



Doctoral Thesis

Water availability and tree growth of Scots pine and pubescent oak a multiproxy analysis

Author(s):

Eilmann, Britta

Publication Date:

2008

Permanent Link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-005877411> →

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. 18106

**WATER AVAILABILITY AND TREE GROWTH OF SCOTS PINE AND PUBESCENT OAK
- A MULTIPROXY ANALYSIS**

A Dissertation submitted to

ETH ZURICH

for the degree of
Doctor of Sciences

presented by

BRITTA EILMANN

Dipl. Holzwirtin (University of Hamburg)
born July 01, 1976 in Walsrode (Germany)
citizen of Germany

Accepted on the recommendation of

Prof. Dr. N. Buchmann, examiner

Dr. A. Rigling, co-examiner

Prof. Dr. H. Bugmann, co-examiner

2008

Summary

Drought induced forest decline will gain in importance as the frequency and severity of drought events is expected to increase during the 21st century. Drought has also been discussed as a major cause for the decline of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) in the dry inner-Alpine valleys.

The impact of drought on tree performance, meaning the successful growth of trees, was examined in this thesis. The project aimed 1) to analyse the impact of severe drought on tree performance in the dry, low-elevated forest belt of the Swiss Rhone valley and 2) to evaluate the potential of Scots pine to maintain its dominance in these forests even under a projected hotter and drier climate. Tree growth under drought was analysed using different proxies (radial increment, wood anatomical parameters and stable carbon isotopes) on two time scales (inter- and intra-annual) using two different approaches (survey and experiment). The specific objectives of this thesis were 1) to identify the growth adaptation of Scots pine and pubescent oak (*Quercus pubescens* Willd.) to drought focussing on the inner-tree water conducting system, 2) to quantify the impact of drought and crown density on timing, quality and amount of wood formation in Scots pine and 3) to assess the process of storage depletion in Scots pine and estimate species potential to perform in a future climate.

Chapter I analyzed the adaptation of the water conducting system to drought for Scots pine and pubescent oak. Therefore tree growth at a passively irrigated site along an open water channel was compared with growth under naturally dry conditions. Under drought, the water conducting system of Scots pine consisted of fewer conduits with thinner cell walls but bigger lumen diameters. In contrast, the conduits were smaller in pubescent oak under drought. In addition, latewood width and therefore also the number of latewood vessels, was reduced. Tree growth of Scots pine was more dependant on water availability than tree growth of pubescent oak. Thus pubescent oak might have gradual advantages over Scots pine. However, also the growth of pubescent oak was retarded by drought, as seen by the frequent absence of latewood. Thus its success as a substitute species for Scots pine in a drier and hotter climate is doubtful.

In *chapter II* the synergetic impact of drought and crown density, as an estimator for tree vigour, on tree growth of Scots pine was analysed on an inter- and intra-annual scale within an irrigation experiment. The results showed that even trees of low crown density are able to recover from drought under improved environmental conditions, as all trees profited from

irrigation, as seen for example, by the increasing tree-ring width. Irrigation also led to a prolonging of the growth period by up to five weeks. Low crown density in combination with drought had a strong negative synergistic effect on tree growth as seen for example, by the long-lasting growth reduction after the drought year 2003 in trees of mid and low crown density. This might be due to progressing storage depletion; therefore the resistance against stressors might be rather low. As a result, increasing mortality, especially in trees of low crown density, should be expected under ongoing climate change.

In *chapter III* the analysis focused on the carbon metabolism and in particular on the process of storage depletion in Scots pine of diverse crown density classes, studied by $\delta^{13}\text{C}$ analysis on an inter- and intra-annual time scale. Results on the intra-annual scale showed that the assimilates produced at the beginning of the growth period were not sufficient to cover the carbon demand for tree growth. Thus stored carbohydrates were used for tree growth, even more in trees growing under low water supply. This continuous consumption of carbon reserves leads to storage depletion if the storages cannot be replenished within the growth period. On the annual scale, a high correlation between earlywood $\delta^{13}\text{C}$ and the current drought index and the immediate response of $\delta^{13}\text{C}$ to irrigation indicates high turnover rates. If high turnover rates were due to a reduced storage-pool, then all trees on dry sites, even if no or only slight signs of decline were observable in the crowns, would increasingly suffer under drought.

The results of the thesis contribute to a better understanding of the mechanistic role of drought in Scots pine decline, with implications not only for the future landscape development in Valais, but also for other dry regions in the inner-Alps. Under the assumption of a hotter and drier future climate, increasing mortality rates of Scots pines should be expected. Pubescent oak might act as a substitute species for Scots pine in today's climate but our results also indicate that in a hotter and drier climate pubescent oak might also soon reach the physiological limits.

Zusammenfassung

Durch Trockenheit verursachte Waldschäden werden an Bedeutung gewinnen, da für das 21. Jahrhundert eine Zunahme der Frequenz und Stärke von Trockenheit erwartet wird. Auch für die Schädigung der Waldföhre (*Pinus sylvestris* L.) in inneralpinen Trockentälern wird Trockenheit als Ursache diskutiert.

In der vorliegenden Studie wird der Einfluss von Trockenheit auf die Baupformance, d.h. das erfolgreiche Wachstum der Bäume, untersucht. Die Projektziele waren 1) zu analysieren, wie starke Trockenheit die Performance der Bäume in dem trockenen Waldgürtel des Schweizer Rhonetals beeinflusst und 2) das Potential der Waldföhre abzuschätzen, auch unter den prognostizierten wärmeren und trockeneren Bedingungen eine dominante Stellung in diesen Wäldern zu behalten.

Für die Untersuchung des Baumwachstums bei Trockenheit wurden verschiedene Proxys (radialer Zuwachs, holzanatomischer Parameter und stabile Kohlenstoffisotope) auf zwei Zeitskalen (inter- und intraannuell) mit Hilfe von zwei verschiedenen Ansätzen (Erhebung und Experiment) analysiert. Von besonderem Interesse war 1) die Identifizierung der Wachstumsanpassung von Waldföhre und Flaumeiche (*Quercus pubescens* Willd.) an Trockenheit unter besonderer Berücksichtigung des Wasserleitungsgewebes, 2) die Bestimmung des gemeinsamen Einflusses von Trockenheit und Kronendichte auf Timing, Qualität und Quantität der Holzbildung bei der Waldföhre, 3) die Abschätzung der fortschreitenden Leerung der Kohlenstoffspeicher bei der Waldföhre und ihr Potential, unter zukünftigen Klimabedingungen zu performen.

Die Anpassung des Wasserleitungssystems bei Waldföhren und Flaumeichen an Trockenheit ist Gegenstand von *Kapitel I*. Dazu wurde das Wachstum von passiv bewässerten Bäumen, die entlang offener Wasserkanäle wachsen, verglichen mit dem derjenigen Bäume, die unter natürlich trockenen Bedingungen wachsen. Unter trockenen Bedingungen bestand das Wasserleitungssystem der Waldföhre aus weniger Zellen, mit dünnere Zellwand aber grösserem Lumen. Im Gegensatz dazu waren die Wasser leitenden Zellen der Flaumeiche bei Trockenheit kleiner. Zusätzlich war die Spätholzbreite und damit die Anzahl der Spätholzgefässe bei der Flaumeiche stark reduziert. Das Wachstum der Waldföhre hing stärker von der Wasserverfügbarkeit ab als das der Flaumeiche. Daher mag die Flaumeiche zwar graduelle Vorteile gegenüber der Waldföhre haben, doch auch ihr Wachstum wurde

durch die Trockenheit stark behindert, wie z.B. das häufig fehlende Spätholz zeigt. Somit ist ihr Erfolg als Ersatz-Spezies in einem trockeneren und wärmeren Klima fragwürdig.

In *Kapitel II* wird der synergetische Effekt von Trockenheit und Kronendichte (als Schätzer der Baumvitalität) auf das inter- und intraanuelle Wachstum der Waldföhre in einem Bewässerungsexperiment analysiert. Die Ergebnisse zeigen, dass selbst Bäume mit geringer Kronendichte sich bei verbesserten Wachstumsbedingungen von der Trockenheit erholen konnten, da alle Bäume von der Bewässerung profitierten, wie an der zunehmenden Jahrringbreite zu erkennen war. Die Bewässerung hat auch die Wachstumsperiode um bis zu fünf Wochen verlängert. Trockenheit in Verbindung mit geringer Kronendichte hat einen negativ-synergetischen Effekt auf das Wachstum, wie am Beispiel der langfristigen Wachstumsdepression nach dem Trockenjahr 2003 bei Bäumen mittlerer und geringer Kronendichte erkennbar war. Ein Grund dafür könnte die fortgeschrittene Leerung der Kohlenstoffspeicher sein, die auch die Resistenz gegenüber Stressfaktoren herabsetzen würde. Somit ist im Zuge des derzeitigen Klimawandels eine weitere Zunahme der Mortalität, insbesondere bei Bäumen mit geringer Kronendichte, zu erwarten.

Kapitel III konzentriert sich auf den Kohlenstoffmetabolismus, insbesondere auf die Leerung der Kohlenstoffspeicher bei Waldföhren verschiedener Kronendichte, die mithilfe inter- und intraanueLLer $\delta^{13}\text{C}$ Analyse untersucht wurden. Die Ergebnisse auf intraanueLLer Ebene deuten darauf hin, dass die Assimilatproduktion zu Beginn der Vegetationsperiode nicht ausreichte, um den Kohlenstoffbedarf des Wachstums zu decken. Daher mussten gespeicherte Kohlenstoffe für das Wachstum herangezogen werden, insbesondere bei Bäumen mit geringer Wasserversorgung. Dieser kontinuierliche Verbrauch der Reserven führt zu einer Leerung des Speichers, wenn dieser bis zum Ende der Wachstumsperiode nicht aufgefüllt werden kann. Auf interanueLLer Ebene deutet die hohe Korrelation zwischen $\delta^{13}\text{C}$ im Frühholz und dem saisonalen Trockenheitsindex sowie die sofortige Reaktion des $\delta^{13}\text{C}$ auf Bewässerung auf hohe Turnover-Raten hin. Falls diese hohen Turnover-Raten auf reduzierte Speicherpools zurückzuführen sind, dann leiden alle Bäume auf Trockenstandorten zunehmend unter der Trockenheit, auch wenn sie keine oder nur geringe Anzeichen einer Kronenschädigung zeigen.

Die Resultate dieser Studie tragen dazu bei, den Mechanismus der Waldföhrenschädigung besser zu verstehen, mit Auswirkungen nicht nur für die zukünftige Landschaftsentwicklung im Wallis, sondern auch für andere inneralpine Trockentäler. Unter der Annahme eines wärmeren und trockeneren zukünftigen Klimas ist von einer weiteren Zunahme der

Waldföhrenmortalität auszugehen. Unter heutigen Klimabedingungen scheint die Flaumeiche die Waldföhre ersetzen zu können, jedoch weisen unsere Resultate darauf hin, dass auch die Flaumeiche unter trockeneren und wärmeren Bedingungen bald ihre physiologischen Grenzen erreicht.