

Diss. ETH No. 11248

Model-based snow cover mapping from remote sensing data for operational snowmelt runoff forecasts

A dissertation submitted to the

SWISS FEDERAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY ZURICH

for the degree of

Doctor of Natural Sciences

presented by

Charlotte A. M. Steinmeier
Diplom-Geographin

born on February 05th, 1960
citizen of Germany



accepted on the recommendation of

Prof. Dr. Olaf Kübler, examiner
Prof. Dr. Themistocles Dracos, co-examiner
Dr. Klaus Seidel, co-examiner

1995

Abstract

The present work originates in the framework of the application oriented project "Operational monitoring and forecasting of Snowmelt-Runoff by means of satellite images". It contributes to the realization of a user-oriented tool for the task defined in the project: to investigate how far it is possible and what must be done to transform the promising results of former investigations about snow monitoring into an operational tool. It addresses problems of different sensor types, data availability, classification and the integration of the results into the snowmelt-runoff model SRM.

The characteristics of different satellite-systems were analyzed in order to determine which data sets meet the given requirements. Yet from all the available remote sensing devices only the two sensors of the Landsat-system, the Multi-Spectral-Scanner (MSS) and the Thematic-Mapper (TM) sensor, and the multi-spectral data (XS) of the SPOT-satellite can deliver suitable data. No other sensors could be included since either their data is not available close to real time or the given test areas Sedrun and Tavanasa in north-eastern Switzerland are too small to use sensors with a coarser spatial resolution.

Due to the high alpine environment and mainly to the oblique viewing of SPOT all the images were first ortho-rectified to a pixel resolution of $100\text{ m} \times 100\text{ m}$. Further on a completely new classification procedure had to be found for two reasons. The well established procedures with multivariate statistics are far too time consuming and second they only give reliable results if done by remote sensing experts. A new algorithm has been designed especially for the given task which allows a fast delineation of snow even for less experienced users. The model-based approach is based on a sophisticated hierarchical procedure with emphasis on the differentiation of pixels in shadowed areas.

All the available images are analyzed and snow cover maps created using the new algorithm. From a total of 49 data sets only 30 can serve as input for the snowmelt-runoff model (SRM) since all others either show high cloud coverage or they are imaged too short after a major snowfall event by which they are no more representative for the general depletion process. The remaining data is used to create conventional as well as modified depletion curves. These modified depletion curves form a nomogram of curves which allow an estimate of the snow water equivalent for individual years.

In order to ensure a good series of satellite images for the actual forecasting seasons 1993 and 1994 special agreements were arranged with the distribution organizations for the satellite data. This way it was possible to get images of high quality just in time for the forecast on April 1st, 1993 as well as for April 1st, 1994. The seasonal forecasts were executed by the newly designed SRM-ETH and the results transferred to power generating stations in time.

The comparison of the seasonal forecast of 1993 with the measured runoff was well as far as the snowmelt season (April-July) is related. The same is true looking at the total amount of the seasonal forecast for 1994. The monthly divergences between the measured and the forecasted values are larger than the divergence of the total. This partly can be explained by extraordinary weather conditions which never are predeterminable, partly by uncertainties caused by precipitation measurements which are not reliable for the test areas and also by model parameters which are not set properly for the two subbasins.

The model-based snow cover mapping is a fast and easy-handling tool available for monitoring the snow situation over large areas in near real-time. The functionality of the algorithm has been proved through the creation of actual snow cover maps for the operational seasonal forecast in 1993 and 1994.

Zusammenfassung

Die vorliegende Arbeit entstand im Rahmen des anwendungsbezogenen Projektes "Operationelle Überwachung und Vorhersage von Schneeschmelzabflusssmengen mit Hilfe von Satellitenbildern". Sie trägt dazu bei, nutzerorientiert die im Projekt definierten Aufgaben zu lösen: inwieweit es möglich ist bzw. was noch getan werden muß, die vielversprechenden Ergebnisse früherer Arbeiten über Schneebeobachtungen in ein operationelles Werkzeug zu überführen. Die Möglichkeiten der verschiedenen Sensortypen werden diskutiert, sowie Probleme der Datenverfügbarkeit, der Klassifikation und der Integration der Ergebnisse in das Schneeschmelzabfluß-Modell SRM angesprochen.

Die Eigenschaften der unterschiedlichen Satellitensysteme werden analysiert, um zu entscheiden, welche Daten den gestellten Anforderungen entsprechen. Von allen verfügbaren Fernerkundungsplattformen liefern nur die beiden Sensoren des Landsat-Systems, der Multispektral-Scanner (MSS) und der Thematic-Mapper Sensor (TM), sowie der Multispektralmodus des SPOT-Satelliten geeignete Daten. Es konnten keine weiteren Sensoren benutzt werden, da entweder ihre Daten nicht in beinahe Echtzeit zur Verfügung stehen oder die vorgegebenen Testgebiete Sedrun und Tavanasa in der Nordost-Schweiz zu kleinräumig sind, um Sensoren mit schlechterer räumlicher Auflösung zu benutzen.

Wegen der hochalpinen Umgebung und vor allem der Schrägaufnahmen des SPOT-Satelliten werden alle Bilder zu einer resultierenden Pixelgröße von $100\text{ m} \times 100\text{ m}$ orthorektifiziert. Aus zwei Gründen mußte ein neues Klassifikationsverfahren gefunden werden: Zum einen sind die bekannten Methoden der multivariaten Statistik bei weitem zu zeitaufwendig für den operationellen Betrieb, und zum anderen liefern sie nur verlässliche Ergebnisse, falls sie ein Fernerkundungsexperte ausgeführt hat. Für die gestellten Aufgaben wurde ein spezieller Algorithmus entwickelt, der eine schnelle Schneeextraktion selbst für weniger erfahrene Nutzer ermöglicht. Dem modellbasierten Vorgehen liegt ein hochentwickeltes hierarchisches Verfahren zugrunde, mit welchem besonderer Wert auf die Differenzierung der im Schatten liegenden Pixel gelegt wird. Mit dem neuen Algorithmus wurden alle verfügbaren Bilder analysiert und Schneebedeckungskarten hergestellt. Von insgesamt 49 Datensätzen dienten nur 30 als Eingabe in das Schneeschmelzabfluß-Modell SRM, da alle anderen entweder zu starke Wolkenbedeckung zeigten oder zu kurz nach einem größeren Schneefall aufgenommen worden waren und deshalb nicht repräsentativ für den generellen Abschmelzprozess waren. Die verbliebenen Daten werden genutzt zur Herstellung konventioneller wie auch modifizierter Schneeabnahmekurven. Diese modifizierten Schneeabnahmekurven bilden ein Nomogramm von Kurven, mit welchem es möglich ist, das Schneewasseräquivalent einzelner Jahre zu ermitteln.

Um gute Serien von Satellitenbilddaufnahmen zur aktuellen Saisonvorhersage 1993 und 1994 zu gewährleisten, wurden spezielle Vereinbarungen mit den Vertreiberorganisationen

getroffen. Damit war es möglich, qualitativ hochwertige Bilder rechtzeitig zum Vorhersagezeitpunkt am 1. April zu bekommen. Die Saisonvorhersagen wurden mit dem neu entwickelten SRM-ETH ausgeführt und die Resultate der Kraftwerksgesellschaft, die mit auftraggebend war, fristgerecht zugesandt.

Der Vergleich der Saisonvorhersage 1993 mit den gemessenen Abflußwerten war gut, soweit die tatsächliche Schmelzperiode betrachtet wird. Dasselbe gilt für das Jahr 1994. Die monatlichen Abweichungen zwischen gemessenen und vorhergesagten Werten sind größer als die Gesamtdifferenz. Dies kann zum Teil mit außergewöhnlichen Wetterbedingungen, die nie vorhersehbar sind, erklärt werden, zum Teil durch Unsicherheiten bei der Niederschlagsmessung, die für das Testgebiet nicht verlässlich sind, und auch durch Modellparameter, die für die beiden Unterregionen nicht optimal gesetzt sind.

Mit der modellbasierten Schneekartierung steht ein schnelles und leicht zu handhabendes Werkzeug zur Verfügung, um die Schneelage in großen Gebieten in beinahe Echtzeit zu bestimmen. Die Funktionalität des Algorithmus wurde geprüft, indem aktuelle Schneebedeckungskarten für die Saisonvorhersage 1993 und 1994 erstellt wurden.