



## Doctoral Thesis

# Structure and disturbance patterns of the largest European primeval beech forest revealed by terrestrial and remote sensing data

**Author(s):**

Hobi, Martina L.

**Publication Date:**

2013

**Permanent Link:**

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-010006628> →

**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. 21195

**Structure and disturbance patterns of the  
largest European primeval beech forest revealed  
by terrestrial and remote sensing data**

A dissertation submitted to

ETH ZURICH

for the degree of

Doctor of Sciences

presented by

MARTINA LENA HOBI

MSc ETH in Environmental Sciences

born July 12, 1982

citizen of Zurich (ZH) and Mels (SG)

accepted on the recommendation of

Prof. Dr. Harald Bugmann, examiner

Prof. Dr. Jürgen Bauhus, co-examiner

Brigitte Commarmot, co-examiner

Christian Ginzler, co-examiner

2013

## Summary

Knowledge on large-scale dynamics of natural beech forests is limited, since such forests are rare and previous studies were focusing on relatively small areas. An outstanding object to study patterns and processes of natural beech forests over large spatial scales is the largest remnant of European beech (*Fagus sylvatica* L.), the primeval forest Uholka-Shyrokyi Luh in the Ukrainian Carpathians. The main objective of this thesis is to characterise the structure of this forest and its disturbance regime at different spatial scales. To do so, three methodological approaches were applied. At first, data of the main forest structural attributes gained in a (1) a terrestrial sampling inventory was used and supplemented with a (2) tree-ring assessment of the forest's age structure and disturbance history. Subsequently, (3) high-resolution WorldView-2 stereo satellite images were applied to analyse canopy gaps over the entire forest area. The combination of these terrestrial, dendroecological and remote sensing approaches enabled the derivation of a conclusive picture of the structure and disturbance patterns shaping the primeval beech forest of Uholka-Shyrokyi Luh.

The aim of the *first chapter* is to assess the age structure and disturbance dynamics of this forest at small spatial scales and to identify processes that led to the observed small-scale stand structures. This study was carried out on four subjectively selected circular plots (0.1 ha each) in the Uholka part of the study area. DBH and height of all living trees  $\geq 6$  cm DBH ( $n=164$ ) were measured and increment cores were taken for age estimation, growth pattern analyses and the reconstruction of the disturbance history. Age estimations showed that beech can reach an age of up to 550 years. The age span of trees on each of the four plots covered at least 300 years, confirming a highly uneven-aged forest structure even on such fairly small areas. These results suggested that stand dynamics were mainly driven by periodic disturbances of low intensity. The high percentage of rotten trees in the upper canopy indicated that individual trees are prone to wind breakage, which promoted these small-scale dynamics.

The *second chapter* focuses on the large-scale sampling inventory carried out in summer 2010. It provides representative estimates of the structural characteristics of this primeval beech forest, which allowed additional inferences regarding its disturbance regime. The data gained on 314 systematically distributed circular plots of 500 m<sup>2</sup> each included characteristics of living trees, standing and lying deadwood, tree regeneration, the size of canopy gaps and the vertical canopy layering. The beech-dominated forest showed a multi-layered, uneven-aged canopy structure with canopy gaps rarely larger than the crown projection area of a few trees. The reconstruction of the disturbance history based on tree-ring patterns provided no evidence for stand-replacing disturbance events and suggested the forest structure to be shaped by fine-scale processes leading to a homogeneity of most structural forest characteristics at larger spatial scales.

In the *third chapter* an accuracy assessment of WorldView-2 digital surface models (DSMs) and their usage for forest canopy modelling is presented. This part of the thesis was carried out in the lowlands of Switzerland, due to the availability of accurate reference data and the possibility for a comparison with a DSM generated from ADS80 aerial images. The WorldView-2 and ADS80 image data are both among the best commercially available optical imagery for elevation modelling at present. Accuracies of the DSMs over the three land cover types herb and grass, artificial areas and forests were estimated using GPS measurements, manual stereo-measurements, and airborne laser scanning data as reference. Forested areas emerged as the most difficult type for height modelling, still, with median errors <2 m, DSMs based on WorldView-2 images were found to have a large potential for forest canopy modelling.

The objective of the *fourth chapter* is to characterise the forest's gap dynamics using WorldView-2 stereo satellite images. Two approaches for canopy gap detection were tested: one based on local statistics with moving windows on a canopy surface model and one using a supervised spectral image classification. The first approach failed to map the small-scale mosaic of canopy gaps due to the highly variable topography and the large viewing angles of the satellite; only larger gaps >500 m<sup>2</sup> could be recorded. The supervised classification based on a combination of the red and yellow spectral band of the images revealed the forest structure to be dominated

by small canopy gaps with an average size of 28.21 m<sup>2</sup> and larger openings >1000 m<sup>2</sup> to be very rare. The low gap fraction of <1% suggested a dominance of low-severity disturbances.

*Overall*, the findings of this thesis reveal fine-scale processes as the main driver of beech forest dynamics. The terrestrial sampling inventory, the dendroecological disturbance reconstruction and the canopy gap analyses indicate the primeval beech forest of Uholka-Shyrokyi Luh to be structured by a small-scale mosaic of canopy gaps mainly <200 m<sup>2</sup> and large stand-replacing events to be rare. I hypothesise that in the absence of catastrophic events, this forest is in a dynamic equilibrium with a small-scale mosaic of patches in different developmental stages and will be able to maintain its current structure in the long run. The multi-layered, uneven-aged canopy structure with the strong dominance of beech and an exceedingly low abundance of early successional species support this hypothesis.

## Zusammenfassung

Natürliche Buchenwälder sind selten und unser Wissen über deren grossflächige Dynamik ist begrenzt, zumal sich bisherige Studien auf die Untersuchung relativ kleiner Gebiete beschränkten. Europas grösster Buchenurwald, der Wald von Uholka-Shyrokyj Luh in den Ukrainischen Karpaten, eignet sich hervorragend, um die Strukturmuster und Prozesse natürlicher Buchenwälder über grosse räumliche Skalen zu untersuchen. Das Ziel dieser Arbeit ist es deshalb, die Struktur und das Störungsregime dieses Waldes auf verschiedenen räumlichen Skalen zu analysieren. Dafür wurden drei methodische Ansätze gewählt. Zuerst wurden die wichtigsten strukturellen Waldparameter in einer (1) grossräumigen Stichprobeninventur erfasst und mit einer (2) Jahrringanalyse zur Untersuchung der Altersstruktur und der Störungsgeschichte vervollständigt. Anschliessend wurden die Bestandeslücken der gesamten Waldfläche anhand (3) hochauflösender WorldView-2 Stereosatellitenbilder analysiert. Die Kombination dieser terrestrischen, dendroökologischen und fernerkundlichen Methoden erlaubten es, ein Gesamtbild der Struktur- und Störungsmuster des Buchenurwaldes von Uholka-Shyrokyj Luh zu erstellen.

Das Ziel des *ersten Kapitels* ist es, die kleinflächige Altersstruktur und die Störungsdynamik dieses Buchenurwaldes zu untersuchen, um die Prozesse zu identifizieren, welche zu den kleinflächigen Bestandesstrukturen führten. Dieser Teil der Arbeit wurde auf vier subjektiv ausgewählten kreisförmigen Flächen von je 0.1 ha im Uholka Teil des Untersuchungsgebietes durchgeführt. Von allen lebenden Bäumen  $\geq 6$  cm BHD ( $n=164$ ) wurden der BHD und die Baumhöhe gemessen, sowie Bohrkerne zur Altersschätzung, Analyse der Wachstumsmuster und einer Rekonstruktion der Störungsgeschichte entnommen. Die Altersschätzungen zeigten, dass Buchen bis zu 550 Jahren alt werden können. Auf allen vier Flächen erstreckte sich die Altersspanne der Bäume über mindestens 300 Jahre, was bestätigte, dass die Waldstruktur sogar auf solch kleinen Flächen stark ungleichaltrig war. Folglich schien die Bestandesdynamik hauptsächlich durch periodische, schwache Störungen geprägt zu sein. Der hohe Prozentsatz an morschen Bäumen in der Ober-

schicht zeigte zudem, dass Einzelbäume anfällig auf Windbruch sind, was wiederum zur kleinräumigen Dynamik beitrug.

Im *zweiten Kapitel* werden die Ergebnisse der grossräumigen Stichprobeninventur vom Sommer 2010 vorgestellt. Diese lieferte repräsentative Schätzungen von Kennwerten und strukturellen Merkmalen dieses Buchenurwaldes, und erlaubten zusätzliche Rückschlüsse auf dessen Störungsregime. Auf 314 systematisch verteilten, kreisförmigen Stichprobenflächen von je 500 m<sup>2</sup> wurden Charakteristiken der lebenden Bäume, das stehende und liegende Totholz, die Verjüngung, die Grösse von Bestandeslücken und die vertikale Struktur der Bestandesschichten aufgenommen. Die Resultate zeigten, dass der weitgehend aus Buchen bestehende Wald eine mehrschichtige, ungleichaltrige Bestandesstruktur aufwies. Das Kronendach war durch kleine Lücken strukturiert, welche selten grösser waren als die Kronenschirmfläche weniger Einzelbäume. Auch anhand der Jahrringmuster liessen sich keine grossflächigen Störungen nachweisen, was darauf hindeutete, dass die Waldstruktur durch kleinräumige Prozesse dominiert wurde, welche auf grösseren räumlichen Skalen zu homogenen Bestandesmerkmalen führten.

Im *dritten Kapitel* wird eine Genauigkeitsanalyse von WorldView-2 Oberflächenmodellen (DOM) und deren Nutzen für die Modellierung von Waldbeständen präsentiert. Aufgrund der Verfügbarkeit präziser Referenzdaten wurde dieser Teil der Arbeit im Schweizer Mittelland durchgeführt. Dies erlaubte zudem den Vergleich mit einem DOM basierend auf ADS80 Luftbildern. Die WorldView-2 und ADS80 Bilddatensätze gehören zu den derzeit besten, kommerziell verfügbaren optischen Daten für Höhenmodellierung. Die Genauigkeit der DOM in den drei Landbedeckungsklassen Kraut- und Grasflächen, künstliche Flächen und Waldflächen wurde mit GPS Messungen, manuellen Stereo-Messungen und Daten aus flugzeuggestütztem Laserscanning als Referenz abgeschätzt. Waldflächen stellten sich als die schwierigste Landbedeckungsklasse für die Höhenmodellierung heraus. Dennoch sind DOM basierend auf WorldView-2 Bildern mit mittleren Fehlern <2m vielversprechend für die Modellierung von Waldbeständen.

Das Ziel des *vierten Kapitels* ist es, die Lückendynamik dieses Buchenurwaldes mit Hilfe von WorldView-2 Stereosatellitenbildern zu charakterisieren. Für die Lückenerkennung wurden zwei Ansätze getestet: erstens die

lokalen „Moving-Window“-Statistiken basierend auf dem Oberflächenmodell des Waldbestandes und zweitens eine überwachte, spektrale Bildklassifikation. Aufgrund der vielfältigen Topographie und der grossen Sichtwinkel des Satelliten bei der Aufnahme, scheiterte der erste Ansatz für die Modellierung des kleinräumigen Mosaiks von Bestandeslücken und lediglich Lücken  $>500 \text{ m}^2$  konnten kartiert werden. Die überwachte Klassifikation hingegen, welche auf einer Kombination des roten und gelben Spektralbereiches der Bilddaten basierte, zeigte, dass der Wald durch kleine Lücken mit einer mittleren Grösse von  $28.21 \text{ m}^2$  strukturiert war. Grössere Lücken  $>1000 \text{ m}^2$  hingegen waren selten. Der geringe Lückenanteil von  $<1\%$  legte eine Dominanz von wenig intensiven Störungen nahe.

*Zusammenfassend* verdeutlichen die Resultate dieser Arbeit, dass kleinräumige Prozesse die Buchenwalddynamik dominieren. Die terrestrische Stichprobeninventur, die dendroökologische Rekonstruktion der Störungen und die Kartierung der Bestandeslücken zeigen auf, dass der Buchenurwald Uholka-Shyrokyj Luh von einem kleinräumigen Mosaik von Bestandeslücken meist  $<200 \text{ m}^2$  geprägt ist und grossflächige Ereignisse selten sind. Vorausgesetzt, dass katastrophale Störungen ausbleiben, vermute ich, dass sich der Wald in einem dynamischem Gleichgewicht mit einem kleinräumigen Mosaik von Flächen in verschiedenen Entwicklungsphasen befindet und seine aktuelle Struktur über längere Zeiträume erhalten bleibt. Der mehrschichtige und ungleichaltrige Bestandesaufbau mit der starken Dominanz der Baumart Buche und dem verschwindend kleinen Vorkommen von frühen Sukzessions-Arten unterstützen diese Vermutung.