



Doctoral Thesis

Untersuchungen über die Struktur einer Bergföhrenbestockung im Schweizerischen Nationalpark

Author(s):

Hauenstein, Pius

Publication Date:

1998

Permanent Link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-002051815> →

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 Nr. 12 971

**Untersuchungen über die Struktur
einer Bergföhrenbestockung im
Schweizerischen Nationalpark**

Abhandlung
zur Erlangung des Titels

Doktor der technischen Wissenschaften

der

Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich

vorgelegt von

Pius Hauenstein

dipl. Forsting. ETH

geboren am 15. November 1960
von Arlesheim, Baselland

Angenommen auf Antrag von:
Prof. Dr. Peter Bachmann, Referent
PD Dr. Ernst Ott, Korreferent
Dr. Bernhard Oester, Korreferent

1998

Zusammenfassung

Untersuchungen über die Struktur einer Bergföhrenbestockung im Schweizerischen Nationalpark

In einer Fallstudie wurde die räumliche Struktur und Entwicklung einer sich selbst überlassenen Waldbestockung mittels nachvollziehbarer, quantitativer Methoden untersucht. Die Wahl und Entwicklung der Methoden bildeten einen Schwerpunkt der Arbeit. Basierend auf einer hierarchisch gegliederten Systematik mit verschiedenen Strukturniveaus, erfolgte die Strukturanalyse ausgehend vom Einzelbaum.

Die Untersuchung wurde an Bestockungen mit aufrechten Bergföhren (*Pinus montana* var. *arborea*) im Schweizerischen Nationalpark im Unterengadin durchgeführt. Der Schweizerische Nationalpark ist ein Totalreservat, dessen Wald nach einer mehrere Jahrhunderte dauernden Phase intensiver Nutzung seit 1914 vollständig der natürlichen Entwicklung überlassen wird. Das engere Untersuchungsgebiet liegt in der Nähe der Ofenpassestrasse auf 1900 m ü.M. auf einem aus karbonatischen Sedimenten bestehenden, sanft nach Süden geneigten Schwemmschuttfächer. Der grösste Teil der Analysen wurde an drei seit 15 bzw. 45 Jahren bestehenden Dauerbeobachtungsflächen mit einer Ausdehnung bis 35 Aren durchgeführt.

Die Kartierung der einzelnen Bäume, Stöcke und Baumleichen erfolgte mit einem terrestrischen Orthogonalverfahren, nachdem sich gezeigt hatte, dass grossmassstäbliche aerophotogrammetrische Auswertungen in diesen dichten, relativ kleinwüchsigen Bestockungen unvollständig und zuwenig differenziert sind. Für die räumliche Ausdehnung der Untersuchung über die Dauerbeobachtungsflächen hinaus eigneten sich die vorhandenen übrigen Materialien wie alte Luftbilder und Karten zu wenig.

Für die Strukturanalyse wurden folgende Methoden angewandt:

- Summarische Auswertungen ohne (Stammzahl, Zuwachs etc.) und mit Berücksichtigung der räumlichen Konstellation (Deckungsgrad, Kronenüberlappung, Aggregationsindex nach CLARK & EVANS, Baumabstände etc.).
- Bildliche Darstellungen (Aufrisse (Profile), Grundrisse und Kartendarstellungen).
- Gewöhnliche Dirichlet-Diagramme (Standraumfläche, Bestimmung der Nachbarn).
- Clusteranalyse (*single linkage*) mit verschiedenen Grenzabstandsfunktionen und anschließender Generalisierung in geometrische Primitiven (Linien).
- Bivariates *Kernel Smoothing* (*Fixed Normal Density Kernel*) mit verschiedenen *Kernel* Weiten und Attributen.

Strukturindices allein gaben nur einen abstrakten und unvollständigen Einblick in die Struktur einer Bestockung. Verfahren, welche nur auf dem nächsten Nachbarn bzw. dessen Distanz basieren, wurden den Klumpungen aus mehreren Bäumen nicht gerecht.

Bildliche Darstellungen sind seit langem bekannt und ermöglichen eine gute Dokumentation des visuellen Eindruckes. Mittels Computer war es möglich, aus einer einzelbaumweise kartierten Fläche verschiedene Profile und Grundrisse in beliebiger räumlicher und zeitlicher Lage rasch zu generieren und darzustellen. Die Darstellungen sind trotz der relativ einfachen Modellierung der Baumarchitektur anschaulich und realitätsnahe. Wesentlich in Naturwäldern ist die Hervorhebung des Totholzes.

Die gewöhnliche Dirichlet-Polygonierung lieferte sehr anschauliche graphische und numerische Resultate. Der Standraum und die Bestimmung der Nachbarn bildeten Eingangsgrößen für weiterführende Analysen. Die gewöhnliche Dirichlet-Polygonierung wurde allerdings den komplexen räumlichen Verhältnissen und damit den gegenseitigen Beeinflussungen zu wenig gerecht. Sie muss erweitert werden, um v.a. die vertikale Gliederung gebührend berücksichtigen zu können. Ein einfacher Ansatz bestand in der Zerlegung der Bestockung in verschiedene Schichten auf der Basis des BHD.

Mit der Clusteranalyse konnten diskrete Linientexturen sichtbar gemacht werden. Die damit gebildeten Kollektive wurden weiter analysiert. Eine Aggregation der Elemente auf hierarchisch höheren Niveaus war möglich.

Mit dem *Kernel Smoothing* wurde die Baumbestockung als kontinuierliche Textur betrachtet. Die Ergebnisse wurden als dreidimensionale thematische Oberflächen dargestellt. Die Möglichkeit verschiedene Baumattribute (BHD, Basalfläche, Zuwachs, Trendresiduen etc.) für das *Kernel Smoothing* zu verwenden, ergab verschiedene Sichten. Die *Kernel*-Weite kann stufenlos und ohne Verlust an Objektivität verändert werden. Dadurch werden verschiedene Generalisierungsmaßstäbe möglich.

Die angewandten Methoden sind noch weiter entwicklungsfähig. Die Fortschritte in der EDV und in der *Computational Geometry* eröffnen in Zukunft weitere Möglichkeiten.

Als Analyseinstrument wurde das Geographische Informationssystem Arc/Info verwendet. Bei der Datenmodellierung und der Auswertung sind teilweise die momentanen Grenzen des Softwaresystems erreicht worden.

Die Untersuchung der Bergföhrenbestockungen auf den Dauerbeobachtungsflächen liess drei Strukturniveaus erkennen:

- Klumpung (nahe beieinander stehende, geklumpt angeordnete Bäume, bis 10 Bäume pro m²).
- Linien (80 - 85 % aller Bäume befanden sich innerhalb von 2,5 m breiten Streifen, welche etwa 30 - 40% der Gesamtfläche ausmachen). Teilweise verliefen die Linien gehäuft in Richtung Nord-Süd.
- Flecken (*Patch*). Durch Zusammenfassen der Strukturlinien oder direkt aus den Einzelbäumen konnten Flecken (≤ 10 Aren) gebildet werden. Das aus den Einzelbäumen modellierte Fleckengefüge variiert je nach benutztem Kriterium.

Die räumliche Ausdehnung der Dauerbeobachtungsflächen war zu gering, um die Strukturanalyse gesamthaft auf höheren hierarchischen Niveaus fortzusetzen.

Die untersuchten Bergföhrenbestockungen wiesen eine recht grosse räumliche Heterogenität auf. Liegende Baumleichen waren vorzugsweise nach Süden ausgerichtet. Besonders auffällig waren die als „Friedhöfe“ bezeichnete Konzentrationen mit abgestorbenen Bäumen. Die Ursachen für die verschiedenen räumlichen Strukturen waren nicht bekannt. Die im Wald des engeren Untersuchungsgebietes aber auch in anderen Bergföhrenbestockungen des Schweizerischen Nationalparks aufkommende Bergföhrenverjüngung war üppig. Über die spezielle Verjüngungsökologie war noch wenig bekannt. Es waren keine Anzeichen für zukünftige grössere Zusammenbrüche oder tiefgreifende Umwandlungen festzustellen.

Das Schwergewicht dieser Arbeit lag in der Formulierung von Ansätzen und in der Modifikation bestehender oder Entwicklung neuer Methoden für die Strukturanalyse sowie im Experimentieren mit diesen Verfahren. Die angewandten Modelle stellten eine starke Vereinfachung und Abstraktion eines partiellen Ausschnittes aus der komplexen Bergföhren-Strukturwirklichkeit dar. Sie sind kein absolut sicheres und vollständiges Abbild der komplexen Wirklichkeit. Es ist zu hoffen, dass die formulierten Ansätze und Methoden sowie die offenen Fragen in weiteren Untersuchungen aufgegriffen werden.

Abstract

An Exploratory Study of the Structure of a Mountain Pine (*Pinus montana*) Stand in the Swiss National Park

A case-study researched the spatial structure and development of a forest which has been left undisturbed from human intervention, deploying comprehensible quantitative methods. The choice and development of the methods were the focus of this study. Based on a hierarchically structured taxonomy with various structural levels, the structural analysis started from the individual tree.

The study was applied to mountain pine forests (*Pinus montana* var. *arborea*) in the Swiss National Park in the lower Engadine. The Swiss National Park is a reserve whose forests have been completely left to their own natural development since 1914, succeeding a phase of extensive clearing for several centuries. The defined study area is close to the Ofenpass route, 1900 m above sea level, and is situated on an alluvial fan which gently slopes to the south and contains sediments rich in carbonate. The major part of the analysis was applied to three areas totaling 35 ares which have been continuously studied for 15 and 45 years respectively.

A terrestrial orthogonal method charted individual trees, stumps and dead trees, since photogrammetrical analysis of large-scale aerial photographs has proved to be incomplete and not sufficiently differentiating in these thick stands of relatively small trees. Existing aerial photographs and charts were inadequate for a spatial expansion of the study beyond the continuously analyzed areas.

The structural analysis deployed the following methods:

- Numerical evaluation without (number of trees, growth increment etc.) and with consideration of spatial constellations (crown cover, overlapping of crowns, aggregation index according to CLARK & EVANS, distance of neighboring trees).
- Pictorial representations (profiles, ground plans and chart diagrams).
- Ordinary Dirichlet tessellation (area potentially available by a tree, identification of neighboring trees).
- Cluster analysis (single linkage) considering various functions in relation to distance and subsequent generalization in terms of geometrical primitives (lines).
- Bivariate kernel smoothing (fixed normal density kernel) with various kernel widths and attributes.

Structural indices alone conveyed only an abstract and incomplete insight into the structure of a forest. Methods based on immediate neighbours and their distance do not account for the clustering of trees.

Pictorial representations are a traditional means of documenting visual impressions. Computers enabled an area whose trees have been individually charted to be depicted as profile and ground plan in any spatial position or time frame. The representations render clear and realistic pictures, despite the relatively simple reconstruction of the tree architecture. An important part of this process is the separate depiction of dead wood in natural forests.

The ordinary Dirichlet tessellation was very descriptive in its display of graphical and numerical results. The area covered by a tree, and the identification of its neighbours, were the basis for more extensive analyses. The ordinary Dirichlet tessellation, however, did not account sufficiently for the complex spatial conditions and their mutual influences. The ordinary Dirichlet tessellation has to be extended in order to take into account, first of all, the vertical structure. A basic approach lied in splitting the stand into several layers based on dbh.

Cluster analysis visualized discrete linear textures. The assembled clusters were further analyzed. An aggregation of the elements was feasible on hierarchically heightened levels.

Kernel smoothing allowed the forests to be viewed as continuous texture. The results were projected as three-dimensional, subject-related surfaces. The option to use different attributes for the kernel smoothing (dbh, basal area, growth increment, most frequent residues, etc.) resulted in varied perspectives. The width of the kernel was continuously adjustable without impairing objectivity. This allowed the choice of a number of scales.

The applied methods have further development potential. Progress made in EDP and computational geometry will open up new possibilities in the future.

The geographical information system Arc/Info was being deployed as analytical instrument. At times, the data modeling and evaluating pushes the limits of the software system.

The study of the mountain pine stands in the continuous-analysis areas had classified three structural levels:

- Clusters (trees growing in close proximity to each other, up to ten trees per square meter).
- Lines (80 to 85% of all trees grow within belts of 2,5 m, which make up around 30 to 40% of the total area); in places, the lines run from north to south predominantly.
- Patches; patches appear when structural lines or individual trees cluster (less than 10 ares); patches made up of individual trees vary depending on the criteria applied.

The spatial expansion of the continuously studied areas was too limited to allow a overall structural analysis on a hierarchically higher level.

The studied mountain pine stands demonstrated a fairly big spatial heterogeneity. Fallen dead trees were mainly facing south. Amassing of dead trees, called 'cemeteries' (Dieback patch), were particularly striking. The reasons behind the various spatial structures were not known. The mountain pine regeneration in the forest of the area studied, and also in other mountain pine forests in the Swiss National Park, was luxurious. Little was known about the special regeneration ecology. There were no signs of future, major break-downs or profound changes.

The focus of this study lied in the description of new approaches and in the modification of existing methods, as well as in the development of new methods for a structural analysis and in the experimenting with these methods. The applied models represented a profound simplification and abstraction of only a small part of the complex structural reality of the mountain pine. They do not represent a safe and complete depiction of the complex reality. It is to be hoped, that the formulated attempts and methods as well as the open questions will be picked up in further studies.

(Translated by Tamara Brügger)