

DISS. ETH NO.16507

**The use of land-use statistics to investigate large-scale successional processes**

A dissertation submitted to the  
SWISS FEDERAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY ZÜRICH  
for the degree of  
Doctor of Natural Sciences

Presented by  
GILLIAN NICOLE RUTHERFORD

Master of Science, Auckland University, New Zealand

Born 06.12.1973

Citizen of New Zealand

accepted on the recommendation of

Professor Peter J Edwards, examiner  
Dr. Niklaus E Zimmermann, co-examiner  
Dr. Peter Bebi, co-examiner  
Associate Professor Antoine Guisan, co-examiner

2006

## **Summary**

Land-use and land cover change are two of the most important components of global change. As such, considerable questions about their causes and consequences have been raised. One of the marked changes occurring throughout Europe today is the giving up of the agricultural use of land, particularly in the mountainous regions such as the Alps. Switzerland is no exception showing gains in forest area of approximately 30-50% of its territory since the mid 19<sup>th</sup> century, much of which is a direct consequence of land abandonment. These changes are commonly attributed to changing socio-economic circumstances under which it may no longer be considered profitable to maintain agricultural use. Whatever the causes, underlying or proximate, the act of abandonment initiates a change in the land cover – here, vegetation - which acts as a signature of the process of change in space and time. When the spatial and temporal patterns of the consequent vegetation change show particular characteristics, it is useful to describe and quantify these characteristics to 1. Understand the process; 2. Predict the process. Addressing such questions at the landscape scale requires the availability of large volumes of data of sufficient quality to arrive at the answers sought. Not only must the data be of good quality but methods appropriate to answering the questions at hand must be selected.

To this end the aims of this thesis were firstly to determine whether or not the Swiss land-use statistics, as a large spatially explicit landscape scale statistical dataset, could be used to investigate ecological processes such as semi-natural secondary forest succession that are normally studied at a smaller spatial scale. The second aim was to then use the data to understand and predict the spatial and temporal patterns of forest development in Switzerland at larger spatial scales.

The relevant classes of the Swiss land-use statistics from the periods 1979/85 and 1992/97 were aggregated to form five new land-use and land cover classes representing stages between agricultural use and forest cover: (1) intensively used agricultural land, (2) extensively used agricultural land, (3) areas overgrown with shrubs and small trees, (4) open canopy forest, (5) closed canopy forest. The land cover change data was then used in the calibration and evaluation of spatially explicit statistical models with a view to explaining and understanding the observed changes and to ascertain the ability of the resulting models to predict future changes. In order to

do this, different forms of logistic regression were employed: binomial for changes between two land cover classes, and ordinal and multinomial for grouped changes from one land cover class to multiple outcomes.

Spatial and temporal patterns of land abandonment and subsequent forest regeneration are evident in Switzerland. Factors consistently identified as valuable in the prediction of land cover change post-abandonment can be broadly summarised into the composition of the surrounding neighbourhood and environment. The rate of forest succession and hence land cover change varies considerably at the regional scale in Switzerland, and is dependent on local factors such as propagule availability as well as larger scale climatic factors such as continentality. It is important to take into consideration that the choice of sampling regime and statistical modelling method implemented can influence the results yielded. When considered appropriately the different logistic regression techniques prove valuable tools in the investigation of land cover change presented here. In conclusion, the analysis of large landscape scale statistical datasets such as the Swiss land-use statistics which measure land cover change offers a promising way to investigate ecological processes such as forest succession at a large spatial scale.

### Zusammenfassung

Veränderungen der Bodennutzung und der Bodenbedeckung gehören zu den wichtigsten Indikatoren globaler Veränderungen. Aus diesem Grunde werden ihre Ursachen und Folgen seit längerem diskutiert. Die Aufgabe von landwirtschaftlicher Bodennutzung, insbesondere in Bergregionen wie den Alpen, ist eine der markantesten Änderungen, die heute in Europa beobachtet werden. Die Schweiz ist dabei keine Ausnahme. Schätzungen zufolge nahm die schweizerische Waldfläche seit Mitte des 19. Jahrhunderts um ca. 30-50% zu, was direkt auf die Landaufgabe zurückgeführt werden kann. Solche Entwicklungen lassen sich in der Regel mit Veränderungen der sozioökonomischen Umstände erklären, unter denen sich die weitere Bewirtschaftung nicht mehr rentiert. Unabhängig davon, ob die Ursachen direkt oder indirekt sind, hat die Nutzungsaufgabe eine Veränderung in der Bodenbedeckung und der Vegetation zur Folge; ein charakteristisches Beispiel eines räumlichen und zeitlichen Veränderungsprozesses. Wenn die räumlichen und zeitlichen Abfolgen der resultierenden Vegetationsveränderungen typische Muster aufweisen, ist es wertvoll, diese Muster zu beschreiben und die Zusammenhänge zu quantifizieren, um: 1. Diesen Prozess zu verstehen; 2. Solche Prozesse vorherzusagen. Für die Beantwortung dieser Fragen auf der Regionalen Ebene, sind grosse Datensätze mit ausreichender Qualität erforderlich. Neben der Datenqualität ist zudem die Auswahl von geeigneten Methoden wichtig.

Zwei Hauptziele wurden daher für die vorliegende Dissertation formuliert. Erstens soll abgeklärt werden, ob sich die Daten der Schweizer Arealstatistik als grosser räumlich-statistischer Datensatz auf Landschaftsebene zur Beschreibung von ökologischen Prozessen wie sekundärer Waldsukzession verwenden lassen. Dies erschien wichtig, weil solche Prozesse normalerweise nur auf kleineren räumlichen Skalen untersucht werden. Zweitens sollen die Daten dazu verwendet werden, um die räumliche und zeitliche Muster der Waldsukzession besser zu verstehen und auf grossräumiger Skala vorherzusagen zu können.

Die für die Fragestellung relevanten Klassen der Schweizer Arealstatistik von 1979/85 und 1992/97 wurden zu fünf neuen Bodennutzungs- und Bodendeckungsklassen zusammengefasst, welche den Sukzessionsstadien zwischen landwirtschaftlicher Nutzung und Wald entsprechen: (1) intensiv genutzte Landwirtschaft, (2) extensiv genutzte Landwirtschaft, (3) überwachsene

Flächen mit Gebüsch und Strauchvegetation, (4) offener Wald und (5) geschlossener Wald. Anhand dieser Daten wurden räumlich-explizite statistische Modelle kalibriert und evaluiert, um die beobachteten Veränderungen zu verstehen und zu erklären, und um die Eignung der Modelle für die Vorhersage künftiger Veränderungen zu testen. Hierzu wurden verschiedene Formen von logistischen Regression eingesetzt: Binomiale Modelle für Veränderungen zwischen zwei Bodenbedeckungsklassen, sowie ordinale und multinomiale Modelle für gruppierte Übergänge von einer Klasse zu mehrere anderen Klassen.

Räumliche und zeitliche Muster der Landaufgabe und der nachfolgenden Wiederbewaldung konnten für die Schweiz identifiziert werden. Die Faktoren, welche die Vorhersage von Veränderungen in der Bodenbedeckung erklären, können allgemein zusammengefasst werden zu Struktur der Nachbarschaft und Umweltbedingungen. Die Intensität der Waldsukzession und der Veränderung der Landschaft variiert in der Schweiz regional erheblich und ist sowohl abhängig von lokalen Faktoren (z.B. Samenverfügbarkeit) als auch von grossräumigen klimatischen Faktoren (z.B. Kontinentalität). Das Design der Stichprobeverfahren und die Wahl der statistischen Modelle haben grossen Einfluss auf die Ergebnisse. Wird dies entsprechendberücksichtigt, bewähren sich die verschiedenen logistischen Regressionsmodelle für die hier präsentierte Untersuchung der Veränderungen der Bodenbedeckung. Zusammenfassend kann gesagt werden, dass die Analyse grosser statistischer Datensätze auf Landschaftsebene, wie zum Beispiel der Schweizer Arealstatistik, somit eine viel versprechende Möglichkeit bietet, um ökologische Prozesse wie Waldsukzession und Landschaftsveränderung grosser Regionen zu untersuchen.