



Doctoral Thesis

The role of large-scale disturbances and climate for the dynamics of forested landscapes in the European Alps

Author(s):

Schumacher, Sabine

Publication Date:

2004

Permanent Link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-004818825> →

Rights / License:

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#) →

This page was generated automatically upon download from the [ETH Zurich Research Collection](#). For more information please consult the [Terms of use](#).

Diss. ETH No. 15573

The role of large-scale disturbances and climate for the dynamics of forested landscapes in the European Alps

A dissertation submitted to the
SWISS FEDERAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY ZURICH

for the degree of
Doctor of Sciences

presented by
SABINE SCHUMACHER
Dipl. Forst-Ing. ETH
born August 10, 1973
citizen of Schüpfheim (LU)

accepted on the recommendation of
Prof. Dr. Harald Bugmann, examiner
Prof. Dr. Peter J. Weisberg, co-examiner
PD Dr. Felix Kienast, co-examiner

2004

Summary

Forest landscape dynamics result from the complex interaction of driving forces and ecological processes operating on various scales, including large-scale natural disturbances (e.g., wildfires, windthrow), forest management, the physical environment, and stand-scale succession and competition processes. Projected climate change for the 21st century is expected to alter climate-sensitive processes, causing shifts in species composition, but also to bring about changes in disturbance regimes. Mountain ecosystems provide a wide range of goods and services to humanity and at the same time are particularly sensitive to climatic changes. This study focuses on assessing the response of mountain forest ecosystems to a changing climate; to do so, the effects and interactions of these various factors must be considered and understood. Dynamic landscape-scale models enable us to investigate these complex systems in a quantitative and structured manner.

The objectives of this thesis are (1) to develop a model that is able to simulate realistic vegetation patterns in weakly- as well as strongly-disturbed landscapes and under variable environmental conditions; (2) to design and integrate a fire model that is able to simulate a fire regime as an emergent property of climatic parameters and vegetation properties; (3) to evaluate the relative importance of the effects of future climate change, wildfires, windthrow and harvesting on the dynamics of mountain forests in the European Alps.

This study describes the design and evaluation of a new landscape-scale model, LANDCLIM. LANDCLIM is based on an existing model (LANDIS), which incorporates a range of large-scale processes such as seed dispersal, wind and fire disturbances and harvesting, which dynamically interact with forest vegetation. However, the stand-scale representation of forest vegetation and autogenic factors of succession was found to be too simplistic to realistically reproduce landscape patterns in the European Alps. Also, the effects of climate change on tree population dynamics and on disturbance regimes cannot be studied as an emergent property of the LANDIS model, but need to be prescribed via model parameters. Therefore, the modeling presented in this study comprises (1) the integration of a new growth and competition routine that incorporates quantitative descriptions of forest structure, and explicitly includes the effects of climatic and edaphic parameters on tree population dynamics; and (2) the incorporation

of a new fire sub-model that predicts fire size and return intervals as an emergent property of climatic variables, soil type and vegetation properties.

LANDCLIM was able to simulate vegetation processes, biomass and species distribution for both managed and unmanaged stands in the European Alps in accordance with current ecological understanding. Furthermore, the model reproduced patterns of stand recovery and development of stand structure after disturbance events which are congruent with empirical findings. LANDCLIM was also able to predict most characteristics of the fire regime along an extended climatic gradient in the continental Rocky Mountains. Although the local accuracy of LANDCLIM was limited, most likely because of uncertainties in parameter estimation, the simulated fire regime under different environmental conditions resulted in realistic, relative differences. Thus, LANDCLIM is capable of simulating crucial interactions between climate, fire disturbances and forest patterns.

LANDCLIM applications in two landscapes of the European Alps using a scenario of anthropogenic climate change for the end of the 21st century and a range of windthrow disturbance and harvest scenarios suggest extensive forest cover changes, commencing in the coming decades. The simulation results suggest that projected climate change will have a substantial impact on forest vegetation, particularly on biomass distribution as well as on species composition along altitudinal gradients. Notably, this will only partially be due to direct climatic effects on tree population dynamics. Fire is likely to become an important agent in shaping the landscape, even in areas where major wildfires do not occur under current climatic conditions; this is especially the case in some of the drier areas of the Alps. The effects of variable wind and harvesting regimes, however, are less likely to have a considerable impact on forest development compared to the direct effects of climate change coupled with the indirect effects of increased fire activity. From this study, it can be concluded that the direct and indirect effects of projected future climate change have the potential to be a serious threat to mountain forests in the Alps, with considerable implications for the many goods and services provided by these ecosystems.

Zusammenfassung

Waldlandschaftsveränderungen entstehen durch komplexe Wechselbeziehungen von Prozessen auf verschiedenen Ebenen. Treibende Kräfte hinter Veränderungen sind unter anderem grossflächige natürliche Störungen (z.B. Feuer, Windwurf), Waldbewirtschaftung, physikalische Umweltfaktoren und Prozesse der Bestandesentwicklung wie Sukzession und Konkurrenz. Es wird vermutet, dass die für das 21. Jahrhundert erwartete Klimaveränderung sich auf klimasensitive Prozesse auswirken wird und dadurch nicht nur Artenzusammensetzungen, sondern auch Störungsregime verändert werden. Gebirgsökosysteme, die eine Reihe wichtiger Güter und Dienstleistungen liefern, sind besonders empfindlich gegenüber Klimaveränderungen. Die vorliegende Studie beschäftigt sich mit den Reaktionen von Gebirgswaldökosystemen auf Klimaveränderung. Dafür müssen die Auswirkungen und Wechselbeziehungen der beteiligten Prozesse berücksichtigt und verstanden werden. Dynamische Landschaftsmodelle bieten dabei eine Möglichkeit, diese komplexen Systeme auf eine quantitative und strukturierte Art zu untersuchen.

Die Ziele dieser Studie sind (1) ein Modell zu entwickeln, das Vegetationsmuster sowohl in selten, wie auch in häufig gestörten Landschaften und unter variablen Umweltbedingungen realistisch simuliert, (2) ein FeuermodeLL zu entwerfen und zu implementieren, welches Feuerregime simuliert, die aus Klima- und Vegetationsparametern resultieren, (3) den relativen Einfluss einer zukünftigen Klimaveränderung, von Waldbränden, Windwürfen und Waldbewirtschaftung auf die Dynamik von Gebirgswäldern in den europäischen Alpen zu evaluieren.

In dieser Studie werden das Design und die Evaluation eines neuen Landschaftsmodells, LANDCLIM, beschrieben. LANDCLIM basiert auf einem existierenden Modell (LANDIS), welches eine Reihe von grossflächigen Prozessen berücksichtigt, wie Samenausbreitung, Wind- und Feuerstörungen und Waldbewirtschaftung, welche die Waldvegetation dynamisch beeinflussen. Waldbestände und intrinsische Sukzessionsprozesse sind jedoch zu vereinfacht dargestellt, um damit realistische Landschaftsmuster in den europäischen Alpen zu reproduzieren. Zudem können Auswirkungen von Klimaveränderungen auf die Walddynamik und die Störungsregime nicht direkt mit LANDIS simuliert werden, sondern müssen durch Modellparameter vorgegeben werden. Aus diesen Gründen wurde das Modell in dieser Studie wie folgt weiterentwickelt: (1) Integration einer neuen Wachstums- und Konkurrenzroutine, welche eine quantitative Beschreibung der

Waldstruktur beinhaltet und explizit die Effekte von klimatischen und edaphischen Parametern auf die Walddynamik berücksichtigt, und (2) Einbezug eines neuen Feuermodells, welches Feuergrösse und Wiederkehrdauer anhand von klimatischen Variablen, dem Bodentyp und der Vegetation bestimmt.

LANDCLIM simulierte Vegetationsprozesse, Biomassen- und Artenverteilung sowohl für bewirtschaftete, wie auch für unbewirtschaftete Wälder in den europäischen Alpen übereinstimmend mit heutigem ökologischem Verständnis. Zudem konnte das Modell auch die Wiederbewaldung und die Entwicklung der Bestandesstruktur nach Störungen so wiedergeben, dass sie mit empirischen Ergebnissen übereinstimmen. LANDCLIM konnte ebenfalls die meisten Eigenschaften des Feuerregimes entlang eines erweiterten klimatischen Gradienten in den kontinentalen Rocky Mountains vorhersagen. Obwohl die genaue Voraussage von LANDCLIM für einzelne Bestände aufgrund von Unsicherheiten in der Parameterschätzung limitiert war, wurden die relativen Unterschiede zwischen verschiedenen Umweltbedingungen gut wiedergegeben. Die wichtigsten Wechselbeziehungen zwischen Klima, Waldbränden und Waldstruktur können somit mit LANDCLIM simuliert werden.

LANDCLIM-Anwendungen unter einem Klimaszenario für das Ende des 21. Jahrhunderts und unter verschiedenen Windwurfs- und Waldbewirtschaftungsszenarien zeigten, dass für die kommenden Jahrzehnte substantielle Veränderungen der Wälder in den europäischen Alpen zu erwarten sind. Die Resultate zeigten, dass der vermutete Klimawandel einen grossen Einfluss auf die Waldvegetation haben wird, insbesondere auf Biomassenverteilung und Artenverteilung entlang von Höhengradienten. Allerdings wird dies nur zum Teil durch direkte klimatische Einflüssen auf die Walddynamik bedingt. Waldbrände werden zunehmend zu wichtigen landschaftsbildenden Faktoren in Gebieten wo unter heutigem Klima keine grösseren Feuer auftreten, insbesondere in trockeneren Gebieten in den Alpen. Die Auswirkungen von veränderter Windhäufigkeit und Bewirtschaftungsintensität scheinen einen kleineren Einfluss auf die Walddynamik zu haben, als die einer Klimaveränderung und der damit verbundenen vermehrten Feueraktivitäten. Aus dieser Studie kann gefolgert werden, dass die direkten und indirekten Einflüsse eines zukünftigen Klimawandels eine ernsthafte Gefahr für die Gebirgswälder in den Alpen darstellen, was wiederum weitreichende Konsequenzen für die von diesen Ökosystemen bereitgestellten Güter und Dienstleistungen haben wird.