

**Schlussbericht des Projektes**

# **Verbesserung der Klimaabhängigkeit der Wachstumsfunktion für Szenarienanalysen der Waldentwicklung – KliWaWa**

**im Forschungsprogramm Wald und Klimawandel**

**Brigitte Rohner, Heike Lischke, Peter Waldner, Esther  
Thürig**



Oktober, 2016



Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft  
WSL, Birmensdorf

### Autoren

Brigitte Rohner, Heike Lischke, Peter Waldner, Esther Thürig

Eidg. Forschungsanstalt WSL

Ein Projekt-Schlussbericht aus dem Forschungsprogramm «Wald und Klimawandel» von BAFU und WSL

([www.wsl.ch/wald\\_klima](http://www.wsl.ch/wald_klima))

Projektlaufzeit: 9.2010 – 10.2016.

### Zitierung

Rohner B., Lischke H., Waldner P., E. Thürig (2016). Verbesserung der Klimaabhängigkeit der Wachstumsfunktion für Szenarienanalysen der Waldentwicklung - KliWaWa. Birmensdorf, Eidg. Forschungsanstalt WSL

### Dank

Wir danken Dominique Meyer für ihre vorbereitenden Arbeiten, Beat Rihm für die Bereitstellung von Daten zur N-Deposition sowie Dirk Schmatz und Jan Remund für die Aufbereitung der Klimadaten.

Im pdf-Format zu beziehen über [www.wsl.ch/wald\\_klima](http://www.wsl.ch/wald_klima)

---

**Inhalt**

Zusammenfassung.....	5
Summary.....	7
Veröffentlichungen.....	9



## Zusammenfassung

Der Klimawandel hat Auswirkungen auf das Baumwachstum. Diese Auswirkungen unterscheiden sich je nach Baumart und Standort. Bei Überlegungen zur Potenzialabschätzung und Nachhaltigkeit im Schweizerischen Wald ist der Einbezug von Klimaeffekten deshalb wichtig, besonders im Hinblick auf gesteigerte Holznutzungstrends und internationale Verpflichtungen (Kyoto-Protokoll). Modellsimulationen zu Holznutzungspotenzialen gehen aber bisher von konstanten Umweltbedingungen aus (Stadelmann et al. 2016).

In diesem Projekt wurden Umweltabhängigkeiten des Einzelbaumwachstums untersucht und modelliert. Der Einfluss von Klima- und Umweltvariablen auf das Baumwachstum wurde mittels vorhandener Datengrundlagen analysiert und die Effekte wurden statistisch separiert. Die so eruierten Abhängigkeitsfunktionen sollen schliesslich Eingang finden in das Waldwachstumsmodell MASSIMO, damit das Waldwachstums- und Holznutzungspotenzial mit diesem Modell in Zukunft unter Einbezug des Klimawandels abgeschätzt werden kann.

Die Resultate dieser Studie sind in der Schweizerischen Zeitschrift für Forstwesen in der Publikation von Rohner et al. (2015) umfassend und verständlich dargestellt. Weitere wissenschaftliche Publikationen und Produkte des Projektes werden im Kapitel „Veröffentlichungen“ genannt.

Bisherige Beschreibungen von Klimaeffekten auf das Baumwachstum wurden meist aufgrund von Jahrringanalysen oder von Fallstudien mit langjährigen Messungen hergeleitet. Jahrringdaten haben den Vorteil, dass sie in jährlicher Auflösung vorliegen, ihre Aussagekraft ist aber oft regional begrenzt. Deshalb lassen Jahrringdaten meist keine repräsentativen Schlüsse für grosse und heterogene Gebiete wie beispielsweise die ganze Schweiz zu. Um gesamtschweizerische Aussagen machen zu können, wurden im Projekt KliWaWa Datensätze aus Jahrringanalysen und dem Schweizerischen Landesforstinventar (LFI) kombiniert. LFI-Daten repräsentieren die ganze Schweiz, allerdings lässt die geringe Frequenz der Aufnahmen (ca. alle 10 Jahre) nicht zu, Aussagen zur jährlichen Klimaabhängigkeit des Baumwachstums herzuleiten.

Um herauszufinden, welche klimatischen Variablen für das Baumwachstum relevant sind, wurde auf bestehende Jahrringdaten (Einzelbaum-Grundflächenzuwachs) zurückgegriffen (Weber et al. 2015). Verwendet wurden Daten von Buchen und Fichten von insgesamt 19 Standorten (13 Buchen- und 8 Fichtenstandorte, 2 davon mit beiden Baumarten). Anhand dieser Daten wurde untersucht, ob sich die Temperatur oder der Niederschlag stärker auf den jährlichen Zuwachs auswirkt. Ausserdem wurde getestet, welcher Zeitraum des Jahres den grössten Einfluss auf das Baumwachstum hat: Frühling (März-Juni), Sommer (Juli-September), Vegetationsperiode (März-September) oder physiologisches Jahr (Oktober Vorjahr-September). Durch Aggregation der Jahrringdaten auf fünf- und zehnjährliche Zuwächse wurde zudem ermittelt, ob die festgestellten Klimaeinflüsse auch zum Tragen kommen, wenn Zuwachsdaten in geringerer zeitlicher Auflösung vorliegen. Anhand dieser aggregierten Daten konnte ausserdem geprüft werden, ob klimatische Mittel- oder Extremwerte innerhalb der aggregierten Zeiträume stärker auf den Zuwachs wirken.

Basierend auf den Erkenntnissen der Jahrringstudie wurden klimatische Variablen definiert, welche dann in die statistische Modellierung der Zuwachsdaten des LFI

einbezogen wurden. Bei dieser Modellierung wurden Daten aller verfügbaren Baumarten verwendet (Fichte, Tanne, Föhre, übrige Nadelbaumarten, Buche, Eiche, Esche/Ahorn, übrige Laubbaumarten). Mittels nichtlinearer empirischer Modelle wurden verschiedene Kombinationen aus Standorts-, Bestandes- und Einzelbaumvariablen verglichen und pro Baumart das aussagekräftigste Modell ausgewählt. Potenzielle erklärende Standortvariablen waren die mittlere Temperatur innerhalb der Inventurperiode, das Verhältnis zwischen aktueller und potenzieller Evapotranspiration ( $ET_a/ET_p$ ), die nutzbare Feldkapazität ( $nF_k$ ), die Hangneigung, die Exposition, der pH-Wert und die Globalstrahlung sowie die N-Deposition. Potenzielle erklärende Variablen auf Bestandesebene waren die Bestandesdichte, der BHD der 100 dicksten Bäume pro ha ( $D_{dom}$ ), ein Freistellungsindex und der Waldtyp. Als potenzielle erklärende Variablen auf Einzelbaumebene wurden der BHD und ein Konkurrenzindex berücksichtigt.

Die Analyse der Jahrringdaten ergab für die Fichte und die Buche sehr ähnliche Resultate. Beide Baumarten wuchsen besonders gut, wenn Herbst und Winter des Vorjahres warm, April und Juni eher kühl und Juli und August eher warm waren. Ausserdem profitierten beide Baumarten von viel Niederschlag im Dezember des Vorjahres und zwischen März und Juni, sowie von eher wenig Niederschlag von Juli bis September. Diese Resultate lassen vermuten, dass eine gute Wassersättigung besonders in der Startphase des jährlichen Wachstums vorteilhaft ist. Der positive Effekt hoher Herbst- und Wintertemperaturen könnte bei der Fichte darauf hinweisen, dass sie unter solchen Bedingungen Photosynthese betreiben kann. Ausserdem könnten sich hohe Herbst- und Wintertemperaturen positiv auf das Wurzelwachstum und damit indirekt auf den jährlichen Zuwachs auswirken.

Die Jahrringdaten deuteten einheitlich darauf hin, dass die klimatischen Bedingungen des Vorjahres eine gewisse Relevanz für den jährlichen Zuwachs haben. Ausserdem wiesen jene Klimavariablen, die das gesamte physiologische Jahr einschliessen, besonders hohe Korrelationen mit dem Zuwachs beider Baumarten auf. Im Allgemeinen hatten Mittelwerte einen gleich grossen oder grösseren Einfluss auf den Zuwachs als Extremwerte, insbesondere beim Niederschlag. Diese Resultate der Jahrringstudie sprechen zusammenfassend dafür, sich für die Modellierung von mehrjährigen Zuwächsen auf Mittelwerte klimatischer Variablen zu konzentrieren, die das gesamte physiologische Jahr einschliessen. Allerdings bleibt ungewiss, ob diese Empfehlung für alle Baumarten gültig ist, auch wenn keine grossen Unterschiede zwischen Fichten und Buchen festgestellt wurden. Fichten und Buchen belegen überlappende ökologische Nischen. Studien zu weiteren Baumarten wären nützlich.

Die mit LFI-Daten ermittelten Effekte auf das Baumwachstum fielen weitgehend plausibel aus. Die meisten Effekte konnten baumartenübergreifend erklärt werden, bei anderen traten die unterschiedlichen physiologischen Eigenschaften einzelner Baumarten hervor. Für die meisten Baumarten war der Einzelbaumzuwachs negativ korreliert mit der Bestandesdichte (jedoch nicht bei der schattentoleranten Buche), dem  $D_{dom}$ , dem Konkurrenzindex und der Hangneigung. Meist positiv mit dem Zuwachs korreliert waren hingegen die Temperatur (beinhaltet auch Unterschiede in Höhe über Meer), die  $nF_k$  und das  $ET_a/ET_p$ -Verhältnis (nicht jedoch bei den vergleichsweise trockenheitstoleranten Eichen und Waldföhren). Die ermittelten Effekte von Boden-pH und N-Deposition fielen von Baumart zu Baumart unterschiedlich aus und lassen keine baumartenübergreifenden Aussagen zu.

## Summary

Climate change affects single tree growth. The magnitude of those effects depends on tree species and site conditions. To analyze forestry potential and sustainability for a specific forest site, climate change related effects have to be taken into account, especially in respect of increasing trends in timber use and international obligations (Kyoto protocol). Today's empirical model used to analyze forestry potential (Stadelmann et al. 2016) assumes that environmental parameters remain unchanged over time, a shortcoming we would like to adjust.

In this project climate-growth relations for single-trees were analyzed using existing datasets and the effect sizes of included variables were statistically separated. If possible, the relations found in this project will be integrated into the MASSIMO growth model for climate sensitive assessment of future forest development and harvesting potential.

The results of this study were discussed in detail in various peer-reviewed articles and one book chapter; see "Veröffentlichungen".

Much knowledge of climate–growth relations has been gained by studying tree rings or in case studies using long-term records. Tree ring studies have the advantage of annual resolution; their validity is, however, often regionally limited. To allow a Swiss-wide analysis of climate-growth relations, the project KliWaWa combined data from tree ring studies with data from the Swiss National Forest Inventory (NFI). NFI data is available Swiss-wide but in lower monitoring frequency (ca. all 10 years). Therefore, annual climate-growth relations cannot directly be assessed by NFI data alone.

To find climate variables relevant for tree growth, existing tree ring chronologies were used (Weber et al. 2015): data from beech and spruce trees from 19 sites (13 beech and 8 spruce sites, 2 overlaps). The effects of precipitation and temperature on annual increments of beech and spruce were analyzed and their effect size compared. Further, it was tested in what time period those variables showed the largest effect on tree growth: spring (March- June), summer (July – September), growing season (March – September) and physiological year ( October previous year – September). To find out whether climate effects on tree growth could also be found in data with lower temporal resolution as often found in NFIs, tree ring data was aggregated to 5 and 10 year increments. Those aggregated tree ring series were further used to find out whether mean or extreme values of climatic parameters showed a stronger effect on tree growth.

Relevant climatic variables defined in the tree ring analysis were included in the statistical modelling of increment with NFI data. Data of all available tree species were used (spruce, fir, pine, further conifers, beech, oak, ash/maple, further deciduous tree species). Non-linear empirical models with different combinations of site-, stand- and single-tree-variables were compared and for each tree species the best model was selected. The following independent site-variables were tested in the full model: temperature, ratio of actual evapotranspiration over potential evapotranspiration ( $ET_a/ET_p$ ), field capacity ( $nF_k$ ), slope, exposition, pH-value and global radiation. As potential independent variables on stand level, stand density, average DBH of the 100 strongest trees ( $D_{dom}$ ), a thinning

index and forest type were tested. In addition, DBH and a competition index were considered as potential independent variables on single tree level.

The analysis of tree ring data revealed very similar results for beech and spruce. Both tree species grew well, if autumn and winter of the previous year were warm, April and June rather fresh and July and August rather warm. More so both tree species benefited from precipitation in December of the previous year as well as between March and June. However, rather little precipitation between July and September was beneficial. Those results indicate that water saturation is especially important at the beginning of the growing season. The positive effect of warm autumns and winters may indicate that spruce is able to photosynthesize under such conditions. In addition, warm autumn and winter temperatures may stimulate root growth, which could have an indirect positive effect on annual increments.

All in all tree ring data indicated a certain relevance of previous year climate on tree growth. Climate variables aggregated over the whole physiological year correlated especially well with tree growth. Further, average values had the same or a stronger effect on tree growth than extreme values, especially regarding precipitation. Summarizing those results, the tree ring study revealed that average values aggregated over the whole physiological year should be used when modeling multiple year tree increments. It is, however, unclear whether this proves true for all tree species, just because the results for beech and spruce were so similar. Beech and spruce trees occupy overlapping ecological niches. Studies of further tree species would be useful.

The effect sizes and directions of the independent variables on tree growth found by analyzing the NFI-data were plausible. Most effects could be explained over all tree species, for some effects the differences between tree species could be explained physiologically. For most tree species single tree growth was negatively correlated with stand density (not so for shade tolerant beech trees), Ddom, competition index and slope. Temperature, also containing differences in altitude above sea level, correlated positively with tree growth, as did nFK and ETa/ETp (not so for drought tolerant oak and pine trees). Effects of soil-pH and N-deposition, however, varied among the tree species and left some open questions that require further investigation.

## Literaturverzeichnis für die Zusammenfassung

- Weber, P., C. Heiri, M. Lévesque, T. Sanders, V. Trotsiuk and L. Walthert (2015). Zuwachs und Klimasensitivität von Baumarten im Ökogramm der kollinen und submontanen Stufe. Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen 166 (6): 380-388.
- Stadelmann G, Herold A, Didion M, Vidondo B, Gomez A, Thürig E (2016) Holzerntepotenzial im Schweizer Wald: Simulation von Bewirtschaftungsszenarien. Schweiz Z Forstwes 167(3): 152-16

## Veröffentlichungen

- Rohner, B. und E. Thürig (2015). Entwicklung klimasensitiver Wachstumsfunktionen für das Szenariomodell „Massimo“. Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen 166 6: 389-398
- Rohner, B., P. Weber und E. Thürig (2016). Bridging tree rings and forest inventories: How climate effects on spruce and beech growth aggregate over time. Forest Ecology and Management 360: 159–169
- Rohner, B., P. Waldner, H. Lischke und E. Thürig (in prep). Nonlinear mixed models for tree growth: Combined effects of climate, nutrients, site, stand, and management.

Mitarbeit an der wissenschaftlichen Synthese:

- Rohner, B., S. Braun, P. Weber und E. Thürig (2016). Wachstum von Einzelbäumen: Das Klima als Baustein im komplexen Wirkungsgefüge. In: Wald im Klimawandel. Eds: A. R. Pluess, S. Augustin und P. Brang. Bern, Haupt.