

Diss. ETH No. 15742

# Modeling and observations of seasonal land-surface heat and water exchanges at local and catchment scales over Europe

A dissertation submitted to the  
SWISS FEDERAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY (ETH)  
ZURICH

for the degree of  
DOCTOR OF NATURAL SCIENCE

presented by  
RETO STÖCKLI  
Dipl. Natw. ETH  
born 15 July 1973  
citizen of Luthern (LU)

accepted on the recommendation of  
Prof. Dr. C. Schär, examiner  
Dr. P. L. Vidale, co-examiner  
Prof. Dr. H. P. Schmid, co-examiner

2004

# Abstract

The land surface plays an important role in the global climate system, because it interacts dynamically with the atmosphere through manifold feedback mechanisms on a wide range of spatial and temporal scales. While on the one hand, weather and climate are known to influence vegetation phenology and its geographical distribution, soil and vegetation actively control land surface heat, water, momentum and carbon exchanges, thus influencing boundary layer development and convection. Evapotranspiration and runoff, in particular, which are balanced by precipitation, constitute the land portion of the water cycle, which is known to be a main contributor to climate variability. Knowledge about these processes and the ability to realistically model them is therefore of central importance in climate research. Simulated climate (and variability) are indeed sensitive to land surface parameterizations. There is, however, a gap between the local scale, at which land surface models and parameters are usually developed and evaluated, and the larger scales at which they are applied. This scale-gap needs to be bridged so that the high spatial and temporal dynamics of the land surface water cycle becomes part of modeled climate.

In order to help narrow the uncertainties in the modeling of seasonal-scale land-surface heat and water exchanges, local and catchment scale modeling experiments are performed in this study. Concurrently, different parameterizations are tested regarding their applicability in climate modeling, by exercising them on a wide range of climatic environments. All considered model formulations are embedded in a framework which includes ground and satellite remote sensing measurements, serving as an integration tool for the assessment of land surface processes. Satellite remote sensing is initially used to monitor vegetation state variables over Europe with a high temporal resolution, so that vegetation dynamics in land surface models can be prescribed with observed quantities. In a second stage local-scale measurements from FLUXNET are used for a process-based analysis of model results. Land surface models are applied at local scale using un-tuned large-scale and satellite-derived parameter sets. It is shown that soil storage processes play an important role in the seasonal heat and water fluxes and that vegetation biochemistry is a key component controlling the seasonal land surface water cycle. Finally, the Rhone-AGG initiative provides hydrological measurements on the catchment-scale, allowing for the exploration of scaling issues in the simulated water cycle. Catchment-scale simulations including lateral water fluxes, show that soil moisture drives runoff on the monthly time-scale and is largely controlled by evapotranspiration. While evapotranspiration was not found to be overly sensitive to runoff processes, the use of subgrid-scale topography-driven runoff provides a good simulation of the timing and magnitude of runoff at the daily to seasonal scale.

In summary, this study shows how satellite remote sensing, observations of boundary layer fluxes and ecosystem measurements can assist in developing models of the land surface water cycle which bridge the scale gaps between the processes involved; above-ground biophysics, relevant aspects of biochemistry and soil hydrology should be equally well represented in climate modeling applications.

# Zusammenfassung

Die Landoberfläche spielt eine wichtige Rolle im Klimageschehen, weil sie mit der Atmosphäre über vielfältige Rückkopplungsmechanismen, die auf verschiedenen Zeit- und Raumskalen stattfinden, wechselwirkt. Wetter und Klima beeinflussen einerseits die Vegetationsphänologie und die geographische Verteilung der Vegetation, aber der Boden und die Vegetation kontrollieren andererseits Wärme-, Wasser-, Impuls und Kohlenstoffaustauschprozesse zwischen der Landoberfläche und der Atmosphäre, die dann die atmosphärische Grenzschicht und damit Konvektionsprozesse in der Atmosphäre beeinflussen. Verdunstung und Abfluss bilden auf der Landoberfläche den Wasserkreislauf und werden vom Niederschlag in Balance gehalten. Es hat sich gezeigt dass diese Prozesse einen Hauptbeitrag zur Klimavariabilität leisten. Darum ist es wichtig, mehr darüber zu wissen und die Fähigkeit zu besitzen, diese Prozesse realistisch modellieren zu können. Es wurde aber auch gezeigt, dass das modellierte Klimageschehen (und darum die simulierte Klimavariabilität) sehr von dem in der Simulation verwendeten Landoberflächenmodell abhängt. Diese Sensitivität ist vorallem darum vorhanden, weil zwischen den lokalen Skalen, wo diese Modelle entwickelt werden, und den grossen Skalen, wo sie angewendet werden, eine Lücke besteht. Es gilt, diese Lücke zu überbrücken, sodass die grosse räumliche und zeitliche Dynamik des Landoberflächen-Wasserkreislaufes Teil des modellierten Klimas wird.

Damit wir solche Unsicherheiten, die bei der Modellierung des saisonalen Landoberflächen-Wasserkreislaufes bestehen, vermindern können, werden in dieser Studie Modellexperimente durchgeführt, die von lokalen räumlichen Skalen bis zur Grösse von Einzugsgebieten reichen. Gleichzeitig werden verschiedene numerische Formulierungen auf ihre Verwendbarkeit in der Klimamodellierung getestet, indem sie in verschiedenen klimatischen Bedingungen angewendet werden. Diese Experimente sind Teil eines Systems, das Bodenmessungen und Satellitenbeobachtungen einschliesst, die es erlauben, integrativ die modellierten Landoberflächenprozesse zu analysieren: Satellitenbeobachtungen werden in einem ersten Teil gebraucht um die Vegetationsphänologie über Europa mit einer hohen räumlichen und Zeitlichen Auflösung zu überwachen. Die daraus gewonnenen Daten beschreiben dann die Vegetationsphänologie in Landoberflächenmodellen. In einem zweiten Schritt, werden quantitative Oekosystem-Messungen von FLUXNET gebraucht um die Modellresultate auf lokaler Skala prozessorientiert zu untersuchen. Die daraus gewonnenen Erkenntnisse zeigen dass Bodenspeicher-Prozesse für die saisonalen Wärme- und Wasserflüsse eine wichtige Rolle spielen und biochemische Pflanzenprozesse den Wasserkreislauf substantiell mitbestimmen können. Als letzter Schritt werden die Modelle auf Einzugsgebietsskala untersucht, wo sie mit hydrologischen Daten aus der Rhone-AGG Initiative verglichen werden. Diese Experimente erlauben es, unter Einbezug von lateralem

Wasserfluss im Boden, die Sensitivität des modellierten Wasserkreislaufes auf die verwendete räumliche Skala zu untersuchen. Erkenntnisse daraus zeigen dass Bodenfeuchte den monatlichen Gang vom Abfluss durch ihre Wechselwirkung mit der Evapotranspiration bestimmt. Auf der anderen Seite ist Evapotranspiration nicht sehr sensitiv auf den Abfluss in dem untersuchten Gebiet. Der Einbezug von von sub-skaliger Topographie in die Simulation erlaubt es, den täglichen und saisonalen Abfluss - sowohl zeitlich wie auch in seiner Grösse - zu modellieren.

Zusammenfassend zeigt diese Studie, wie Satellitenbeobachtungen, lokale Grenzschicht-Flussmessungen und Oekosystem-Messungen dabei helfen können, die Modellierung des Landoberflächen-Wasserkreislaufes voranzutreiben und die dabei entstehenden Unsicherheiten zu vermindern, indem die Lücken zwischen den dabei beteiligten Prozessen und Skalen überbrückt werden. Dazu ist es von Wichtigkeit, in Modellen sowohl die Biophysik und Biochemie der Pflanzen wie auch die Hydrologie im Boden in gleichem Ausmass zu gewichten.