da diese Aufnahmefolge in Hinkunft bei Nutzung von ERS und RADARSAT gesichert ist, bietet satellitengetragenes SAR eine wertvolle Datenquelle für die operationelle Hydrologie.

#### Dank

Die Untersuchungen mit ERS SAR werden im Rahmen der Nationalen Programme der Weltraumforschung der Österreichischen Akademie der Wissenschaften gefördert.

#### Literatur

- [1] Goodison B.E. (1989) Determination of areal snow water equivalent on the Canadian praries using passive microwave satellite data. Proc. IGARSS'89, IEEE, 1243-1246.
- [2] Martinec J., Rango A. and R. Roberts (1994) Snowmelt Runoff Model (SRM) User's Manual. Geographica Bernensia P29, Univ. Bern, 65 pp.
- [3] Nagler T. and H. Rott (1992) Development and intercomparison of snow mapping algorithms based on SSM/I data. Proc. IGARSS'92, IEEE, 812-814.

- [4] Rango A. (1986) Progress in snow hydrology remote sensing research. IEEE Trans. Geosc. Rem. Sens. 24, 47-53.
- [5] Rott H. (1994) Thematic studies in Alpine areas by means of polarimetric SAR and optical imagery. Adv. Space Res. 14(3), 217-226.
- [6] Rott H. and G. Markl (1989) Improved snow and glacier monitoring by the Landsat Thematic Mapper. Monitoring the Earth's Environment, ESA SP-1102, 3-12.
- [7] Rott H. and T. Nagler (1993) Snow and glacier investigations by ERS-1 SAR - first results. Proc. of First ERS-1 Symp. - Space at the Service of our Environment, ESA SP-359, 577-582.
- [8] Rott H. and T. Nagler (1994) Capabilities of ERS-1 SAR for snow and glacier monitoring in alpine areas. Proc. of Second ERS-1 Symposium ESA SP-361, 965-970.
- [9] Rott H. and T. Nagler (1995) Monitoring temporal dynamics of snowmelt with ERS-1 SAR. Proc. IGARSS'95, IEEE, 1747-1749.

#### Anschrift der Autoren:

Helmut Rott, Thomas Nagler und Dana-Marie Floricioiu, Institut für Meteorologie und Geophysik, Universität Innsbruck, Innrain 52, A-6020 Innsbruck.



## Landnutzungserhebungen aus Luftbildern als Grundlage für wasserbautechnische Planungen

Renate Bartl, Eva-Maria Eichinger, Werner Schneider, Wien

#### Zusammenfassung

Ein hydrologisches Modell zur Abflußabschätzung benötigt als Eingangsdaten die Landnutzung in den entsprechenden Einzugsgebieten. Diese wird auf Farb-Infrarot-Luftbildern interpretiert, die eine gute Differenzierung von verschiedenen Vegetationstypen und/oder von vegetationslosen Flächen erlauben. Da nur die Flächenbilanz, nicht aber die Lage der Einzelflächen von Interesse ist, bietet das Rasterstichprobenverfahren eine effiziente und zuverlässige Auswertemethode. Dabei wird die Landnutzung an allen Punkten eines im Gelände regelmäßigen Rasters interpretiert. Daraus werden im Anschluß die Flächenanteile der einzelnen Landnutzungskategorien berechnet.

#### Abstract

A hydrological model for runoff estimation requires landuse data of catchment areas as input. The interpretation of colour infrared aerial images is useful since they allow to differentiate reliably several vegetation types and/or areas without vegetation. The total area of each land use category is required for each catchment area, not the position of specific areas. Statistical raster sampling therefore seems to be an adequate method. It yields the land use class for each point of a grid regular in the terrain. From these data, the areas required are deduced.

#### 1. Einleitung

Um Überdimensionierungen bei wasserbautechnischen Planungen wie z.B. für Kanalanlagen zu vermeiden, werden möglichst exakte Daten über den maximal zu erwartenden Wasserabfluß gebraucht. Entsprechende hydrologische Modelle benötigen als Eingangsdaten die Landnutzung der Wassereinzugsgebiete in bestimmten, vorgegebenen Kategorien:

- Versiegelte Flächen
- Landwirtschaftliche Flächen mit Maisanbau
- Wiesen
- Wald (eventuell getrennt nach reinem Nadelwald und Mischwald/Laubwald)
- Sonstige landwirtschaftliche und unversiegelte Flächen.

Das vorliegende Projekt wurde im Auftrag der oberösterreichischen Landesregierung in Zusam-