

## Klimasymposium Forstliche Forschung

**Donnerstag, 1. März 2012 in Freising**

- 9:00** **Tagungsbüro** (vor dem Hörsaal)  
Entgegennahme der Tagungsgebühr  
Ausgabe der Tagungsunterlagen
- 9:30** **Begrüßung und Einführung**  
Olaf Schmidt,  
Leiter des Zentrums Wald Forst Holz
- 9:40** **Eröffnungsrede**  
Helmut Brunner,  
Staatsminister für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten
- 10:00** **Klimawandel – ein Fall für das Risikomanagement**  
Dr. Ulrich Ebel,  
Vizepräsident, Swiss Re Europe S.A., Niederlassung Deutschland
- 10:30** **Kaffeepause**
- 11:00 – 12:00** **VORTRAGSREIHE 1**  
Moderation: MR Günter Biermayer, StMELF
- 11:00** **Verbessern Durchforstungseingriffe die Trockenheitstoleranz der Fichte? Erste Ergebnisse und offene Fragen**  
Prof. Dr. Christian Ammer, Universität Göttingen
- 11:20** **Waldtypenkarten und Artverbreitungsmodelle liefern Planungsgrundlagen für Bergwälder im Klimawandel**  
Prof. Dr. Jörg Ewald, Dr. Birgit Reger, HSWT
- 11:40** **Diskussion**
- 12:00 – 13:30** **Mittagspause**  
Gelegenheit zum Imbiss in der Cafeteria oder der Mensa

- 13:30 – 16:00**                    **VORTRAGSREIHE 1**  
Moderation: Dr. Stefan Nüßlein, StMELF
- 13:30**                            **Flächendeckende, digitale Standortinformation für die Forst-  
praxis – Grundlage für die Anpassung an den Klimawandel**  
Josefine Beck, Dr. Elke Dietz, Wolfgang Falk, LWF
- 13:50**                            **Waldschutz im Klimawandel – Neue Risiken zwingen zur  
Anpassung**  
Dr. Ralf Petercord, PD Dr. Gabriela Lobinger, LWF
- 14:10**                            **Diskussion**
- 14:30**                            **Kaffeepause**
- 15:00**                            **Die Herkunftsfrage im Klimawandel**  
Dr. Monika Konnert, ASP
- 15:20**                            **Ökologische Untersuchungen an einer Kurzumtriebsplantage in  
Kaufering**  
Martina Zacios, LWF
- 15:40**                            **Diskussion**
- 16:00**                            **Schlusswort und Ende der Veranstaltung**

## Klimasymposium Forstliche Forschung

**Donnerstag, 1. März 2012 in Freising**

- 11:00 – 12:00**      **VORTRAGSREIHE 2**  
Moderation: Prof. Dr. Thomas Knoke, TUM
- 11:00**              **Sturmwurfgefährdung der Wälder Bayerns**  
Dr. Daniel Fröhlich, LWF
- 11:20**              **Bäume in einer extremen Zukunft – von Simulationen und Manipulationen**  
Prof. Dr. Anette Menzel, Steffen Taeger, TUM
- 11:40**              **Diskussion**
- 12:00 – 13:30**      **Mittagspause**  
Gelegenheit zum Imbiss in der Cafeteria oder der Mensa
- 13:30 – 16:00**      **VORTRAGSREIHE 2**  
Moderation: Prof. Dr. Volker Zahner, HSWT
- 13:30**              **Trockenstress bei Jungbuchen**  
Ulrich Zang, Universität Bayreuth
- 13:50**              **Wie reagiert die Buche auf Wassermangel und Ozonbelastung? - Ergebnisse von bayerischen Fallstudien**  
Dr. Manuela Baumgarten, LWF/TUM
- 14:10**              **Diskussion**
- 14:30**              **Kaffeepause**
- 15:00**              **Totholz als Kohlenstoffsенke in bewirtschafteten und unbewirtschafteten Wäldern**  
Inken Krüger, Universität Bayreuth
- 15:20**              **Kohlenstoffbilanz der bayerischen Forst- und Holzwirtschaft**  
Dr. Daniel Klein, LWF
- 15:40**              **Diskussion**
- 16:00**              **Schlusswort und Ende der Veranstaltung**

**Kurzfassungen der Vorträge zum  
Klimasymposium Forstliche Forschung  
Donnerstag, 1. März 2012 in Freising**

**Inhalt**

<b>Vortragsreihe 1</b>	<b>2</b>
<i>Verbessern Durchforstungseingriffe die Trockenheitstoleranz der Fichte? - Erste Ergebnisse und offene Fragen</i>	2
<i>Waldtypenkarten und Artverbreitungsmodelle liefern Planungsgrundlagen für Bergwälder im Klimawandel</i>	5
<i>Bayernweite, digitale Standortinformation für die Forstpraxis Grundlage für die Anpassung an den Klimawandel</i>	8
<i>Waldschutz im Klimawandel - Neue Risiken zwingen zur Anpassung</i>	11
<i>Die Herkunftsfrage im Klimawandel</i>	14
<i>Hydrologische und ökologische Aspekte einer Kurzumtriebsplantage bei Kaufering</i>	17
<b>Vortragsreihe 2</b>	<b>20</b>
<i>Sturmwurfgefährdung der Wälder Bayerns - Zusammenfassung</i>	20
<i>Bäume in einer extremen Zukunft – von Simulationen und Manipulationen</i>	23
<i>Reaktion von Jungbuchen auf Trockenstress</i>	26
<i>Wie reagiert die Buche auf Wassermangel und Ozonbelastung? – Ergebnisse von bayerischen Fallstudien</i>	29
<i>Totholz als Kohlenstoffsенke in bewirtschafteten und unbewirtschafteten Wäldern</i>	32
<i>Die Kohlenstoffbilanz der Bayerischen Forst- und Holzwirtschaft</i>	35

## Vortragsreihe 1

### **Verbessern Durchforstungseingriffe die Trockenheitstoleranz der Fichte? - Erste Ergebnisse und offene Fragen**

Prof. Dr. Christian Ammer<sup>1</sup>, Timo Gebhardt<sup>1</sup>, Prof. Dr. Rainer Matyssek<sup>2</sup>, Dr. Karl-Heinz Häberle<sup>2</sup>, PD Thorsten Grams<sup>2</sup>, Winfried Grimmeisen<sup>3</sup>, Christoph Schulz<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Universität Göttingen Abt. Waldbau und Waldökologie der gemäßigten Zonen,  
<sup>2</sup> TUM Lehrstuhl für Ökophysiologie der Pflanzen, <sup>3</sup> LWF Abt. 2 Boden und Klima

#### **Wo liegt das Problem?**

Trotz des von vielen Landesforstverwaltungen vorangetriebenen Umbaus von Fichtenreinbeständen in Mischbestände ist die Fichte (*Picea abies* [L.] Karst.) nach wie vor die mit weitem Abstand häufigste und ökonomisch wichtigste Baumart in Deutschland. Nicht zuletzt aufgrund ihres flachen Wurzelwerks gilt die Fichte allerdings als nur eingeschränkt tolerant gegenüber langanhaltenden Trockenphasen (Röhrig 1980; Schmidt-Vogt 1987).

Angesichts der von der Klimaforschung prognostizierten drastischen Zunahme der Häufigkeit und Dauer von Trockenphasen infolge Verringerung der Sommerniederschläge (Spekat et al. 2007) dürfte der Anbau der Fichte risikobelasteter werden als heute (Kölling et al. 2009). Eine naheliegende Strategie diesem Risiko zu begegnen, ist der Baumartenwechsel. Dieser kann sich jedoch angesichts der von der Fichte eingenommenen Fläche und ihrer wirtschaftlichen Bedeutung für den Waldbesitzer nur auf Teilbereiche erstrecken und muss sich zudem zunächst auf Bestände beschränken, die in absehbarer Zeit verjüngt werden.

Es stellt sich daher die Frage, ob und gegebenenfalls wie die auf großen Flächen vorhandenen jungen Fichtenbestände durch waldbauliche Maßnahmen so beeinflusst werden können, dass sie trotz der für die nächsten Jahrzehnte prognostizierten Verschärfung der klimatischen Bedingungen (i) die Erntereife unbeschadet erreichen können oder (ii) solange vital bleiben, bis sie in einigen Jahrzehnten durch einen Voranbau in Mischbestände umgewandelt werden können.

Der hier vorgestellte, noch andauernde Versuch soll klären, inwieweit Durchforstungen in jungen Fichtenbeständen zu erhöhter Toleranz der begünstigten Ausleseebäume gegenüber sommerlicher Trockenheit führen.

#### **Was wurde gemacht?**

Die Untersuchung wird in einem bei Versuchsbeginn 26jährigen und bis dahin undurchforsteten Fichtenreinbestand im Tertiär-Hügelland südlich des Marktes Pfeffenhausen (Landkreis Landshut) durchgeführt (489 m über NN, 7,9 °C Jahresdurchschnittstemperatur, 778 mm durchschnittlicher Jahresniederschlag). Der vom

Eigentümer freundlicherweise zur Verfügung gestellte Bestand wurde im Jahr 1982 mit Baum-Abständen von ca. 1,5 m x 1,8 m (entspricht ca. 3700 Bäume ha<sup>-1</sup>) begründet und befindet sich in bäuerlichem Privatbesitz.

Innerhalb des Bestandes wurde im Frühjahr 2008 eine Versuchsfläche von 50 m x 75 m ausgewiesen. Die Fläche wurde dabei in 6 Quadranten unterteilt, mit jeweils 2 Flächen pro Durchforstungsvariante. Auf jeder Messfläche wurden nach den bekannten Kriterien (Vitalität, Qualität, Verteilung) zwischen 26 und 30 Ausleseebäume identifiziert. Dies entspricht 416 bis 480 Ausleseebäumen pro ha. Alle Ausleseebäume einer Messfläche wurden mit Sensoren bestückt, die über den von der Transpiration der Bäume getriebenen Wasserfluss im Stamm und damit den Wasserverbrauch der Krone Aufschluss geben. Zusätzlich wurden insgesamt 60 Bodenfeuchtesensoren in verschiedenen Bodentiefen installiert. Der Bestandesniederschlag wird laufend über Rinnen erfasst. Bei der Durchforstung wurde auf je zwei Messflächen (i) die Bestandesdichte beibehalten (0-Fläche), je Auslesebaum ein bis zwei Bedränger entnommen (konventionelle Auslesedurchforstung), bzw. bis auf die Ausleseebäume alle anderen Baumindividuen entfernt (sehr starke Auslesedurchforstung). Im Ergebnis wurde die Ausgangsgrundfläche von im Mittel 44,15 m<sup>2</sup>/ha um 35 % (konventionelle Durchforstung) bzw. 70 % (sehr starke Durchforstung) abgesenkt.

### **Was passierte nach den Durchforstungen?**

Zunächst einmal setzte ein, was zu erwarten war: Es erhöhte sich der Bestandesniederschlag zum Beispiel im Jahr 2010 im Vergleich zu den undurchforsteten um  $11 \pm 2$  % und  $39 \pm 6$  %, die konventionell bzw. stark durchforsteten Varianten betreffend. Dieser Effekt und die insgesamt geringere Transpiration wirkten sich unmittelbar auf die Bodenfeuchtigkeit aus, die in allen Bodentiefen über das Niveau in den Kontrollflächen anstieg.

Interessant ist nun der Vergleich der Transpiration zwischen Ausleseebäumen und Gesamtbestand. So transpirierten die Ausleseebäume der stark durchforsteten Variante nahezu ungehemmt mit einem höheren Wasserverbrauch als die Ausleseebäume der anderen Messflächen. Der gegenteilige Befund ergibt sich dagegen, wenn man die Transpiration des Gesamtbestandes betrachtet. Hier zeigt sich, dass der undurchforstete Bestand weitaus am meisten Wasser verbraucht.

Die anhaltend hohe Transpiration der Ausleseebäume in der stark durchforsteten Variante erklärt sich aus dem größeren Angebot je Individuum an Niederschlagswasser und Strahlung nach Freistellung. Eine Folge davon ist der Befund, dass die Ausleseebäume in den ersten zwei Jahren nach der Durchforstung einen wesentlich größeren Grundflächenzuwachs aufwiesen als die Vergleichsbäume der undurchforsteten Variante. So wuchsen die stark begünstigten Ausleseebäume im Vergleich zu jenen der undurchforsteten Variante um mehr als das Doppelte. Auch die konventionell geförderten Bäume erzielten einen 1.5-fach höheren Zuwachs. Die Zuwachssteigerung der Ausleseebäume bei starker Durchforstung reichte jedoch noch nicht aus, die deutliche Produktionseinbuße pro Bestandsgrundfläche zu kompensieren. Diese Lücke wird sich in den nächsten Jahren aber zunehmend schließen.

## Wie geht es weiter?

Noch sind die Verhältnisse auf den Versuchspartellen zu sehr durch Übergangszustände infolge der Auflichtung geprägt, als dass generelle Empfehlungen für die forstliche Praxis gegeben werden können. So ist nicht klar, ob und wenn ja wie schnell der einsetzende Kronenschluss durch dann verschärfte Konkurrenz die bis dahin an eine höhere Wasser- und Lichtverfügbarkeit „gewöhnten“ Bäume auf den Durchforstungsvarianten vor Probleme stellen wird. Auch bleibt die künftige Bedeutung der sich auf den stark durchforsteten Flächen explosionsartig entwickelnden Bodenvegetation abzuwarten. Unklar ist auch welchen Umfang der im Gegensatz zur oberirdischen Biomasse bislang kaum erfolgte Ausbau der Feinwurzelbiomasse auf den Durchforstungsvarianten künftig annehmen wird. Haben die Wurzeln den freigewordenen Bodenraum erst einmal wieder komplett besetzt, könnten die wenigen Auslesebäume am Ende genauso viel Wasser verbrauchen wie die größere Individuenzahl der Kontrollflächen. Ausfälle durch Dürreereignisse wiegen dann unter Umständen umso schwerer als bei Risikoverteilung auf mehr Einzelbäume. Insgesamt ist nach derzeitigem Stand dennoch anzunehmen, dass kräftige Durchforstungen eher entlastend auf den Wasserhaushalt der verbleibenden Bäume wirken.

## Literatur

Eine Liste der hier zitierten Literatur findet sich einem ausführlichen Beitrag zum hier vorgestellten Thema in der zur Tagung erscheinenden Ausgabe von LWF-aktuell, Heft 87 (2012)

## **Waldtypenkarten und Artverbreitungsmodelle liefern Planungsgrundlagen für Bergwälder im Klimawandel**

Prof. Dr. Jörg Ewald, Hochschule Weihenstephan-Triesdorf,  
Dr. Birgit Reger, LWF Abt. 2 Boden und Klima

Im Rahmen des EU-Projektes WINALP entstand, in enger Abstimmung mit den Projekten des Bayerischen Klimaprogramms 2020, ein Waldinformationssystem, das digitale Standortinformationen für den bayerischen Alpenraum enthält. Hauptprodukt dieses Systems ist eine digitale Waldtypenkarte im Maßstab 1:25.000, die als Planungsgrundlage für die Waldbewirtschaftung, einschließlich der Beurteilung der durch den Klimawandel bedingten Risiken im Wuchsgebiet 15 dient (Reger & Ewald 2011).

### **Vom Punkt auf die Fläche zum Anwender**

Die GIS-gestützte Modellierung von Waldtypen einheitlicher Standortbedingungen und natürlicher Vegetation wurde in Südtirol und Tirol entwickelt (Hintner 2011, Wallner & Simon 2011). Das Zusammenspiel von Eichpunkten und Flächeninformationen liefert eine auf die forstliche Anwendung zugeschnittene Waldtypenkarte, deren Einheiten in einem Handbuch erläutert werden. Im bayerischen Teil von WINALP wurde dieses Verfahren durch Verwendung besonders hochwertiger Punkt- (Vegetationsaufnahmen, Leitprofile, Forstinventurdaten) und Flächendaten (Bodenkarten, Klimamodelle und -szenarien) ausgebaut. Die Waldtypenkarte mit Beschreibungen ist unter <http://arcgisserver.hswt.de/winalp> online recherchierbar (Reger & Ewald 2012) und wird künftig über das Waldinformationssystem der Bayerischen Forstverwaltung und das betriebseigene WebGIS der Bayerischen Staatsforsten bereitgestellt.

### **T-R-F: Waldtypen im Standortwürfel**

Das Gros der Waldtypen („Normalstandorte“) wurde in drei Schritten modelliert. Als erstes wurden an Hand von Vegetationsaufnahmen (Zeigerwerte) und Umweltvariablen (Relief, Klima, Boden) Regressionsmodelle zur Berechnung der ökologischen Faktoren Temperatur (T, Reger et al. 2011), Bodenreaktion (R) und Wasserhaushalt (F) geeicht. Diese wurden auf Grundlage der Flächeninformationen im GIS für das ganze Wuchsgebiet regionalisiert (sog. Indexkarten). Schließlich wurden die drei Gradienten in Stufen unterteilt, was 26 Waldtypen als Ausschnitte des durch T, R und F aufgespannten Standortwürfels ergab. Auf der Waldtypenkarte ist, hinter der Verschlüsselung der Baumartenkombination, in jedem Polygon die Einstufung der drei Faktoren als Code ablesbar (z. B. Bu 113 in Abbildung 1).

22 weitere Waldtypen so genannter „Sonderstandorte“, welche durch diese Faktorenkombination nicht hinreichend beschrieben werden, wurden nach individuellen Regeln (besondere Geländeformen wie Felshänge, Schluchten, Auen) ausgeschieden oder aus der Alpenbiotopkartierung übernommen.



Eine Auswertung von im Zuge von Forstinventuren gemessenen Wuchshöhen von Fichten im Alter 100 zeigte hochsignifikante Unterschiede zwischen den einzelnen Waldtypen– ein Hinweis auf die forstliche Relevanz des Projekts (Klemmt & Ewald 2011).

### Habitateignungsmodelle und Anbaurisiko

Die erwartete Reaktion der Baumarten auf Klimaerwärmung wurde mit Habitateignungsmodellen für die 11 wichtigsten Baumarten prognostiziert. Dabei wurden mit Regressionsmodellen (GAM) aus Forstinventurdaten und heute wirksamen Umweltfaktoren für die Gesamtfläche aktuelle Vorkommenswahrscheinlichkeiten berechnet (Mellert et al. 2011). Wärmere Bedingungen, die heute im Nordalpenraum noch nicht vorkommen, wurden durch Hinzunahme von Eichpunkten im Alpenvorland und im Jura berücksichtigt. Mit denselben Modellen wurde dann unter Verwendung regionalisierter Klimaszenarien die Habitateignung im Jahr 2100 berechnet. Das Klimarisiko wurde als die prognostizierte Änderung der Habitateignung (Differenz 2100-aktuell) definiert (Ewald et al. 2011) und nach Waldtypen ausgewertet (Abb. 1). Das Klimarisiko bildet neben Schutzwirkung, Ertragsfähigkeit und aktueller Eignung ein Kriterium in der multikriteriellen Bewertung der walddtypenspezifischen Baumarteneignung.

Die Mehrheit der Baumarten dürfte in den Bayerischen Alpen einer moderaten Erwärmung von 2° (B1-Szenario) gewachsen sein. Bei wärmebedürftigen Arten und in höheren, kalten Lagen ist sogar mit einer Verbesserung der Wuchsbedingungen zu rechnen. Für die Fichte wird an submontanen, relativ warmen Standorten eine deutliche Abnahme der Eignung prognostiziert (Abb. 1).

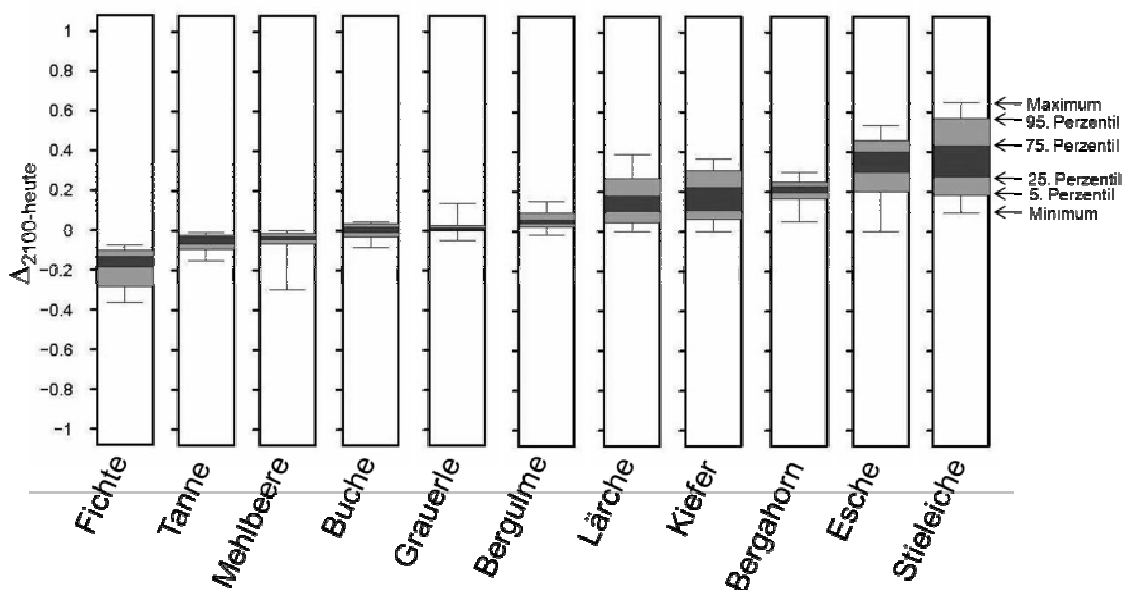


Abb. 1: Unter Klimaänderungsszenario B1 erwartete Änderung der Habitateignung von 11 Baumarten im Waldtyp Bu 113 (Submontaner mäßig frischer Carbonat-Bergmischwald); Boxplotdarstellung.

## Literatur

- Ewald, J., Mellert, K.-H. & Kölling, C. - 2011 - Die richtigen Baumarten für den Bergwald von morgen. AFZ-Der Wald 24/2011: 23.
- Hintner, C. - 2011 - Waldtypen als Hilfe für die Waldbewirtschaftung. In: Ewald, J. (Hrsg.) - Waldtypen, Vegetation und Klimawandel im Vinschgau, einem inneralpinen Trockental. Kessel, Remagen-Oberwinter.
- Klemmt, H.-J. & Ewald, J. - 2011 - Wachstum der Fichte nach Waldtypen. AFZ-Der Wald 24/2011: 22.
- Mellert, K. H., Fensterer, V., Küchenhoff, H., Reger, B., Kölling, C., Klemmt, H. J., Ewald, J. - 2011 - Hypothesis-driven species distribution models for tree species in the Bavarian Alps. Journal of Vegetation Science 22: 635-646.
- Reger, B. & Ewald, J. - 2011 - Waldtypenkarte Bayerische Alpen. Eine neue Planungshilfe für die Forstpraxis. AFZ-Der Wald 24/2011: 14-16.
- Reger, B. & Ewald, J. - 2011 - Der Bergwald geht online. Technik in Bayern 2012/1.
- Reger, B., Kölling, C. & Ewald, J. - 2011 - Modelling effective thermal climate for mountain forests in the Bavarian Alps: Which is the best model? Journal of Vegetation Science 22: 677-687.
- Wallner, M. & Simon, A. - 2011 - Ewald, J. (Hrsg.) - 2011 – Waldtypenkarte für Beratung und Bewirtschaftung in Tirol. AFZ-Der Wald 24/2011: 17-18.

## **Bayernweite, digitale Standortinformation für die Forstpraxis Grundlage für die Anpassung an den Klimawandel**

Josefine Beck<sup>1</sup>, Dr. Elke Dietz<sup>2</sup>, Wolfgang Falk<sup>1</sup>  
LWF, <sup>1</sup>Abt. 2 Boden und Klima; <sup>2</sup>Abt. 4 Forsttechnik, Betriebswirtschaft, Holz

Die Standortbedingungen in den Wäldern Bayerns verändern sich im Zuge des Klimawandels. Änderungen in der Niederschlagsverteilung und Erhöhung der Temperatur stellen Förster vor eine große Herausforderung: Sie sollen heute Baumarten empfehlen, die auch in 100 Jahren noch zum jeweiligen Standort passen. Im Projekt »Karten für die Zukunft« erarbeitet die Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft ein flächendeckendes, digitales Standortinformationssystem für die Bayerische Forstverwaltung. Es soll zusammen mit den Ergebnissen aus dem Projekt »Bäume für die Zukunft« und anderen Projekten als Beratungsgrundlage den Waldbesitzern und damit dem Wald zu Gute kommen. Im Ergebnis wird dieses System Basis-Karten über Bodeneigenschaften und Karten zum Anbaurisiko verschiedener Baumarten heute und in Zukunft bereitstellen.

### **Warum ein digitales Standortinformationssystem?**

Im Vergleich zu den bisherigen, analogen Standortkarten mit Baumarteneignungstabellen und Operat ermöglicht ein digitales Standortinformationssystem nicht nur das schnelle Abrufen einer Vielzahl an Informationen per Mausklick, es erlaubt auch eine schnelle Anpassung an sich wandelnde Umweltbedingungen. Durch die im System hinterlegten Rechen- und Bewertungsvorschriften können bei neuen Erkenntnissen Kriterien überarbeitet bzw. ergänzt und dann im Anschluss erneut auf die Fläche übertragen werden. Eine bayernweit einheitliche Betrachtung ist dabei eine Grundvoraussetzung, die durch regionale Besonderheiten verfeinert wird.

### **Was beinhaltet das Standortinformationssystem?**

Das System umfasst zunächst, in Anlehnung an die bisherigen Materialien zur Standortsbeschreibung, Information zu Bodeneigenschaften und zur Baumarteneignung. Die Bodeninformation wird in Basis-Karten mit folgenden Inhalten abgebildet:

- Substrat (Bodenart und -schichtung)
- Basenausstattung
- Wasserhaushalt

Die Flächeninformation leitet sich aus der Übersichtsbodenkarte 1:25.000 sowie aus geologischen Karten des Landesamts für Umwelt und aus Daten zur Geländeoberfläche der Bayerischen Vermessungsverwaltung ab. Durch statistische Verfahren und digitale Bodenkartierung werden die Flächen noch untergliedert und der Maßstab verfeinert. Diesen Flächen werden repräsentative Bodenprofile zugewiesen, so

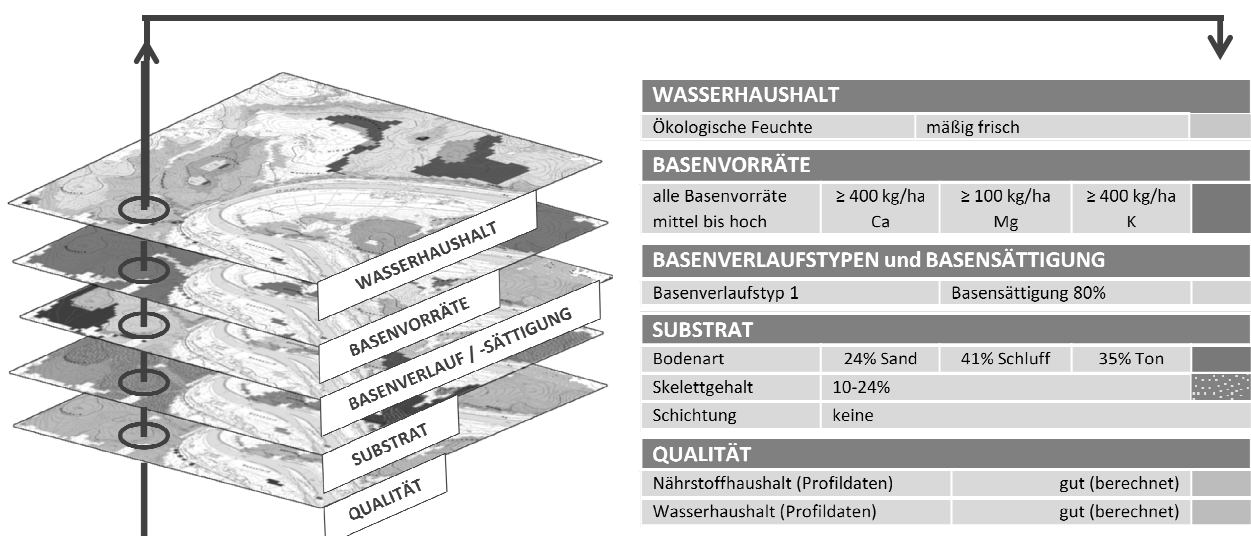
dass hinter den Flächen chemisch und physikalisch gemessene Daten stehen, die wiederum Grundlage für weitere Berechnungen sind.

Die am Rechner erarbeitete Information wurde durch ca. 13.000 Bohrstockansprachen und zusätzliche Vegetationsaufnahmen vor Ort geprüft. Insgesamt wurden mehr als 1.750 analysierte Profile zugewiesen. Die so erzielte Qualität wird im Standortinformationssystem hinterlegt und als zusätzliche Basis-Karte abrufbar sein.

Das Anbaurisiko der wichtigsten Wirtschaftsbaumarten wird – heute und in Zukunft – in Themenkarten dargestellt. Grundlage für die Baumarteneignung ist die Bewertung des abiotischen Anbaurisikos. Im Projekt „Bäume für die Zukunft“ wurden hierzu bayern- und europaweite Beobachtungen zu den Ansprüchen zahlreicher Baumarten ausgewertet und die der Verbreitung zugrundeliegenden Muster in Berechnungs- und Bewertungsvorschriften umgesetzt. Diese Verfahren wurden dann mit den konkreten Klima- und Bodendaten des Standortinformationssystems verknüpft und liefern dem Anwender die Möglichkeit eine abgewogene, zukunftssträchtige Anbauentscheidung zu treffen. Die neuen Baumarteneignungskarten lösen die aktuell an den Ämtern für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten zur Beratung vorliegenden Klimarisikokarten [Kölling et al. 2009] ab.

## Wie kann das Standortinformationssystem genutzt werden?

Das digitale System wird für den Beratungsfall einen flächengenauen Abruf der Standortinformation ermöglichen. Neben der kartografischen Darstellung kann nach Auswahl der betroffenen Fläche und der Themenkarten (hier beispielhaft die Basis-Karten) die abgerufene Information auch tabellarisch ausgegeben werden (siehe auch [Beck et al. 2012]). Bei der Interpretation des Anbaurisikos muss selbstverständlich zusätzlich durch den Bewirtschafter und Berater die aktuelle Bestandes- und Waldschutzsituation in die Entscheidung miteinfließen.



Ende 2012 sollen die beschriebenen Basis- und Baumarteneignungskarten im Rahmen des Bayerischen Wald-Informationssystems (BayWIS, [Simbeck & Faißt 2010]) der Forstverwaltung zur Verfügung stehen. Es ist geplant, zur Akzeptanz und praktischen Anwendung der Karten eine Befragung durchzuführen. Die Ergebnisse dieser Befragung sollen in die Umsetzung des Standortinformationssystems einfließen, um eine möglichst praktikable Handhabung zu erreichen. Außerdem ist vorgesehen, das Angebot um spezielle Themenkarten zu erweitern.

## Literatur

- Beck, J., Dietz E., Falk W. (2012): Digitales Standortinformationssystem für Bayern. LWF aktuell 87, 20-23
- Kölling, C.; Bachmann, M.; Falk, W.; Grünert, S; Schaller, R.; Tretter, S.; Wilhelm, G. (2009): Klima-Risiko-Karten für heute und morgen. AFZ-DerWald 44, S. 806–810
- Simbeck, C.; Faißt, G. (2010): Bayerisches Wald-Informationssystem: Projektstand und nächste Schritte. LWF aktuell 77, S. 50–51

## **Waldschutz im Klimawandel - Neue Risiken zwingen zur Anpassung**

Dr. Hannes Lemme, Martina Weber, Dr. Elfriede Feicht,  
PD Dr. Dr. Gabriela Lobinger, Dr. Ralf Petercord  
LWF, Abt. 5 Waldschutz

Aufgabe des Waldschutzes ist es, forstliche Schadorganismen zu überwachen, verlässliche Schadensprognosen zu erstellen und Handlungsempfehlungen für die forstliche Praxis auszugeben. Hierzu gehört auch die Diagnose und Bewertung neu auftretender Waldschutzrisiken. Im Zuge des Klimawandels erwarten wir wärmere und trockenere Sommer, wärmere, feuchtere Winter, ein vermehrtes Auftreten von Extremereignissen wie Hitze, Trockenheit sowie einen Anstieg der CO<sub>2</sub>-Werte.

Die sich ändernden klimatischen Bedingungen wirken sowohl auf Wirtspflanze und phytophage Schadorganismen, als auch auf Gegenspieler und Konkurrenten. Höhere Temperaturen beeinflussen die Vermehrung und die Generationenfolge verschiedener Schadinsekten sowie die Überlebensfähigkeit im Winter. Maßgeblich für die Veränderungen in der Schädlingsproblematik sind auch indirekte Effekte über die Wirtspflanze, deren Phänologie, Vitalität und Nahrungsqualität, die ebenfalls durch Klimaänderung geprägt werden. Von entscheidender Bedeutung für die Populationsentwicklung der Schädlinge sind auch - ebenfalls klimatisch beeinflusst - biozönotische Zusammenhänge wie Einwirkung von Regulationsfaktoren (Antagonisten, Konkurrenten). Wir erwarten Änderungen der Verbreitungsgebiete von Organismen sowie Einwanderung und Etablierung neuer Schadinsekten. Die Konsequenzen für die Waldschutzsituation sind daher artspezifisch unterschiedlich und abhängig von komplex zusammenwirkenden Faktoren.

### **Anpassung an den Klimawandel erfordert Wissen**

Populationsökologische Modelle können nicht mit hinreichender Genauigkeit zukünftige langfristige Entwicklungen zur Dynamik von Schadorganismen (Ausmaß und Häufigkeit von Massenvermehrungen, Schadholzmenge) prognostizieren (Dukes et al. 2009, Fleming & Volney 1995, siehe auch Millar et al. 2007). Sie können daher nicht Basis für konkrete Handlungsempfehlungen im Waldschutz sein, zeigen aber langfristig und großräumig mögliche Entwicklungen auf, die bei Schädlingsüberwachung und Prognose zu berücksichtigen sein werden.

Ziel zweier Forschungsprojekte in Arbeitspaketen (AP) an der LWF ist es, spezielle Waldschutzprobleme in Bayern im Hinblick auf künftige Entwicklungen differenziert zu untersuchen, den Kenntnisstand zu erweitern und Anpassungsstrategien für ein zukunftsfähiges Schädlingsmanagement zu entwickeln.

### **Anpassung der Überwachungsverfahren (AP Lemme)**

Um auf diese erwarteten Veränderungen effektiv reagieren zu können, wurden die Überwachungsverfahren der wichtigsten nadelfressenden Schadinsekten überarbei-

tet. Für die Arten Fichtengespinstblattwespe, Forleule sowie Nonne mussten folgende Fragen beantwortet werden: (1) Muss eine Überwachung aufrechterhalten werden? (2) In welchen Regionen muss die Art überwacht werden? (3) Mit welchem Suchschema oder Leerungsschema bei Pheromonfallen muss die Art in einem Bestand überwacht werden?

Grundlage bilden die Daten der Winterbodensuche von 1960 bis 2005 in Bayern, eigene Untersuchungen bzw. Daten aus Sachsen zur räumlichen Verteilung der zu überwachende Stadien im Boden in einem Bestand bzw. Daten der Pheromonüberwachung der Nonne aus Sachsen.

Als Ergebnis wurde die ständige Überwachung der Fichtengespinstblattwespe eingestellt. Es erfolgt nur noch eine Überwachung nach ersten sichtbaren Fraßschäden. Zudem wurde ein Suchschema entwickelt, das bei einem geringen Arbeitsaufwand genauere Einschätzung der Dichtesituation erlaubt (Lemme, 2011). Die Forleule zeigt in Bayern zyklische Dichteänderungen. Aus Dichtespitzen haben sich 1960 sowie 1987 Massenvermehrungen entwickelt. In einigen Regionen in Bayern blieben diese Zyklen bis 2005 stabil. In diesen muss daher die Überwachung aufrechterhalten bleiben. Die Grabungsfläche je Bestand wurde von 5m<sup>2</sup> an einem Baum auf 3m<sup>2</sup> an 6 Bäumen herabgesenkt. Mit diesem neuen Suchschema mit Grabungen an 6 Bäumen kann eine gleichbleibende Genauigkeit bei einem geringeren Arbeitsaufwand erwartet werden. Bei der Nonne wurde die witterungsabhängige jährliche Variabilität des Falterfluges in den Jahren 1991 bis 2010 in Sachsen untersucht. In einem Zeitfenster vom Mitte Juli bis Mitte August erfolgt der Hauptflug der Nonne. Mit einem Kontrollzeitraum der Pheromonfallen vom 1. Juli bis 30. August kann erwartet werden, dass auch in heißen Sommern im nächsten Jahrzehnt der Hauptflug in diesem Zeitfenster erfolgt. Eine zeitliche Ausdehnung des Kontrollzeitraums nicht notwendig ist.

### **Verbreitung und Populationsdynamik wärmeliebender Schädlinge an Eiche (AP Weber, Feicht, Lobinger)**

In den warm-trockenen Regionen Nordbayerns kommt es immer wieder zu Massenvermehrungen von Eichenschädlingen. Neben dem bisher gefährlichsten Großschädling, dem Schwammspinner tritt seit den 1990er Jahren der Eichenprozessionsspinner mit regional sehr hohen Populationsdichten in Erscheinung. Für die Zukunft der Eichenwälder in wärmegetönten Regionen stellt sich die Frage, ob Massenvermehrungen dieser Schädlinge in Ausmaß und Häufigkeit zunehmen und in wieweit die Arten ihr Verbreitungsgebiet im Zuge der Klimaerwärmung ausweiten und in den neuen Habitaten Massenvermehrungen ausbilden können. Durch verschiedene Konstellationen von Fraßinsekten (Eichenwickler, Frostspanner, Schwammspinner, Eichenprozessionsspinner) und Einwirkung von Sekundärschädlingen (Prachtkäfer) und pilzlichen Erreger entwickelt sich in Abhängigkeit von den Rahmenbedingungen das Schadbild sehr unterschiedlich (Lobinger, 1998). Die Untersuchungen in 13 repräsentativen Waldbeständen Bayerns ergaben, dass die regionale klimatische Prägung ein wichtiger Faktor ist, jedoch zahlreiche weitere Parameter für das Auftreten von Massenvermehrungen und die entstehenden Schäden an der Eiche ent

scheidend sind. So wird z.B. die Populationsentwicklung des Eichenprozessionsspinners durch mikroklimatische Bedingungen (Bestandesstruktur) sowie Witterungsbedingungen in sensiblen Entwicklungsphasen gesteuert. Das überwinternde Eistadium ist extrem kälteresistent, wogegen hohe Temperaturdifferenzen Tag/Nacht nach dem Raupenschlupf erhebliche Mortalität der Larven zur Folge hat. Kühle und regnerische Witterung in den nächtlichen Schwärmzeiten der Falter führt zu deutlich reduzierten Eiablagen. Ein weiterer, durch kurzzeitige Witterungsbedingungen bestimmter und populationsdynamisch maßgeblicher Faktor ist die Synchronisation zwischen Blattaustrieb und Raupenschlupf.

Zahlreiche Zusammenhänge konnten im Rahmen des Arbeitspaketes durchleuchtet werden. Diese tragen dazu bei, die Risikoeinschätzung und Prognose zuverlässiger zu gestalten und ermöglichen zielführende Anpassungen in der Schädlingsüberwachung.

## Literatur

- Dukes, J.S., Pontius, J., Orwig, D., Garnas, J.R., Rodgers, V.L., Brazee, N., Cooke, B., Theoharides, K.A., Stange, E. E., Harrington, R., Ehrenfeld, J., Gurevitch, J., Lerdau, M., Stinson, K., Wick, R., Ayres, M. (2009): Responses of insect pests, pathogens, and invasive plant species to climate change in the forests of northeastern North America: What can we predict? *Can. J. For. Res* (39): 231–248.
- Fleming, R.A.; Volney, W.J.A. (1995): Effects of climate change on insect defoliator population processes in Canada's boreal forest: Some plausible scenarios. *Water, Air, & Soil Pollution* (82): 445–454
- Lemme, H. (2010): Sequential sampling for *Cephalcia abietes* (Hymenoptera, Pamphiliidae). *Freiburger Forstliche Forschung, Berichte* (89): 183–185.
- Lobinger G., (1998); Untersuchungen über Zusammenhänge zwischen Insektenbefall, Witterungsfaktoren und Eichenschäden in Unterfranken; *Berichte aus der LWF* 19/98
- Millar, C.I., Stephenson, N.L., Stephens, S.L. (2007): Climate Change and Forests of the Future: Managing in the Face of Uncertainty. *Ecological Applications* (17): 2145–2151



## Die Herkunftsfrage im Klimawandel

Dr. Monika Konnert  
Bayerisches Amt für forstliche Saat- und Pflanzenzucht (ASP)

Im Klimawandel spielt neben der Baumartenwahl auch die Herkunftswahl eine wichtige Rolle. Innerhalb der Baumarten haben sich durch langjährige natürliche Auslese lokale Rassen ausgebildet, die an die unterschiedlichen Standort- und Umweltbedingungen im Verbreitungsgebiet angepasst sind. Sie werden in der Forstpraxis als Herkünfte bezeichnet. Die genetische Vielfalt innerhalb einer Herkunft ist die Grundlage für weitere Anpassungsprozesse. Dem Verhältnis von Angepasstheit an die derzeit herrschenden Bedingungen und der Fähigkeit, sich auf neue Bedingungen einzustellen, gilt es Rechnung zu tragen. Dieser Aspekt stand auch im Mittelpunkt der Klimaforschung am ASP. Ein weiterer Schwerpunkt war die begleitende genetische Forschung bei Projekten des Waldschutzes und Waldwachstums, um zu klären, ob die unterschiedlichen Reaktionsnormen auf Individual- oder Populationsebene genetisch bedingt sind.

### Hochwertiges Vermehrungsgut für den Bergwald

Gebirgswaldökosysteme haben sich über lange Zeiträume an die spezifischen Umweltbedingungen des Hochgebirges angepasst. In der Versorgung mit forstlichem Vermehrungsgut für den Alpenraum gibt es häufig Engpässe. Um Abhilfe zu schaffen, vor allem bei Baumarten, die für den Waldumbau im Klimawandel oder für die Schutzwaldsanierung wichtig sind (Buche, Bergahorn, Lärche) wurden im Rahmen der Bergwaldoffensive nach einer eingehenden Analyse der Erntesituation (Erntebestände, Erntemenge) Lösungsansätze erarbeitet. Eine kurz- und mittelfristige Verbesserung der Versorgungssituation wurde durch Beerntungen im Auftrag und unter Koordination des ASP erzielt. Ein Teil des dabei gewonnenen Saatgutes wurde an Privatbetriebe zur Pflanzenanzucht verkauft, ein weiterer Teil als Reserve (Bevorratung) eingelagert. Gleichzeitig erfolgte eine umfassende Revision aller Erntebestände der drei Baumarten im Bergwald. Schwer zu beerntende Bestände wurden aus der Zulassung genommen und dafür gut beerntbare Bestände neu zugelassen. Seit Abschluss des Projektes stehen den Erntefirmen 86 phänotypisch hochwertige Bestände zur Verfügung, die wirtschaftlich beerntet werden können. Weitere 21 Erntebestände dienen vorrangig Generhaltungszwecken.

### Welche Herkünfte für die Zukunft?

Um zu prüfen ob bzw. wie Buchen- und Tannenherkünfte aus Süddeutschland mit wärmeren Temperaturen und trockeneren Perioden zurecht kommen, wurden Anbauversuche in Bulgarien angelegt und so die erwartete Klimaänderung „quasi“ vorgezogen. Ein Parallelversuch in Bayern mit bulgarischen Herkünften wird zeigen, ob diese mit den Bedingungen in Süddeutschland zurecht kommen (Konnert u. Huber 2008, Petkova et al. 2011). Die Baumschulphase ist inzwischen erfolgreich

abgeschlossen, wobei die süddeutschen Herkünfte in Bulgarien erstaunlich gut gewachsen sind und den bulgarischen sogar überlegen waren. 2009 und 2010 wurden die Pflanzen auf drei Flächen in Nordost-, Mittel- und Nordwestbulgarien ausgepflanzt. 2011 nach 2 Wuchsperioden lagen die Überlebensraten zwischen 50 % und 90 %, sowohl bei den Bayerischen als auch bei den bulgarischen Herkünften. Die größten Ausfälle und das geringste Wachstum waren auf der Fläche Vidin mit nur 270 mm Niederschlag in der Vegetationsperiode zu verzeichnen. Bei den Tannen lagen die Ausfälle nach der ersten Vegetationsperiode auf einer Fläche unter 15 % (Solnik, nur 225 mm Niederschlag in der Vegetationsperiode), bei der zweiten Flächen sogar unter 5 %.

Die Schwarzkiefer ist ein wichtiger Waldbaum der europäischen Mittelmeerländer und der Türkei. Sie ist an trockene Wuchsbedingungen gut angepasst, aber gleichzeitig frostverträglich, was sie für den Anbau bei uns im Klimawandel interessant erscheinen lässt. Ihr bisheriges, zerklüftetes Verbreitungsgebiet erstreckt sich von der Türkei bis nach Spanien. In Deutschland wurde bislang vor allem die Schwarzkiefer aus Österreich angepflanzt. Im Klimawandel könnten aber andere Herkünfte wichtiger werden. Daher wurden für einen Provenienzversuch insgesamt 52 Schwarzkiefern-Herkünfte aus dem gesamten Verbreitungsgebiet gesammelt und daraus 44 Herkünfte angezogen. Im Herbst 2009 wurden damit in den Forstbetrieben Freising, Rothenburg o.d.T. und Schnaittenbach (alle Bayerische Staatsforsten) und im Stadtwald von Bad Windsheim Feldversuche angelegt (Huber 2011). Die Pflanzen auf den Versuchsstandorten sind sehr gut angewachsen. Ausfälle sind bisher kaum zu verzeichnen. Auch die im Mai 2011 aufgetretenen Spätfröste haben bei den Schwarzkiefernherkünften keine Schäden verursacht.

Darüber hinaus wurden fünf weitere Flächen in Österreich (Universität Wien), Kroatien (Universität Zagreb), Hessen (Nordwestdeutsche Versuchsanstalt) und Brandenburg (Fachhochschule Eberswalde) angelegt. Die FVA Baden-Württemberg beabsichtigt 2012 ebenfalls eine Versuchsfläche anzulegen.

### **Sind Reaktionsmuster (auch) genetisch bedingt?**

Diese Frage ist Ziel einer Untersuchung nach herkunftsbedingten Unterschieden in Wachstum und Klimasensitivität der Weißtanne insbesondere in Bezug auf das Trockenjahr 2003 und das trockene Frühjahr 2007. Vom ASP betreute inzwischen 28jährige Weißtannenversuche mit über 20 Herkünften aus dem gesamten Verbreitungsgebiet (Ruetz u. Stimm 1995) bieten dazu das ideale Untersuchungsmaterial. Auf sechs Flächen wurden an insgesamt 595 Bäumen unterschiedlicher Herkunft Jahrring- und Zuwachsanalysen durchgeführt. Die Weißtannen reagieren bei einem Trockenjahr wie 2003 mit einem deutlichen Rückgang des Durchmesserwachstums. Das trockene Frühjahr 2007 hatte keinen sichtbaren Einfluss auf das Durchmesserwachstum. Diese Reaktionen sind herkunftsunabhängig. Der Höhenzuwachs reagiert auf Trockenheit weitaus weniger stark als der Jahrringszuwachs; bei einigen Bäumen geht der Höhenzuwachs im Folgejahr (2004) zurück. Hier reagieren die Herkünfte teilweise sehr unterschiedlich, die genaue Auswertung ist noch nicht abgeschlossen.

Weitere Untersuchungen zur genetischen Bedingtheit von Reaktionsmustern laufen z.Zt. am ASP in Verbindung mit dem Eschentriebsterben und dem Eichensterben auf der Fränkischen Platte. Erste Ergebnisse zeigen nur geringe genetische Unterschiede zwischen befallenen und nichtbefallenen Eschen. Bei der Eiche scheint es, dass vor allem Stieleichen stärker betroffen sind als Traubeneichen. Dieses für die Praxis wichtige Ergebnis muss noch durch die deutliche Erhöhung der Probenzahl abgesichert werden.

### **Gesicherte Herkünfte für Anbauversuche im Klimawandel**

In einem von LWF und ASP gemeinsam bearbeiteten Projekt zu Anbauversuchen mit nichtheimischen Baumarten im Klimawandel (Bachmann et al. 2009) wurde für die Baumarten Türkische Tanne (*Abies bornmuelleriana*), Libanonzeder (*Cedrus libani*), Orientbuche (*Fagus orientalis*), Rumelische Kiefer (*Pinus peuce*), Silberlinde (*Tilia tomentosa*) und Hemlockstanne (*Tsuga heteropylla*) herkunftsgesichertes Saatgut aus genau definierten Regionen beschafft und daraus Versuchspflanzen angezogen. Die Saatgutbeschaffung gestaltete sich aufgrund der genau einzuhaltenden Herkunftsangaben schwieriger als erwartet; fehlende Infrastruktur zur Ernte, logistische Schwierigkeiten, Unzugänglichkeit der Ernteeinheiten, fehlende Herkunftsangaben bei regulären Ernten sind einige der Gründe dafür. Mit Unterstützung der bulgarischen und türkischen Kollegialstellen und durch Kontakte zum internationalen Saatguthandel gelang es letztendlich ausreichend Saat- und Pflanzgut bereitzustellen. Während der Anzuchtphase wurden umfangreiche Untersuchungen zum Wuchsverhalten durchgeführt, die für die Baumschulpraxis wichtig sind.

### **Literatur**

- Bachmann, M., Konnert, M., Schmiedinger, A. (2009): Vielfalt schaffen, Risiko verringern – Gastbaumarten als Alternative zur Fichte. LWF Wissen 63, 22 – 30.
- Huber, G. (2011): Neue Tests für Schwarzkiefern-Herkünfte in Bayern im Hinblick auf den Klimawandel. Forstarchiv 82, 134 – 141.
- Konnert, M., Huber, G. (2008): Buchen und Tannen proben den Klimawandel. LWF aktuell 66, 54 – 55.
- Petkova, K., Huber, G., Konnert, M. (2011): Erste Untersuchungen in Versuchsanbauten mit Buchenherkünften aus Bayern und Bulgarien; Poster; 1. Jahrestagung der Sektion Forstgenetik-Forstpflanzenzüchtung im DVFFA, Mai 2011, Teisendorf.
- Ruetz, W. F., Stimm, B. (1995): Der Süddeutsche Weißtannen-Provenienzversuch IV. Entwicklung der Herkünfte der Aussaat 1982 auf den Versuchsfeldern in Bayern bis zum Alter von 12 Jahren. Ergebnisse des 7. IUFRO-Tannensymposiums der WP S.1.01-08 "Ökologie und Waldbau der Weißanne", 17 – 29.

## Hydrologische und ökologische Aspekte einer Kurzumtriebsplantage bei Kaufering

Martina Zacios  
LWF, Abt. 2 Boden und Klima

Kommunale und regionale Energieversorgungskonzepte mit regenerativen Energiequellen werden in Zukunft deutlich an Bedeutung gewinnen. Unter anderem soll die energetische Nutzung nachwachsender Rohstoffe stärker ausgebaut werden. Um eine nachhaltige Bereitstellung von Bioenergie zu gewährleisten, müssen angesichts des zunehmenden Flächenbedarfs für die Biomasseproduktion auch die ökologischen Aspekte der unterschiedlichsten Landnutzungsformen beleuchtet werden.

Im hier vorgestellten Projekt werden die Auswirkungen einer 2008 angelegten Pappel-Kurzumtriebsplantage (KUP) im Trinkwassereinzugsgebiet der Marktgemeinde Kaufering auf den Wasser- und Stoffhaushalt sowie auf die ökologischen Artenzusammensetzungen der Begleitvegetation, von Spinnen, Laufkäfern und Regenwürmern vergleichend zu einem konventionell bewirtschafteten Acker untersucht.

### **Wasserverbrauch und Sickerwasserqualität**

Im Zentrum der hydrologischen Untersuchungen stehen zwei Fragestellungen: Lässt sich die Sickerwasserqualität unter einer landwirtschaftlich intensiv genutzten Fläche durch die Anlage einer Kurzumtriebsplantage verbessern? Und wie wirkt sich diese auf die Grundwasserneubildung aus? Seit November 2009 werden zur Beantwortung dieser Fragen unter der KUP sowie auf der landwirtschaftlichen Referenzfläche kontinuierlich Bodenwassergehalte bis zu einer Tiefe von 220 cm gemessen sowie Sickerwasserproben aus bis zu 235 cm Tiefe gewonnen.

Bezüglich des Wasserverbrauchs zeigen die Bodenfeuchtemessungen deutliche Unterschiede zwischen den beiden Landnutzungen (vgl. Abb. 1). Unter der Kurzumtriebsplantage wird der Bodenwasserspeicher bei Weitem stärker ausgeschöpft als unter dem Acker.

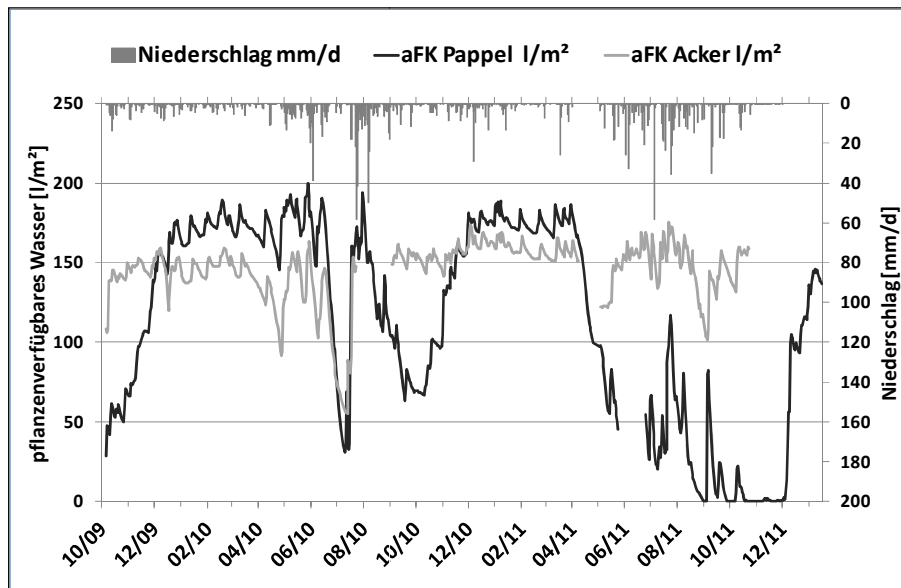


Abb. 1: Pflanzenverfügbares Wasser bis 1 m Tiefe unter Acker vs. KUP; Okt. 2009 - Jan. 2012

Der erhöhte Wasserverbrauch der KUP kann mit der größeren Blattfläche der Pappeln und der damit verbundenen höheren Transpiration sowie Interzeption, ihren tiefer reichenden Wurzeln und der dadurch möglichen tieferen Bodenwasserausschöpfung sowie der längeren Vegetationsperiode und damit dem länger andauernden Wasserentzug erklärt werden. Zum jetzigen Zeitpunkt ist davon auszugehen, dass sich der höhere Wasserbedarf der Bäume auch in einer verringerten Grundwasserneubildung, vor allem während der Sommermonate, widerspiegelt.

Im Hinblick auf die Sickerwasserqualität ist unter der KUP mit einem deutlich geringeren Stoffeintrag zu rechnen, da im Unterschied zur landwirtschaftlichen Nutzung weitgehend auf den Einsatz von Düngern und Pestiziden verzichtet werden kann. In eingeschränktem Umfang wirkt diesem Effekt die erhöhte atmosphärische Stoffdeposition in den Baumkronen entgegen. Die Sickerwasseranalysen zeigen unter der Ackerfläche erhöhte Konzentrationen von Calcium, Kalium, Sulfat sowie Nitrat. Diese können ausnahmslos auf Düngemaßnahmen zurückgeführt werden. Wie sich die anstehende Ernte der Kurzumtriebsplantage jedoch auf den Wasser-, vor allem aber auf den Stoffhaushalt der Fläche auswirken wird, sollte in künftigen Untersuchungen erfasst werden.

## Ökologie

Seit 2009 werden auf den beiden Versuchsflächen jährlich Aufnahmen zur Begleitvegetation durchgeführt. Auf dem Acker wurden im Jahr 2010 durchschnittlich 8,7 Arten pro Aufnahmefläche (50 m<sup>2</sup>) gefunden und damit nahezu gleichviele wie im Vorjahr (Durchschnitt 2009: 8,9). Die im Mittel gefundene Artenzahl auf der KUP-Fläche lag 2009, also ein Jahr nach ihrer Anlage, mit rund 18 Arten deutlich darüber.

Ab der dritten Vegetationsperiode (2010) sind die Pappeln bereits so hoch, dass sich die Artenzahl, bedingt durch die zunehmende Beschattung, mit 7,7 Arten (2010) bzw. 8,5 Arten (2011) nicht mehr von der der Acker-Fläche unterscheiden lässt.

Auch bezüglich des Deckungsgrades der Begleitvegetation zeigt sich ein eindeutiger Trend. Mit zunehmender Beschattung durch die Bäume nahm im Laufe der Jahre nicht nur die Anzahl der vorhandenen Arten, sondern auch der Anteil des mit Begleitvegetation bedeckten Bodens stark ab. Die Variabilität innerhalb der Fläche lässt jedoch darauf schließen, dass die Verbreitung der Begleitvegetation stark von der Struktur des Bestandes abhängig ist. Es bleibt weiterhin zu beobachten, wie sich die Zusammensetzung der Begleitvegetation im Laufe der nächsten Jahre, besonders auch nach der ersten Ernte der KUP-Fläche, verhält.

Regenwürmer beeinflussen durch ihre Lebens- und Fressgewohnheiten sowohl die Bodenstruktur als auch die Bodenfruchtbarkeit positiv. Um Kenntnisse über die Auswirkungen einer KUP-Anlage auf die Population der für die Vitalität des Bodens so wichtigen Regenwürmer zu erlangen, wurde im Frühjahr 2011 eine Erhebung des Regenwurmbesatzes auf der KUP-Versuchsfläche und vergleichend dazu auf dem benachbarten Acker durchgeführt. Bei diesen Aufnahmen konnten unter der KUP durchschnittlich rund 3,5mal mehr Regenwürmer als unter dem Acker gefunden. Die Regenwurmpopulation unter der KUP wird v. a. durch das größere Nahrungsangebot und die ausbleibende Bodenbearbeitung begünstigt.

## Vortragsreihe 2

### **Sturmwurfgefährdung der Wälder Bayerns - Zusammenfassung**

Dr. Daniel Fröhlich<sup>1</sup>, Dr. Lothar Zimmermann<sup>1</sup>, Christoph Schulz<sup>2</sup>  
LWF, <sup>1</sup> Abt. 2 Boden und Klima, <sup>2</sup> Abt. 7 Waldbesitz, Beratung, Forstpolitik

#### **Sturmwurfschäden und ihre Ausmaße**

Sturmereignisse sind in Deutschland die bedeutendste Naturgefahr für den Wald. Regelmäßig wird die Forstwirtschaft durch Sturmschäden in Mitleidenschaft gezogen. Im Jahr 2007 geschah dies durch den Sturm „Kyrill“, mit einem deutschlandweiten Windwurfaufkommen von rund 26,5 Millionen Festmetern.

Bis zum nächsten Ereignis, bei dem Windwurf auf großen Flächen gleichzeitig stattfindet, ist es nur eine Frage der Zeit, zumal sich nach aktueller Meinung der meteorologischen Fachwelt die künftigen Sturmhäufigkeiten und Sturmintensitäten in Europa auf dem Niveau der vergangenen Dekaden bewegen werden (vgl. Fröhlich 2011). Die Stürme Vivian und Wiebke aus dem Jahr 1990, die schätzungsweise 73 Millionen Festmeter Schadholz in Deutschland (Stiftung Unternehmen Wald) mit einem Schwerpunkt in Bayern verursachten, entsprechen Ereignissen, wie sie etwa alle 30 Jahre einmal zu erwarten sind (Kasperski 2000).

#### **Faktoren der Sturmgefährdung**

Entscheidende Faktoren für die Sturmgefährdung von Wäldern sind Windgeschwindigkeiten, Sturmdauer und die Frequenz in der Böen auftreten. Aber auch die Höhe und die Verankerungsmöglichkeiten der Bäume, so wie Kronenwiderstand und eventuelle Vorschädigungen spielen eine bedeutende Rolle (vgl. Mayer 1988, König 1996). Windgeschwindigkeiten, Anströmrichtung und Böigkeit hängen in erster Linie von meteorologischen Faktoren ab, können aber durch die Topographie modifiziert werden (vgl. Schmoekel, 2006). Dies ließ sich zum Beispiel auch an Bayerischen Waldklimastationen während des Sturms Kyrill Anfang 2007 beobachten. Gerade hinsichtlich der Topographie weist Bayern eine starke Gliederung auf, weshalb in Hinblick auf die modifizierende Wirkung der Topographie auf die Windfelder eine Untergliederung Bayerns in 4 Modellgebiete vorgenommen wurde. Diese Modellgebiete zeigten eine gute Übereinstimmung mit den großräumig von Mayer (1985) ausgewiesenen Zonen der potentiellen Windwurfgefährdung, was den Wert der vorgenommenen Einteilung bestätigt.

## Gefährdungsmodell

Die Sturmwurfgefährdung der Wälder Bayerns wurde mittels eines Regressionsansatzes modelliert, dem keine Geradengleichung, sondern eine logarithmische Funktion, die eine Reihe von Glättungsfunktionen für die unabhängigen Variablen einschließt, zu Grunde liegt. Dieses Verfahren ist als „Generalisiertes Additives Modell“ bekannt und hat den Vorteil, dass es auf nicht normalverteilte Zielgrößen angewendet werden kann. Dadurch bietet es sich für die Fragestellung an, weil es sich bei der Zielgröße um Verhältniszahlen von geworfenen zu nicht geworfenen Bäumen handelt, welche nur Werte zwischen 0 und 1 annehmen können.

Die Daten hierfür stammen aus den Betriebsinventuren der Bayerischen Staatsforsten (Sturmschadensintensitäten), einem digitalen Geländemodell, Informationen zur Bodenphysik (Projekt KLIP 4 „Karten für die Zukunft“) und den Wiederkehrwahrscheinlichkeiten von Böenspitzen (Hofherr und Kunz, 2010).

Als Prädiktoren flossen in die Modellierung die Baumhöhe und das Mischungsverhältnis von Fichten und Buchen, mit Reinbeständen an beiden Enden der Skala, als Bestandsparameter ein. Unter den topographischen Parametern erwiesen sich je nach Modellgebiet absolute Höhe oder Summen relativer Höhen (als Luvindizes; Hera, 2008) bzw. von der Höhe abgeleitete Größen wie Hangneigung oder Exposition und Bodenarten als Variablen mit signifikantem Erklärungsanteil. Aus den klimatischen Variablen wurden Wiederkehrwahrscheinlichkeiten von Spitzenböen und der mittlere Jahresniederschlag verwendet.

## Regressionsbeziehungen und Karte

Die Regressionsbeziehungen der einzelnen Prädiktoren können als sogenannte Single-Response-Kurven betrachtet werden. Eine solche Einzelbetrachtung der Kurve für die Baumhöhen weist einen nahezu proportionalen Verlauf auf, der erst am oberen Ende ab ca. 37 m in einen etwas flacheren Verlauf übergeht. Ganz anders geardete Muster können zum Beispiel bei den Bodenarten gefunden werden, mit einem kurzen aber steilen Anstieg und einem asymptotischen Teil.

Um die Ergebnisse besser handhabbar zu machen, wurde das Format einer Karte gewählt. Vom Modell werden Wahrscheinlichkeiten ausgegeben, die für die kartographische Illustration klassifiziert und in farbigen Abstufungen dargestellt wurden. Da für Baumhöhen und Artenmischung die Eingangsgrößen nicht flächendeckend als Datenbestand vorliegen, müssen diese beiden auch zeitlich dynamischen Variablen für eine kartographische Ausgabe über die ganze Landesfläche als konstant betrachtet werden. Dafür ermöglichen sie aber den Vergleich verschiedener Szenarien. So kann zum Beispiel verdeutlicht werden, an welchen Standorten durch die Begründung von Reinbeständen oder Überalterung von Beständen und entsprechenden Baumhöhen eine überproportionale Zunahme der Gefährdung, z.B. aufgrund ungünstiger Bodenbedingungen, zu erwarten ist. An solchen Standorten könnte durch unterschiedliche, den Umständen angepasste forstliche Maßnahmen wie zum Beispiel Artenwahl und Mischung, kürzere Umtriebszeiten, oder angepasste



Durchforstungsmaßnahmen (extensive Pflege setzt früher ein) das wirtschaftliche Risiko reduziert werden.

## Literatur

- Fröhlich, D. (2011): Stürmische Gesellen: Lothar, Kyrill & Co. Zur Problematik, die künftige Entwicklung von Winterstürmen abzuschätzen. LWF aktuell 80, S. 38-40.
- Hera U. (2008): Neue hoch aufgelöste Klimakarten für die Wälder - Bayerns als Bestandteil eines forstlichen Standortinformationssystems. Projektbericht, Projekt ST 192.
- Hofherr, T. und Kunz, M. (2010): Extreme wind climatology of winter storms in Germany. Climate Research 41, S. 105-123, DOI: 10.3354/cr00844.
- Kasperski, M. (2000): Festlegung und Normung von Entwurfswindlasten. Bochum, Ruhr-Universität, Fakultät für Bauingenieurwesen.
- König, A. (1996): Sturmgefährdung von Beständen im Altersklassenwald – Ein Erklärungs- und Prognosemodell. J.D. Sauerländer's Verlag, Frankfurt a. Main.
- Mayer, H. (1988): Kartierung von potentiell sturmgefährdeten Waldstandorten in Bayern. Forstwissenschaftliches Centralblatt 107, S. 239-251.
- Mayer, H. (1985): Baumschwingungen und Sturmgefährdung des Waldes. Universität München – Meteorologisches Institut, Wissenschaftliche Mitteilung Nr. 51.
- Schmoekel, J. (2006): Orographischer Einfluss auf die Strömung abgeleitet aus Sturmschäden im Schwarzwald während des Orkans „Lothar“. Dissertation, Universität Karlsruhe.
- Stiftung Unternehmen Wald: <http://www.wald.de/waldschaeden-durch-kyrill/>; aufgerufen am 31.10.2011.

## Bäume in einer extremen Zukunft – von Simulationen und Manipulationen

Prof. Dr. Annette Menzel, Steffen Taeger, TUM Fachgebiet Ökoklimatologie

### Extremereignisse

In der Klimatologie sind Extreme entweder Ereignisse, die (a) stark vom Mittelwert oder Median einer Verteilung abweichen, beispielsweise war der Jahrhundert-Hitzesommer 2003 mit 3,4°C ungewöhnlich wärmer als normal (1961-1990), (b) selten sind wie ein Waldbrand im November 2011 (nur 1% aller Brände in Bayern treten im Winter auf), oder (c) mit katastrophalen Auswirkungen verbunden sind, so war Kyrill für 47 Tote und einen Schadholtzanfall von fast 60 Mio. Festmeter verantwortlich. In der Forstwirtschaft spricht man hier lediglich von "zufälligen Ereignissen" und versteht darunter Schäden, u.a. durch Sturm, Feuer, Insekten, und Wildtiere<sup>1</sup>. Oftmals wird damit impliziert, die Natur bliebe unberechenbar<sup>2</sup>. In der Statistik dagegen ist jede Teilmenge der Ergebnismenge eines Zufallsexperiments ein zufälliges Ereignis, wie z.B. gerade Augenzahl beim Würfeln, damit hat diese eine berechenbare Wahrscheinlichkeit. In der Extremwerttheorie werden die Wahrscheinlichkeiten von seltenen Ereignissen betrachtet; mit spezifischen Methoden können solche Ereignisse beschrieben und mit Wiederkehrzeiten und -levels prognostiziert werden, auch außerhalb des bisher beobachteten Ereignisraums<sup>3</sup>.

### Klimawandel

Da Extremereignisse selten sind, kann nur anhand weniger Daten eine Veränderung ihrer Häufigkeit und Intensität untersucht werden; so gibt es keine gesicherten Angaben zu Hagel und Stürmen. Es ist aber wahrscheinlich, dass in Europa kalte Tage und Nächte abgenommen, warme Tage und Nächte dagegen zugenommen haben, Starkniederschlagsereignisse sich signifikant verändert, und die Länge und Anzahl von Hitzewellen zugenommen haben (mittlere Konfidenz). Auch in Zukunft unter verschiedenen Klimaszenarien werden diese Phänomene weiter zunehmen<sup>4</sup>.

### Extremwertstatistik

Verschiedene Beispiele zur Extremwertstatistik unterstreichen die große Bedeutung von Extremereignissen und ihren Veränderungen für die Forstwirtschaft. Die Extra

---

<sup>1</sup> Pfeil W (1839) Die Forstwirtschaft nach rein praktischer Ansicht. Baumgartner's Buchhandlung, Leipzig.

<sup>2</sup> Jahresbericht der Bayerischen Staatsforsten 2011, S. 14

<sup>3</sup> Coles (2001) An introduction to statistical modeling of extreme values. Springer, London.

<sup>4</sup> IPCC (2012) Summary for Policymakers. In: Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation [Field, C.B., et al. (eds.)]. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, NY, USA.

polation von Windspitzen für 100jährige Wiederkehrzeiten zeigt, dass in den Alpen Windgeschwindigkeiten von bis zu 73 m/s alle 100 Jahre erwartet werden können<sup>5</sup>, allerdings sind diese Spitzenböen sowohl von Vivian (1990), Lothar (1999) als auch Kyrill (2007) bereits übertroffen worden! Ähnlich haben sich auch die Winterhärtezonen nach Henze und Schreiber (1984) in den letzten Dekaden verschoben. Für die Zukunft ist je nach Szenario mit einer deutlichen Zunahme der mediterranen Zonen und einer Abnahme der warm / kalt gemäßigten Zonen zu rechnen<sup>6</sup>. Zu erwartende 100jährige Temperaturminima am Ende dieses Jahrhunderts sind allerdings weitaus niedriger als mit Winterhärtezonen angegeben. Ein drittes Beispiel ist der Spätfrost im Mai 2011 mit einer Tiefsttemperatur von -3.4°C in Bamberg (4.5.2011): Vor 1985 wäre er ein 50jähriges Extremereignis gewesen, nach 1985 dagegen ein weitaus unwahrscheinlicheres 230jähriges Ereignis.

## Neue Extreme

Der Waldbrand vom 20.-24.11.2011 am Sylvenstein zeigt die Dimension von neuen Extremen auf. Wegen eines persistenten Hochdruckgebiets vom 27.10. bis zum 3.12.2011 fiel in manchen Gegenden Oberbayern im November kein Niederschlag, in Verbindung mit Inversionslagen waren an Südhängen sehr niedrige Streufeuchten zu beobachten. Der Waldbrandindex nach Baumgartner kann im November nicht mehr berechnet werden. Andere Indices unterschätzten die potentielle Gefahr aufgrund der lokalen meteorologischen Situation und außergewöhnlicher Tagesgänge<sup>7</sup>.

## Manipulationen - Auswirkungen von Extremereignissen auf Waldbäume

Im zweiten Teil des Vortrags geht es um die Auswirkungen von extremen Witterungsereignissen auf die Waldkiefer (*Pinus sylvestris* L.). In der Diskussion um die Eignung einer Baumart vor dem Hintergrund des bevorstehenden Klimawandels könnten Herkunftsunterschiede eine wesentliche Rolle spielen. Aus diesem Grund untersuchen wir den Einfluss von Witterungsextremen auf Jungpflanzen verschiedener Herkünfte in Manipulationsexperimenten.

Dazu wurden zehn Herkünfte aus dem südwestlichen Rand des Verbreitungsareals ausgewählt, da dort Anpassungen an Trockenheit und Hitze vermutet werden. In Zusammenarbeit mit dem Amt für forstliche Saat- und Pflanzenzucht wurden genetische Analysen an Saatgut und den Keimlingen durchgeführt. Die ersten Ergebnisse zeigen deutliche Unterschiede zwischen spanischen, französischen, italienischen Provenienzen im Vergleich zu einer Gruppe aus deutschen, polnischen und bulgarischen Kiefern. Es lässt sich zudem eine Abnahme der genetischen Vielfalt in Richtung der westlichen Herkünfte nachweisen.

---

<sup>5</sup> Augter G, Roos M (2011) Berechnung von Sturmintensitäten für Deutschland. Bericht des Deutschen Wetterdienstes Nr. 236, Offenbach am Main.

<sup>6</sup> Gloning P. et al. (submitted to Agr.Forest Meteor) The effects of climate change on winter hardiness zones in Europe.

<sup>7</sup> Schunk C et al. (in Vorbereitung) Forest fire danger indices under extreme meteorological conditions in complex topography - the situation in the Bavarian Alps in autumn 2011.

Die Kiefernherkünfte wurden in einem Freilandversuch ausgesät. In vier unterschiedlichen Behandlungsvarianten (Warm, Trocken, Warm-Trocken, Kontrolle) wird die Reaktion der Kiefernherkünfte beobachtet. Um insbesondere im Hinblick auf den Strahlungshaushalt möglichst natürliche Bedingungen zu gewährleisten, wird dabei auf eine permanente Überdachung verzichtet. Stattdessen werden die Kiefern mit Hilfe einer dafür entwickelten Freiflächenheizung erwärmt und der Trockenstress wird mit Hilfe eines Rain-out-Shelters (fahrbare Überdachung) eingestellt.

Erste Ergebnisse aus einem Frühtest, der vorab im Gewächshaus durchgeführt wurde, werden vorgestellt. Hierbei zeigen die verschiedenen Kiefernherkünfte deutliche Unterschiede im Hinblick auf das Auflaufprozent und bei der phänologischen Entwicklung. Herkunftsunterschiede können auch für alle erhobenen Wachstumsparameter nachgewiesen werden. Auch unter trockenen Bedingungen verschieben sich die Rangfolgen hinsichtlich der Sprosslänge nur geringfügig. Trotzdem konnten Hinweise für eine unterschiedliche Trockenheitsresistenz für einzelne Provenienzen gefunden werden<sup>8</sup>.

Im weiteren Verlauf des Projektes werden die für Jungpflanzen gefundenen Ergebnisse durch eine retrospektive Untersuchung von Klimawachstumsbeziehungen bestehender Herkunftsversuche ergänzt. Auf diese Weise kann ein umfassendes Bild der Reaktion unterschiedlicher Herkünfte der Kiefer auf Extremereignisse aufgezeigt werden und daraus die Möglichkeit von Anpassungsmaßnahmen gefolgert werden.

---

<sup>8</sup> Taeger S et al. (in Vorbereitung) Genetic structure and drought induced effects on European Scots Pine seedlings.

## Reaktion von Jungbuchen auf Trockenstress

Michael Goisser<sup>1</sup>, Ulrich Zang<sup>2</sup>, PD Dr. Werner Borken<sup>2</sup>, Dr. Karl-Heinz Häberle<sup>1</sup>,  
Prof. Dr. Egbert Matzner<sup>2</sup>, Prof. Dr. Rainer Matyssek<sup>1</sup>

<sup>1</sup>TUM Lehrstuhl für Ökophysiologie der Pflanzen,

<sup>2</sup>Universität Bayreuth Lehrstuhl für Bodenökologie

### Motivation

Die Buche als konkurrenzstarke Klimaxbaumart gilt als anfällig gegen Trockenheit (Backes und Leuschner, 2000; Geßler et al., 2007), insbesondere als Jungpflanze (Bolte und Roloff, 1993; Löff et al., 2005). Bislang liegen jedoch nur unzureichende Kenntnisse über die Reaktion von Jungbuchen auf sommerliche Trockenheit sowie deren Anpassungsfähigkeit gegenüber Trockenstress in den ersten Jahren nach der Pflanzung vor. Vor dem Hintergrund des Klimawandels (IPCC, 2007) gewinnt die Kenntnis einer quantitativen Beziehung zwischen Trockenheit und Baumreaktionen an Relevanz (Breda et al., 2006).

### Untersuchungsgebiet und experimentelles Design

Ein stark aufgelichteter 150jähriger Fichtenbestand im Fichtelgebirge (763 m ü. N. N., Jahresmitteltemperatur: 5,3°C, Jahresniederschlag: 1130 mm, Braunerde-Podsol auf Granit) wurde im Herbst 2008 mit 3-jährigen Buchen der Herkunft 12 in einer Dichte von 2500 Pflanzen pro Hektar unterpflanzt. Während der Sommermonate 2009, 2010 und 2011 wurde mittels transparenter Überdachungen (3 x 400 m<sup>2</sup>) ein Niederschlagsausschluss mit jährlich ansteigender Austrocknungsintensität realisiert. Die maximal erreichten Matrixpotentiale in 20cm Mineralbodentiefe betrugen 2009 pF 4,0, 2010 pF 4,3, 2011: pF 4,7. Auf drei unbehandelten Kontrollflächen waren die Pflanzen dem natürlichen Niederschlagsregime ausgesetzt, während auf weiteren drei Flächen durch Verregnen von deionisiertem Wasser ganzjährig eine optimale Wasserversorgung gewährleistet wurde (mittleres Matrixpotential: pF 2,3).

Gemessen wurde der jährliche Querschnittsflächenzuwachs am Wurzelhals, sowie folgende Parameter: Photosynthese, Wassernutzungseffizienz (Wasserverbrauch pro gewonnenem Kohlenstoff) Wurzelmorphologie, Durchwurzelungstiefe, spezifische Blattfläche, Transpiration und Mortalität. Für jede Pflanze wurde die Wasserverfügbarkeit im Wurzelraum erfasst und hieraus eine individuelle Trockenstressdosis (über die Vegetationsperiode kumuliertes Matrixpotential) abgeleitet, welche als erklärende Variable in der statistischen Analyse der Ergebnisse dient.

### Ergebnisse und Diskussion

Der relative Querschnittsflächenzuwachs (Abb. 1) war während der dreijährigen Versuchsdauer stark vom individuellen Lichtgenuss abhängig. Der Einfluss der jeweiligen Trockenstressdosis auf den Querschnittsflächenzuwachs war 2009 zunächst vom Pflanzschock überlagert (32% relativer Zuwachs auf den Beregnungsflächen

gegenüber 26% im trockensten Bereich), gewann jedoch in den Folgejahren an Bedeutung: Nach Ablauf der Vegetationsperiode 2011 konnte für nicht gestresste Jungbuchen ein relativer Querschnittsflächenzuwachs von 79% (2010: 74%) gemessen werden, während der Zuwachs bei maximaler Trockenstressdosis nur 61% (2010: 50%) betrug.

Es zeigten sich Hinweise auf eine langfristige Anpassung der Buchen an Trockenstress. Beispielsweise verhielt sich die Photosynthese 2011 (PS<sub>max</sub> bei pF 2,3 gegenüber pF 4,1: -17%) weniger sensitiv bezüglich Trockenstress als 2010 (PS<sub>max</sub> bei pF 2,3 gegenüber pF 3,2: -33%).

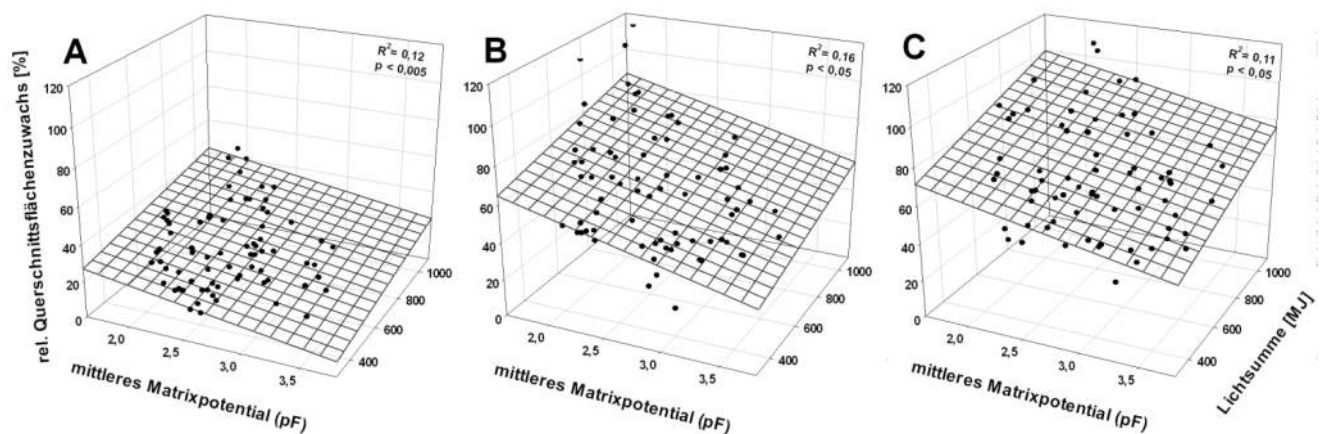


Abb. 1: Relativer Querschnittsflächenzuwachs am Wurzelhals in Abhängigkeit von Lichtgenuss und Trockenstressdosis ausgedrückt als mittleres Matrixpotential für die Jahre 2009 (A), 2010(B) und 2011(C)

Desweiteren konnten morphologische Anpassungen beobachtet werden. Ein verringerter Feinwurzeldurchmesser sowie eine Zunahme der Wurzelspitzendichte und der Durchwurzelungstiefe mit zunehmendem Trockenstress wurden als Reaktion zur effizienteren Bodenerschließung interpretiert. Die Bildung von hartlaubigeren Blättern (niedrigere spezifische Blattfläche) gestresster Individuen bereits 2010 deutet auf eine schnelle Anpassung auf den moderaten Trockenstress im ersten Versuchsjahr 2009 hin.

Im Gegensatz zu bereits an Trockenheit angepassten Jungbuchen zeigten nicht angepasste bei abnehmender Wasserverfügbarkeit einen deutlichen Rückgang der Transpiration um durchschnittlich 30%. Keine Hinweise auf Anpassung lieferte die Wassernutzungseffizienz, für die durch die stärkere Austrocknung 2011 zwar absolut doppelt so hohe Werte wie 2010 erreicht wurden, ihre quantitative Beziehung zum aktuellen Trockenstress veränderte sich jedoch nicht. Trotz der starken Austrocknung insbesondere im letzten Versuchsjahr konnte keine erhöhte Mortalität festgestellt werden.

In wieweit die bisherigen Befunde auf Anpassung zurückzuführen sind, werden weitere Analysen klären. Der Gehalt an Nährstoffen und an nichtstrukturellen Kohlenhydraten, die <sup>13</sup>C-Signatur des Xylems sowie phänologische Veränderungen (z. B. Blattseneszenz) werden als zusätzliche Parameter in die Auswertung einfließen.

### Schlussfolgerungen

Die Wuchseistung der Jungbuchen wurde zwar mit zunehmender Bodentrockenheit verringert, jedoch kann in Aufforstungen eine große Resistenz gegenüber Trockenstress unter den gegebenen klimatischen Bedingungen im Fichtelgebirge erwartet werden. Das Anpassungsvermögen der Jungbuchen basiert einerseits auf schnell wirksamen Mechanismen wie Regulation der Transpiration und andererseits auf ihrer morphologischen und physiologischen Plastizität. Ob Jungbuchen anderer Herkünfte unter extremeren klimatischen Bedingungen (höhere Temperaturen, geringere Luftfeuchte) eine ebenso ausgeprägte Trockentoleranz aufweisen, ist unklar und erfordert weitere Untersuchungen.

### Literatur

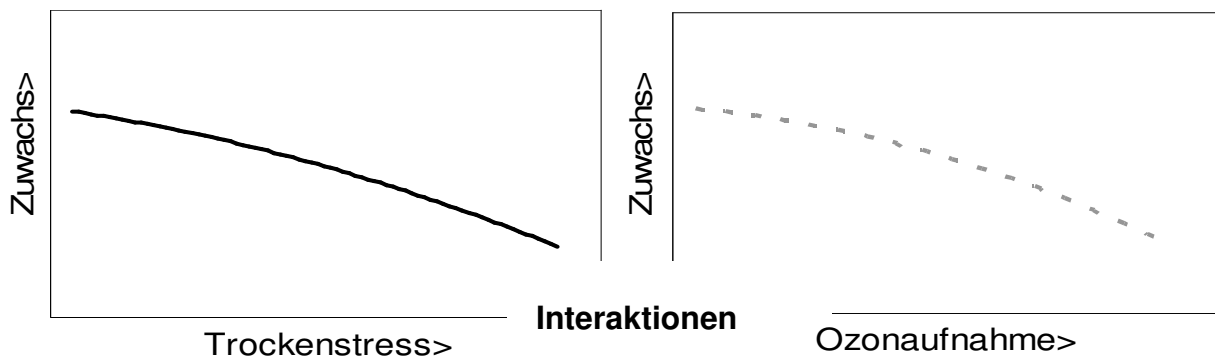
- Backes K, Leuschner C (2000) Leaf water relations of competitive *Fagus sylvatica* L., and *Quercus petraea* (Matt.) Liebl. trees during four years differing in soil drought. *Can. J. For. Res.* 30: 335-346
- BOLTE, A. und A. ROLOFF (1993): Einfluß von Buchenüberhältern auf Bodenvegetation und Naturverjüngung. *Allg. Forst- u. J.-Ztg.* 164: 97–102
- Breda N, Huc R, Granier A, Dreyer E (2006) Temperate forest trees and stands under severe drought: a review of ecophysiological responses, adaptation processes and long-term consequences. *Ann. For. Sci.* 63: 625-644
- Geßler A, Keitel C, Kreuzwieser J, Matyssek R, Seiler W, Rennenberg H (2007) Potential risks for European beech (*Fagus sylvatica* L.) in a changing climate. *Trees* 21: 1-11
- IPCC (2007) *Climate Change 2007: The Scientific Basis*. The Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge
- LÖF, M., A. BOLTE und N. T. WELANDER (2005): Interacting effects of irradiance and water stress on dry weight and biomass partitioning in *Fagus sylvatica* seedling. *Scand. J. For. Res.* 20: 322–328

## Wie reagiert die Buche auf Wassermangel und Ozonbelastung? – Ergebnisse von bayerischen Fallstudien

Dr. Manuela Baumgarten, LWF Abt. 2 Boden und Klima/ TUM Lehrstuhl für  
Ökophysiologie der Pflanzen

Die Wasserverfügbarkeit ist entscheidend für das Wachstum der Bäume. Regionale Klimaszenarien gehen neben einer Erhöhung der Temperatur zukünftig von einer verstärkten Umverteilung der Niederschläge vom Sommer auf den Winter aus. Für Mitteleuropa ist zudem mit einer jährlichen Zunahme der Hintergrundkonzentration des bodennahen Ozons als Klimawandel-Faktor zu rechnen. Aufgrund der zellschädigenden Wirkung von Ozon kommt es entweder zur direkten Senkung der Photosyntheseleistung oder zu energetisch aufwändigen Entgiftungsreaktionen, welche beide letztendlich zu Wachstumseinbußen führen. Beide Faktoren, Wassermangel und Ozonbelastung, könnten somit einzeln oder in Kombination (Abb. 1) auch das Leistungspotenzial der Buche -

Was wird zukünftig das forstwirtschaftlich relevante Leistungsvermögen der Buche begrenzen?



iten – Trockenheit (ein-  
n Kombination - auf Bu-

### Zukunft der Buche im Klimawandel bei zunehmender Trockenheit

Gegenwärtig ist ein fachlicher Diskurs über die Frage im Gange, ob die im Klimawandel als sehr anpassungsfähig eingeschätzte Buche wegen der Kombination der Einflussgrößen Trockenheit und Ozonbelastung besonders hohen Risiken ausgesetzt ist. Im Vordergrund stehen die Bewertung der Stresstoleranz der Baumart Buche und potentieller Produktionseinbußen auf einem breiten Standortsspektrum an zehn Buchenbestände in Bayern. Zentrale Untersuchungsmethoden sind die hoch



aufgelöste Zuwachsmessung sowie die Bestimmung der Baumtranspiration und der individuellen Ozonaufnahme, beides ermittelt durch Xylemsaftflussmessung. Mit dieser Vorgehensweise kann der Einfluss von Wasserverbrauch und aufgenommener Ozon-Dosis auf den Zuwachs zeitnah analysiert werden. Daraus können Ableitungen zur standortsspezifischen Regulationsfähigkeit des Baumes bei eingeschränkter Wasserversorgung, sowie zum Risiko der Produktionsminderung durch Trockenstress und Ozon gemacht werden.

## **Bisherige Erkenntnisse**

Die Kombination von hochauflösenden Messungen des Zuwachses und des Wasserverbrauchs inklusive der Ozonaufnahme am Einzelbaum eignet sich sehr gut zur Klärung des Einflusses der Klimawandelkomponenten Wasserversorgung und Ozon. Zudem eignen sich die Messdaten des Wasserverbrauchs zur Validierung von Wasserhaushalts-Modellen für Bayerns Waldstandorte. Das Projekt liefert erstmals umfangreiche Messdaten zur tatsächlich aufgenommenen Ozondosis adulter Bäume in realen Beständen, was eine wichtige Grundlage für die aktuelle Schwellenwert- und Risikodiskussion, sowie für die Beurteilung von bisherigen Ozonaufnahme-Modellen sein wird.

Nach derzeit zwei Intensiv-Messjahren (2010, 2011 in Auswertung) in zehn Buchenbeständen steht die Erforschung der Auswirkungen der Änderung von Klimawandelkomponenten im realen Bestand am Anfang. Während der bisherigen Projektdauer traten keine langfristig ausgeprägten Trockenereignisse auf, weshalb Schlussfolgerungen für das zukünftige Klimawandelszenario derzeit erst eingeschränkt möglich sind.

Als Zwischenergebnis lässt sich für das Messjahr 2010 zeigen, dass an eher trockenen Standorten (wie zum Beispiel WKS Würzburg, WKS Riedenburg) eine zeitweise limitierte Wasserversorgung (drei Wochen) bei steigender Ozonbelastung kurzzeitig zur reversiblen Zuwachsstagnation führt. Für das Kollektiv der untersuchten Bestände lässt sich eine abnehmende relative Zuwachsrate mit steigender Ozondosis zeigen. Im Jahr 2010 ist kein Zusammenhang zwischen relativer Zuwachsrate und Bestandestranspiration und damit keine Einschränkung des Zuwachses durch die zeitweise eingeschränkte Wasserversorgung nachweisbar.

## **Nutzen und Ausblick**

Die prozessorientierten Erkenntnisse aus den Freilandstudien unterstützen bestehende empirische Erklärungsmodelle und einzelne Experimente zur Beurteilung der Baumarteneignung der Buche. Die Ergebnisse dienen der verbesserten Prognose der Baumarteneignung für die waldbauliche Planung und für die Erarbeitung ökologischer und waldbaulicher Empfehlungen für die Praxis. Daraus sollen Ableitungen zu einem standortsspezifischen Ursache-wirkungsbezogenen Eignungsindex der Buche hinsichtlich ihrer Stresstoleranz an Standorten unterschiedlicher Trockenheit und

Ozonbelastung erarbeitet werden. Ein Ziel in naher Zukunft ist die Bereitstellung von Qualitätsmaßstäben für regionale forstliche Empfehlungen

Im Kontext des Kyoto-Protokolls und der landes- und bundesweiten Ziele zur Minderung von Treibhausgasen ist eine Bewertung von Produktionseinbußen durch Wasserlimitierung oder Ozonbelastung im Hinblick auf die Kohlenstoffsinkenfunktion der Wälder auch von ökonomischer und umweltpolitischer Bedeutung.

## Totholz als Kohlenstoffsенke in bewirtschafteten und unbewirtschafteten Wäldern

Inken Krüger, Universität Bayreuth Lehrstuhl für Bodenökologie

Die Rolle von Totholz als Kohlenstoffsенke wird in einer laufenden Fallstudie in bewirtschafteten und unbewirtschafteten Waldflächen in Bayern untersucht. Die Kohlenstoffvorräte und Umsatzzeiten der Kompartimente oberirdisches Totholz, unterirdisches Totholz, Humus und Mineralboden werden bestimmt. Bei den untersuchten Flächen handelt es sich um den Ludwigshain bei Kelheim, den Rohrberg im Spessart (Buchen-Eichenwälder) und Grübel im Bayerischen Wald (Fichtenwald).

Auf 1 ha großen Flächen wurden die oberirdischen Totholzvorräte kartiert und Proben zur Bestimmung von Holzdichte, Kohlenstoffgehalt und Absterbealter entnommen. In den untersuchten unbewirtschafteten Wäldern befinden sich 12 - 32 t C im oberirdischen Totholz (Abbildung 1). Demgegenüber sind die Unterschiede in den bewirtschafteten Wäldern mit 4,2-5,6 t C nur sehr gering. Für die letzten zwanzig Jahre wurde in den untersuchten unbewirtschafteten Wäldern ein mittlerer Totholzeintrag von 1 t C pro Jahr ermittelt. Die Zeit nach der ein Kubikmeter Totholz die Hälfte des Kohlenstoffs von einem Kubikmeter frischem Holz enthält variiert bei den untersuchten Baumarten zwischen 15 (Buche) und 35 Jahren (Fichte). Berechnungen unter Annahme gleichbleibender Totholzvorräte zeigen, dass in den unbewirtschafteten Buchen-Eichenwäldern rund 0,3 t C ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> abgebaut werden, im untersuchten Fichtenbestand rund 0,01 t C ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>. Die Artunterschiede machen deutlich, dass Totholzvorräte alleine keine Aussagen über das Kohlenstoffspeicherpotential erlauben. Hierfür ist die Bestimmung der mittleren Abbauzeit für jede Baumart erforderlich.

Die Erhebung des Kohlenstoffvorrats im unterirdischen Totholz ist aufgrund des erforderlichen Untersuchungseingriffs nur in bewirtschafteten Wäldern möglich. Für Buchen und Eichen wurden die Vorräte nahe des Ludwigshains erhoben. Im bewirtschafteten Wald befinden sich rund 170 Stümpfe pro Hektar. Diese können mehrere Jahrzehnte alt sein. Zur Berechnung der Kohlenstoffvorräte wird die Anzahl der Stümpfe mit der durchschnittlichen Kohlenstoffmenge pro Stumpf multipliziert. Für den Ludwigshain ergeben sich unterirdische Totholzvorräte von 0,3 bis 1,4 t C ha<sup>-1</sup> im bewirtschafteten Wald und 0,1 bis 0,4 t C ha<sup>-1</sup> im unbewirtschafteten Wald. Im bewirtschafteten Wald macht das unterirdische Totholz somit 16% des Gesamtotholzes aus, im unbewirtschafteten Wald 1%.

Zur Bestimmung der Kohlenstoffvorräte in der Humusauflage und im Mineralboden wurden auf jeder Fläche an 30 Rasterpunkten Proben entnommen. Die Kohlenstoffvorräte der Humusauflage liegen zwischen 4 und 14 t C ha<sup>-1</sup>. Am Standort Grübel (Fichte) ist im unbewirtschafteten Wald 50 % mehr Kohlenstoff in der Humusauflage gespeichert als im oberirdischen Totholz. In den beiden untersuchten Buchen-Eichen-Wäldern sind die Vorräte im Totholz drei bis achtmal so groß.

Der Kohlenstoffvorrat im Mineralboden bis 100 cm Tiefe liegt in den untersuchten Wäldern zwischen 50 und 250 t C ha<sup>-1</sup> (Abbildung 2). Somit weist der Mineralboden von den untersuchten Kompartimenten den größten Kohlenstoffvorrat auf und speichert 1,5- bis 9-mal mehr Kohlenstoff als das oberirdische Totholz. Die bewirtschafteten Wälder beim Rohrberg und Ludwigshain weisen etwas größere Kohlenstoffvorräte auf als die unbewirtschafteten. Die Unterschiede zwischen den Bewirtschaftungsformen sind jedoch nicht signifikant. Dieses Ergebnis zeigt, dass Totholz kurz- bis mittelfristig nicht zum Kohlenstoffvorrat im Mineralboden beisteuert.

Die Resultate deuten darauf hin, dass der Großteil des Kohlenstoffs aus Totholz zu CO<sub>2</sub> mineralisiert wird. Inwieweit Totholz zum Kohlenstoffvorrat im Mineralboden beiträgt konnte noch nicht abschließend geklärt werden. So ist der Zeitraum seitdem die Wälder nicht mehr genutzt werden relativ kurz. Die Wahrscheinlichkeit, dass Totholz bei einem mittleren Eintrag von 1 t C pro Jahr und einer langsamen Abbaurate nicht nur punktuell sondern zu einer flächendeckenden Erhöhung des Kohlenstoffvorrats im Mineralboden beigetragen hat, ist äußerst gering.

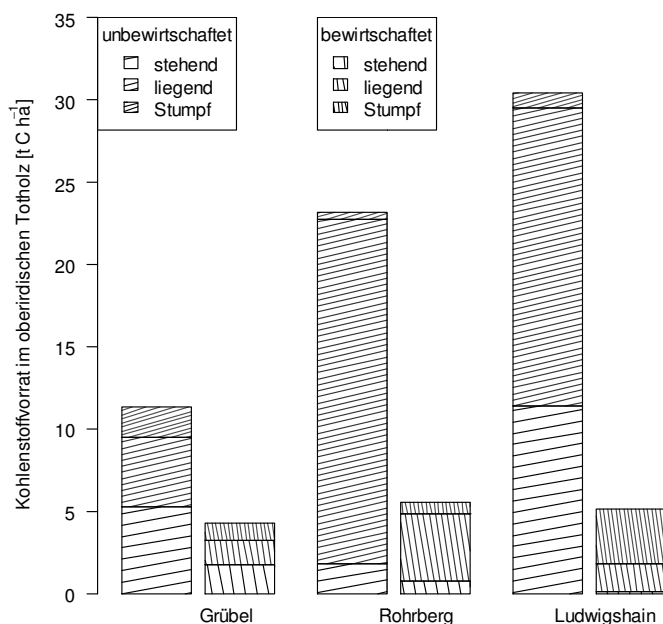


Abb. 1: Kohlenstoffvorräte im oberirdischen Totholz an den Standorten Gröbel, Rohrberg und Ludwigshain unterteilt nach stehendem Totholz, liegendem Totholz und Stümpfen.

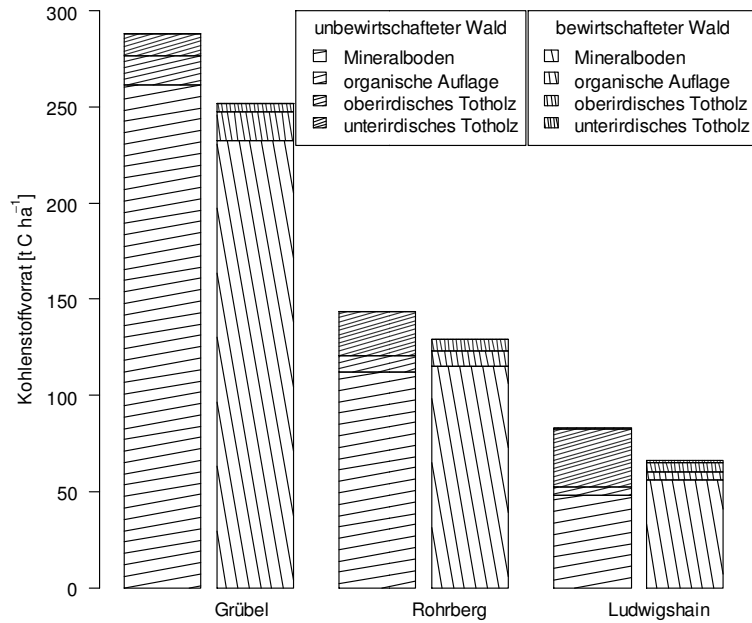


Abb. 2: Kohlenstoffvorrat in den obersten 100 cm Mineralboden, in der Humusauflage und im Totholz für die Standorte Grübel\*, Rohrberg\* und Ludwigshain (\*ohne unterirdisches Totholz).

## Die Kohlenstoffbilanz der Bayerischen Forst- und Holzwirtschaft

Dr. Daniel Klein<sup>1</sup>, Christoph Schulz<sup>2</sup>

<sup>1</sup>LWF, Abt. 2 Boden und Klima, <sup>2</sup>Abt. 7 Waldbesitz, Beratung, Forstpolitik

Wälder erfüllen zahlreiche Funktionen. Sie bieten Lebensraum für Tiere und Pflanzen, liefern den wertvollen Rohstoff Holz oder tragen zur Verminderung der Klimaerwärmung bei, indem sie CO<sub>2</sub> der Luft entziehen und den darin enthaltenen Kohlenstoff in Form von Biomasse binden. Die Bedeutung der Wälder zum Klimaschutz wird einer breiten Öffentlichkeit immer mehr bewusst, was beispielsweise eine Umfrage des BMELV verdeutlicht: Darin gaben 78% der Befragten an, Wälder seien entscheidend für das Weltklima (BMELV 2011). Das Projekt KLIP 22 „Die Kohlenstoffbilanz der Bayerischen Forst- und Holzwirtschaft“ setzt sich zum Ziel, Zahlen und Fakten zur Bedeutung der Forst und Holzwirtschaft, speziell auf bayerischer Ebene zusammenzutragen.

### Wälder und Holzprodukte als Kohlenstoffspeicher

Insgesamt speichern alle Wälder unserer Erde unter Berücksichtigung aller Kompartimente (Biomasse, Totholz, Streu, Mineralboden) ca. 650 Mrd. Tonnen Kohlenstoff. Die höchsten Speicher der Erde liegen dabei insbesondere in Südamerika und in Russland. In Deutschland liegt der Speicher, unter Berücksichtigung nur der Baumbiomasse bei ca. 1,25 Mrd. Tonnen bezogen auf 2002 (Oehmichen et al. 2011), wobei mit 320 Mio. t rund ein Viertel in den Wäldern Bayerns gespeichert sind. Nimmt man alle anderen Kompartimente hinzu, so liegt der gesamte Waldspeicher in Bayern bei 675 Mio. t C bzw. bei knapp 280 t C pro ha. Bezieht man die Holzprodukte mit ein, so erhöht sich dieser Speicher auf 725 Mio. t. Der Mineralboden stellt mit 43% den wichtigsten Speicher dar. Im nationalen und internationalen Vergleich zeigt sich der hohe hektarbezogene Waldspeicher Bayerns: So ist dieser bezogen auf die Baumbiomasse etwa 4 Mal höher als z.B. in Finnland. Der absolute Anteil am Gesamtspeicher Wald in Europa ist mit 2,5% hingegen eher gering.

### Vergangene Entwicklung des C-Speichers Wald

Betrachtet man die Entwicklung des C-Speichers in der Baumbiomasse zwischen 1971 und 2002, so zeigt sich, dass in diesem Zeitraum die Wälder Bayerns als deutliche Kohlenstoffsенке fungierten, da sie in der Summe mehr Kohlenstoff aufnahmen als beispielsweise durch Nutzung wieder dem Wald entnommen wurde. Wie sich aktuell der Kohlenstoffspeicher Wald entwickelt, werden die Ergebnisse zur BWI 3 zeigen, die aktuell durchgeführt wird. Eine Studie auf Bundesebene deutet jedoch bereits darauf hin, dass sich der Speicher aktuell zumindest nicht weiter erhöhen wird.

## Holznutzung als Beitrag zum Klimaschutz

Will man den Beitrag der Forst- und Holzwirtschaft zum Klimaschutz vollständig erfassen, so müssen auch die Holzprodukte mit einbezogen werden, nicht nur deshalb, weil sie nach Ernte die Kohlenstoffspeicherung im Holz je nach Nutzungsart unterschiedlich lang verlängern, sondern auch, weil durch die Verwendung von Holz andere, zum Teil energieaufwändigere Materialien ersetzt werden können. Holz kompensiert nicht nur CO<sub>2</sub>-Emissionen, sondern trägt auch zur Vermeidung von CO<sub>2</sub>-Emissionen bei. Als Beispiel dafür wurden die Holzerntemengen zwischen 2003-2008 gemäß dem Produkt-approach des IPCC in unterschiedliche Produktkategorien in Anlehnung an die Clusterstudie Bayern (Röder et al. 2008) mit verschiedenen Lebensdauern verteilt, um so den Klimaeffekt zu bilanzieren. Die Netto-Speicherleistung (Eintrag minus Austrag aus dem Holzproduktespeicher) zusammen mit den Substitutionseffekten (Material- und Energiesubstitution) ergibt für diesen Zeitraum einen Klimaeffekt von 100 Mio. t CO<sub>2</sub> oder ca. 17 Mio. t CO<sub>2</sub> pro Jahr. Je länger der Betrachtungszeitraum, desto bedeutender wird in Relation die Substitutionswirkung von Holz, da, ähnlich wie beim Kohlenstoffspeicher Wald auch die Speicherkapazität der Holzprodukte endlich ist. Ab irgendeinem Zeitpunkt kompensieren die eingetragenen Mengen lediglich die Austragsmengen.

## Zukünftige Entwicklung des Klimaeffektes in Forst und Holz

Wie sich in Zukunft der Beitrag der Forst- und Holzwirtschaft entwickeln könnte, wurde anhand von verschiedenen Szenarien für einen Zeitraum von 40 Jahren auf Basis der BWI-Daten dargestellt. Dabei wurden für die gesamte Waldfläche Bayerns drei Szenarien („Stilllegung“, „Nutzung wie bisher“ und „Nutzung zuwachs“ mit leichtem Vorratsabbau) entwickelt. Hier stellte sich in der Summe aller Effekte das Szenario „Nutzung wie bisher“ als das optimale Szenario heraus (Abb.1). Letztendlich sind zwar auch bei einer vollständigen Nicht-Nutzung unserer Wälder zunächst positive Klimaeffekte zu erwarten. Allerdings nur bei einem optimalen Wachstum ohne Schadereignisse und einer reinen Fokussierung auf die Kompensation von Emissionen, denn es wird nur Biomasse aufgebaut und kein Holz zugunsten von Substitutionseffekte genutzt. Holz müsste bei einem Nicht-Nutzungs-Szenario durch andere, häufig ressourcenbeanspruchende Materialien oder Importe ersetzt werden. Im Vergleich zeigt sich, dass eine effiziente und mehrfache Nutzung von Holz den kohlenstoffökologischen Königsweg darstellt.

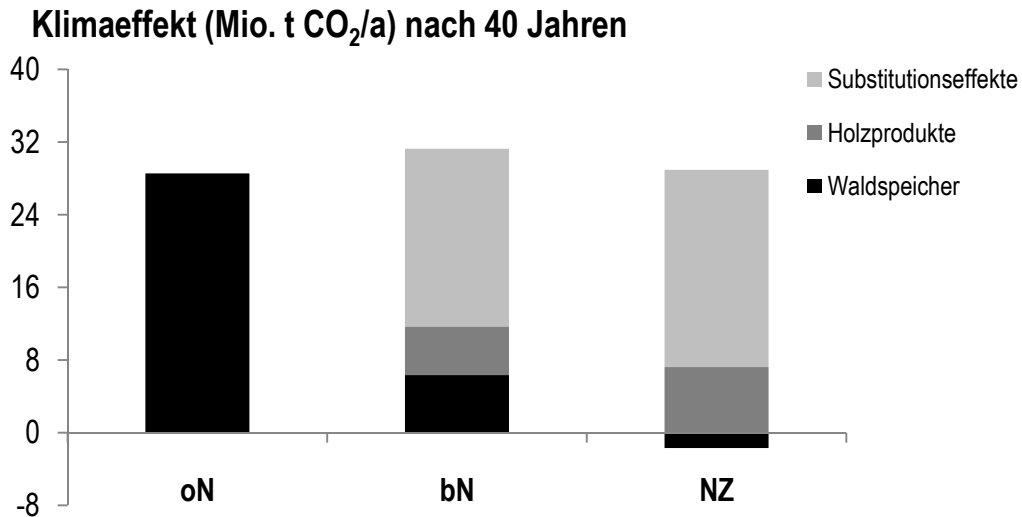


Abb. 1: Gesamt-Klimaeffekte der unterschiedlichen Szenarien. oN=ohne Nutzung (Stilllegung), bN=Nutzung wie bisher, NZ=Nutzung Zuwachs bzw. leichter Vorratsabbau.

## Literatur

- BMELV (2011). Pressemitteilung Nr. 40. Die Mehrheit der Deutschen sieht den Wald als entscheidenden Faktor für den Klimaschutz. 2 S.
- Röder, H., Steinbeis, E., Borchert, H., Wellhausen, C., Mai, W., Kollert, W., Jentsch, A., Woest, A., Weber-Blaschke, G., Fiedler, S. (2008). Cluster Forst und Holz in Bayern. Ergebnisse der Clusterstudie 2008. Herausgeber: Pöhry Forest Industry Consulting GmbH. 175 S.
- Oehmichen, K., Demant, B., Dunger, K., Grüneberg, E., Hennig, P., Kroiher, F., Neubauer, M., Polley, H., Riedel, T., Rock, J., Schwitzgebel, F., Stümer, F., Wellbrock, N., Ziche, D., Bolte, A. (2010). Inventurstudie 2008 und Treibhausgasinventar Wald. Sonderheft 343. Johann-Heinrich von Thünen-Institut. 141 S.