

**LWF**

**aktuell**

mit *Waldforschung aktuell* 44 | 2011

**85**

## **Forschungsverbund FORKAST Ökosysteme im Wandel**

BAYERISCHE  
FORSTVERWALTUNG 



## 15 Maitriebe im März



Blattaustrieb drei Wochen früher als normal und Spätfrost inbegriffen: Das wird in Zukunft nicht mehr so selten sein. Verschieben sich dadurch die ökologischen Nischen unserer Waldbäume?

## 40 Kohlenstoffspeicher Wald und Holz



In Bayern speichern Waldbäume und Waldböden im Durchschnitt fast 300 Tonnen Kohlenstoff pro Hektar. Die Kohlenstoffbilanz der bayerischen Forst- und Holzwirtschaft unterstreicht daher ihren wichtigen Beitrag zum Klimaschutz.

## 51 Stilllegung vs. Holznutzung



In unserer neuen Serie beleuchten wir die vielfältigen Aspekte der Waldnutzung. Der erste Beitrag beschreibt die wichtige Klimaschutzleistung, die mit der nachhaltigen Nutzung des Rohstoffes Holz verbunden ist.

Fotos: (v.o.) M. Weiß, T. Bosch, Holzabsatzfonds

## FORCAST

Wälder im Klimawandel	Camilla Wellstein und Carl Beierkuhnlein	4
Naturwaldreservate im Höhengradient als Indikatoren für den Klimawandel	Markus Blaschke, Johannes Bradtka, Heinz Bußler, Hagen Fischer, Stefan Müller-Kroehling, Helge Walentowski und Anton Fischer	6
Zur Trockenstresstoleranz von Eichen und Buchen	Cathrin Meinardus und Achim Bräuning	9
Innerartliche Plastizität und lokale Anpassungen von Waldbäumen	Jürgen Kreyling, Gerhard Huber, Anke Jentsch, Monika Konnert, Laura Nagy, Daniel Thiel, Camilla Wellstein und Carl Beierkuhnlein	12
Wenn der Maitrieb zum Märztrieb wird	Christoph Schleip, Christine Cornelius und Annette Menzel	15
Ein Dürre-Index für die Forstwirtschaft?	Tobias Mette, Thomas Rötzer und Hans Pretzsch	19
Walddynamik im Klimawandel	Klara Dolos und Björn Reineking	22

## WALDFORSCHUNG AKTUELL

Die Buche	Bernhard Felbermeier und Reinhard Mosandl	25
Nachrichten und Veranstaltungen		28

## WALD-WISSENSCHAFT-PRAXIS

WKS-Witterungsreport: Sommer mit gemischten Gefühlen	Lothar Zimmermann und Stephan Raspe	30
WKS-Bodenfeuchtemessungen: Nasse Füße und volle Gläser	Stephan Raspe und Winfried Grimmeisen	32
Energiewald unter Dauerbeobachtung	Martina Zacios, Jörg Niederberger und Christoph Schulz	34
Mangan-Mangel in Weihnachtsbaumkulturen	Jürgen Matschke	37
Wälder und Holzprodukte als Kohlenstoffspeicher	Daniel Klein und Christoph Schulz	40
Möglichkeiten und Grenzen der Auswertbarkeit der BWI <sub>3</sub> in Bayern	Hans-Joachim Klemmt und Michael Neubert	44
Katastrophe oder Chance?	Anton Fischer, Hagen Fischer und Ulrike Lehnert	47

## SERIE: NACHHALTIGKEIT

Stilllegung ist nicht nachhaltig	Stefan Nüßlein	50
Wald nutzen heißt Klimaschutz maximieren	Christoph Schulz und Daniel Klein	51

## KURZ & BÜNDIG

Nachrichten	54
Impressum	55

**Titelseite:** Vom Waldboden bis in die Spitzen der Baumkronen bildet der Wald ein hochkomplexes, vernetztes Ökosystem. Die Klimaerwärmung stellt den Wald vor große Herausforderungen. Forscherteams aus den unterschiedlichsten naturwissenschaftlichen Disziplinen gehen im Forschungsverbund FORKAST den vielfältigen Veränderungen nach und suchen nach den richtigen Anpassungsstrategien.

Foto: K.-H. Häberle, Lehrstuhl für Ökophysiologie der Pflanzen, TU München



Liebe Leserinnen und Leser,

die Anpassung an die unvermeidlichen, aber dennoch mit großen Ungewissheiten versehenen Abläufe des anthropogenen Klimawandels ist eine Aufgabe von gesellschaftlicher Dimension. Insbesondere die indirekten Folgen, wie Auswirkungen für die Funktionalität langlebiger Ökosysteme, sind derzeit nur bedingt abzuschätzen. Dabei sind es gerade solche Ökosysteme wie Wälder, wo frühzeitig und präventiv gehandelt werden muss. Der Klimawandel stellt auf Grund seiner Geschwindigkeit und Stärke eine immense Herausforderung für die begleitende Entwicklung insbesondere von Wäldern dar. Heute schon müssen Richtungsentscheidungen gefällt werden, um am Ende dieses Jahrhunderts noch funktionierende Waldbestände zu gewährleisten.

Die Komplexität der Materie erfordert auch eine konzeptionelle Verknüpfung verschiedener Ansätze. Neben der Analyse bisheriger Entwicklungen und der Etablierung eines effizienten Monitorings müssen realitätsnahe Modelle entwickelt werden, die uns verschiedene mögliche Optionen der künftigen ökologischen Abläufe und Reaktionen vermitteln. Nur wenn aber diese beiden Methodologien durch gezielte Experimente ergänzt werden, in welchen vernünftige, aber nicht bewiesene Hypothesen getestet werden können, sind tragfähige Befunde zu erwarten. Genau diese Verknüpfung leistet der bayerische Forschungsverbund FORKAST (»Auswirkungen des Klimas auf Ökosysteme und klimatische Anpassungsstrategien«). Dieser Verbund ist in seiner Art bislang einzigartig, nicht nur bezüglich der disziplinären Breite, sondern auch auf Grund seiner expliziten Fokussierung auf künftige Umsetzungen der Ergebnisse.

Im Zuge der Zusammenarbeit mit Wissenschaftlern aus der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft, die in diesem Forschungsverbund ebenfalls mitarbeiten, es hat es sich angeboten, in dieser LWF-aktuell-Ausgabe jene Teilaspekte von FORKAST vorzustellen, die sich explizit auf die Zukunft der bayerischen Wälder beziehen.



INTERNATIONALES JAHR  
DER WÄLDER • 2011

FORSTWIRTSCHAFT SCHAFFT LEBEN

Ihr

Carl Beierkuhnlein  
(Leiter des Forschungsverbundes  
FORKAST)

# Wälder im Klimawandel

Interdisziplinäre Forschung über ökologische Folgen und Anpassungsoptionen

Camilla Wellstein und Carl Beierkuhnlein

**Der bayerische Forschungsverbund FORKAST »Auswirkungen des Klimas auf Ökosysteme und klimatische Anpassungsstrategien« untersucht mit einem Schwerpunkt auch Waldbäume und Waldökosysteme. Wälder stellen eine der wichtigsten natürlichen Ressourcen dar. Sie tragen zur Erhaltung der biologischen Vielfalt, zur Wasserqualität und zur Klimastabilität bei. Die prognostizierten Klimaänderungen werden sich nachhaltig auf die Ökologie und die ökosystemaren Dienstleistungen heimischer Wälder auswirken. Es zeichnet sich ab, dass diese Veränderungen und vor allem die Reaktionen von Organismen und Ökosystemen eine der größten Herausforderungen für die Entwicklung von Anpassungsstrategien darstellt.**

Die mit Wäldern befassten Forschergruppen in FORKAST generieren durch disziplinenübergreifende Forschung Wissen, welches angesichts der erwarteten neuartigen Umweltbedingungen zeitnah hilft, optimierte Ansätze der Waldgestaltung zu entwickeln. Unsicherheiten bezüglich der ökologischen Auswirkungen des Klimawandels ergeben sich nicht nur aus der Erwärmung, sondern vor allem durch zunehmende Klimavariabilität und -extreme. Einzelne Ereignisse wie die frühen Morgenstunden der Spätfrostnacht am 4. Mai 2011 oder zeitlich begrenzte Phasen mit außergewöhnlichen Bedingungen wie der von einer extremen Dürre begleitete Hitzesommer im Jahr 2003 sind es, die sich ökologisch und teils nachhaltig – leider im negativen Sinne – auswirken. Die Wahrscheinlichkeit solcher Ereignisse nimmt mit dem Klimawandel zu. Es sind nun genau solche extremen Bedingungen, die unzureichend in den existierenden regionalen Klimamodellen abgebildet werden. Aus der Vergangenheit können sie nicht abgeleitet werden und sie erst dann zu analysieren, wenn sie aufgetreten sind, ist für eine Anpassung forstwirtschaftlicher Strategien zu spät.

Verbundforschung wird genau dort benötigt, wo komplexe Systeme nicht hinreichend verstanden werden. Die ökologischen Auswirkungen des Klimawandels sind ein solcher Fall. Ist inzwischen gut bekannt, welche Konsequenzen die Freisetzung klimawirksamer Gase in die Atmosphäre haben wird, so sind die ökologischen Auswirkungen dieser Entwicklungen keinesfalls gut einzugrenzen. Genau dies muss aber ermöglicht werden, wenn den sich abzeichnenden Risiken (und Chancen) begegnet werden soll.

## Forschungsbedarf zur Reaktion von Organismen

Wuchsbedingungen werden sich durch ansteigende Temperaturen, veränderte Niederschlagsmuster und durch erhöhte Klimavariabilität innerhalb dieses Jahrhunderts dramatisch verändern. Wie Arten und Bestände der Wälder auf einen solchen Klimawandel reagieren, ist ungewiss. Explizit fehlt Wissen zum Anpassungspotential von Baumarten an klimatische Extremereignisse und deren gegenseitige Verstärkung,

beispielsweise Dürre und Spätfrost. Dabei ist insbesondere das Potential der innerartlichen phänotypischen und genetischen Variabilität von Arten wenig erforscht.

Um bessere Einschätzungen über die Reaktion ausgewählter Artengruppen der Fauna und Flora einschließlich der Pilzflora zu erhalten, untersucht FORKAST Teilprojekt (TP) 02 (Prof. Fischer et al.) anhand von Höhengradienten in naturnahen Waldökosystemen Zusammenhänge zwischen Mittel- und Extremtemperaturen und ausgewählten Artengruppen. TP 03 (Prof. Bräuning et al.) untersucht für die stärksten Trockenjahre des 20. Jahrhunderts anhand zeitlich hochauflösender Jahrringuntersuchungen, wie lange die Erholungsreaktion der Waldbaumarten Rotbuche und Traubeneiche gedauert haben. TP 01 (Prof. Beierkuhnlein et al.) untersucht in Klimawandelexperimenten Plastizität und Anpassung verschiedener Herkünfte wichtiger Baumarten bezüglich Erwärmung und klimatischer Extremereignisse. TP 10 (Prof. Menzel et al.) prüft, wie sich klimatische Extremereignisse auf die Phänologie von Baumarten, beispielsweise deren Austreiben und Blattentfaltung, auswirken.

## Ergebnisse zu Artengruppen und Hauptbaumarten

Blaschke et al. (S. 6–8 in diesem Heft) bestätigen den Einfluss der Höhenlage auf die Artenzusammensetzung verschiedener Artengruppen. Für im Holz lebende (xylobionte) Käfer und Schnecken waren Klimaextreme relevant. Die Untersuchungen zielen darauf, nach Möglichkeit Klimaschwellenwerte für Arten abzuleiten. Dies ist insbesondere für eine Modellierung der Temperaturansprüche forstlich relevanter Schadinsekten (Borkenkäfer) und Pilze (Hallimasch und Feuerschwämme) und somit für Risikoabschätzungen bezüglich der Baumarten wichtig.

Meinardus und Bräuning (S. 9–11 in diesem Heft) berichten über Unterschiede in der Erholungsreaktion von Rotbuche und Traubeneiche nach Trockenperioden. Aus den Untersuchungen soll abgeleitet werden, ob die genannten Baumarten bei einer zu erwartenden höheren Intensität und Frequenz extremer Dürreereignisse langfristige Überlebensperspektiven

an stark trockengefährdeten Standorten haben oder ob an einen langfristigen Umbau der Baumartenzusammensetzung gedacht werden muss. Die erhobenen Daten gehen weiterhin in Waldwachstumsmodelle anderer Projektpartner ein.

Kreyling et al. (S. 12–14 in diesem Heft) konnten Nachweise zur lokalen Anpassung von Baumarten an Extremereignisse erbringen. Es zeigte sich, dass sich die Dürretoleranz der Rotbuche signifikant zwischen verschiedenen europäischen Herkünften unterscheidet. Unterschiede von Herkünften in der Spätfrosttoleranz zeigten sich bei Rotbuche, Schwarzkiefer und Flaumeiche. Beobachtungen während des Spätfrostereignisses im Mai 2011 weisen darüber hinaus auf die Bedeutung des »timings«, insbesondere der Blatt-Phänologie, im Zusammenhang mit auftretenden Extremereignissen hin. Dass mit solchen Verschiebungen im »timing« in Zukunft häufiger gerechnet werden muss, belegen Schleip et al. (S. 15–18 in diesem Heft). Extrem warme Frühjahrstemperaturen führen zu einem verfrühten Blattaustrieb. Dies wiederum erhöht das Risiko von Spätfrostschäden.

### Standards zur Einschätzung von Klimaextremen fehlen

Änderungen der klimatischen Bedingungen eines Standorts, vor allem jedoch Veränderungen von klimatischen Extremereignissen, wirken sich auf Bestandesstrukturen und Verjüngung von Wäldern aus und beeinträchtigen so deren Produktivität und ökologische Serviceleistungen. Insbesondere Extremereignisse, wobei deren Häufigkeit, Dauer und Intensität entscheidend sind, bestimmen wesentlich Struktur und Mortalität in Waldökosystemen. Generell lässt sich feststellen, dass Standards zur Einschätzung relevanter klimatischer Extreme in der Forstwirtschaft fehlen. Mette et al. (S. 19–21 in diesem Heft) prüfen die Anwendbarkeit der wichtigsten derzeit verwendeten Dürreindizes und schaffen damit eine Grundlage für zukünftige Entwicklungen zur Beurteilung des Dürrestresses von Wäldern.

### Modellierung benötigt konzeptionellen und empirischen Input

Die prozessbasierte Modellierung kann insbesondere auf Bestandes- und Landschaftsebene das Verständnis von Klimafolgen in Waldökosystemen verbessern. Extremereignisse wirken direkt als Störungsregime auf Wälder, zum Beispiel Windwurf oder Dürren; indirekt können sie weitere Störungen wie zum Beispiel Borkenkäferkalamitäten begünstigen. Daher sollte die konzeptionelle Einbindung komplexer Prozess-Interaktionen wie beispielsweise Dürre und Borkenkäferkalamitäten in Waldmodelle erfolgen. Weiterhin wird ebenso wie in der organismischen Forschung zunehmend die Wichtigkeit innerartlicher Variabilität erkannt. Innerhalb einer Baumart können Individuen und Populationen beispielsweise unterschiedliche Dürretoleranz aufweisen.

Die Waldforschung in FORKAST erbringt hier Integrationsleistung: Empirische Daten aus Monitoring und Experimenten sowie konzeptionelle Entwicklungen der Teilprojekte gehen in die übergreifende Modellierung ein. TP 13 (Prof. Pretzsch et al.) modelliert schwerpunktmäßig Mortalitätsprozesse und Baumartenveränderungen auf Bestandesebene. TP 14 (Prof. Reineking et al.) modelliert Störungsinteraktionen und innerartliche Variabilität. Beide Projekte haben zum Ziel, ein besseres Verständnis der Belastbarkeit und Resilienz von Waldökosystemen unter Klimawandel zu erreichen.

Dolos und Reineking (S. 22–24 in diesem Heft) zeigen eine konzeptionelle Darstellung der Interaktionen der wichtigsten Störungsregime bayerischer Wälder. Insbesondere gehen sie auf die Populationsdynamik des Borkenkäfers und dessen Interaktionen mit anderen Störungen ein.

### Strategien für Anpassungsoptionen

Die Forstwirtschaft unseres Jahrhunderts steht vor der Herausforderung, trotz verschiedener Entwicklungsoptionen (Szenarien) und entsprechend unterschiedlicher Klimaprognosen Entscheidungen für den Wald von morgen treffen zu müssen. Auf Grund dieser prognostischen Unsicherheiten einerseits und dem noch immer geringen Wissen zu der Reaktion von Arten und ihrer lokalen Bestände andererseits ist dies mit Unsicherheit behaftet. Eine verbesserte Einschätzung der Reaktion von Organismen (Projektziel von FORKAST) kann Orientierung bieten. Die Ergebnisse von FORKAST belegen das Potential der biologischen und genetischen Vielfalt der Organismen. Es bedarf des Erhalts und der Stärkung dieser Vielfalt, um die Funktionalität von Ökosystemen in einer sich ändernden Welt zu erhalten. So betrachtet hat auch eine ökonomisch leistungsfähige Forstwirtschaft das Potential, mit der Vielfalt ihre eigene Zukunftssicherung zu unterstützen.

Dr. Camilla Wellstein, Lehrstuhl für Biogeografie an der Universität Bayreuth, ist wissenschaftliche Koordinatorin des Forschungsverbundes FORKAST. [camilla.wellstein@uni-bayreuth.de](mailto:camilla.wellstein@uni-bayreuth.de)  
Prof. Dr. Carl Beierkuhnlein, Lehrstuhlinhaber des Lehrstuhls für Biogeografie, ist Leiter des Forschungsverbundes FORKAST. [carl.beierkuhnlein@uni-bayreuth.de](mailto:carl.beierkuhnlein@uni-bayreuth.de)

Die Ergebnisse der nachfolgenden Beiträge sind im Rahmen von Teilprojekten innerhalb des Forschungsverbundes FORKAST entstanden. Der Forschungsverbund FORKAST »Auswirkungen des Klimas auf Ökosysteme und klimatische Anpassungsstrategien« wird aus Mitteln des Klimaprogramms Bayern 2020 finanziert. Weitere Informationen unter: <http://www.bayceer.uni-bayreuth.de/forkast/>



# Naturwaldreservate im Höhengradient als Indikatoren für den Klimawandel

Analyse zahlreicher Artengruppen im Bayerischen Wald

Markus Blaschke, Johannes Bradtka, Heinz Bußler, Hagen Fischer, Stefan Müller-Kroehling, Helge Walentowski und Anton Fischer

**Der Einfluss des Klimas auf die Biodiversität ist den Menschen mindestens seit den Reisen des Alexander von Humboldt bekannt. Doch nirgendwo sonst kann man auf kurzer Distanz den Wechsel des Klimas und der Vegetation so erleben wie im Gebirge. Die Untersuchungen entlang eines über 1.000 Höhenmetern umfassenden Höhengradienten belegen die große Bedeutung von Höhenlage und Temperatur für die Zusammensetzung verschiedener Artengruppen. Die Klimaerwärmung wird vor allem für die in den höheren Lagen lebenden Arten eine ernste Bedrohung sein.**

Angeregt durch einen bereits auf vier Transekten angelegten Höhengradienten im Nationalpark Bayerischer Wald (Bässler 2009) waren das Fachgebiet Geobotanik der Technischen Universität München und die Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft bestrebt, einen ergänzenden Höhengradienten in Naturwaldreservaten anzulegen, der den bestehenden Gradienten insbesondere in den Höhenlagen von 300 bis 650 Metern ü. NN ergänzt sowie in höheren Lagen nördlich des Nationalparks im Bereich des Arbers abbildet.

## Acht Naturwaldreservate decken den Höhengradienten im Bayerischen Wald ab

Aus dem vorhandenen Pool der Naturwaldreservate im Bayerischen Wald und im angrenzenden Neuburger Wald wurden acht Naturwaldreservate ausgewählt, um möglichst alle Höhenstufen von den Ufern an Donau und Inn bis zu den Hochlagen des Bayerischen Waldes am Arber-Gipfel abzudecken (Tabelle 1). In jedem der Reservate wurden, angelehnt an die Inventurpunkte der Forsteinrichtung, sechs Probeflächen nach einem Zufallsprinzip ausgewählt, von denen je zwei den unteren Bereich des Reservats, zwei den mittleren Bereich und zwei den obersten Bereich des Reservats repräsentieren. Da-

Tabelle 1: Die Naturwaldreservate im Höhengradienten

Naturwald-reservat	Kurzbeschreibung	Höhe [m ü. NN]
Hecke	Edellaubbaumreiche Buchenwälder mit Fichte	310 – 405
Leitenwies	Buchen- und Stieleichenwald mit Fichte	370 – 420
Frauenberg	Edellaubbaumreiche Buchenwälder mit Fichte	460 – 650
Rehberg	Fichten-Tannen-Buchenwälder	510 – 620
Rusler Wald	Fichten-Tannen-Buchenwälder auf Blockhalde	700 – 820
Rießloch	Bergmischwald	775 – 1.035
Seeloch	Hochlagen-Fichtenwald u. Bergmischwald (NNO)	915 – 1.430
Grübel	Hochlagen-Fichtenwald (SSO)	1.170 – 1.260

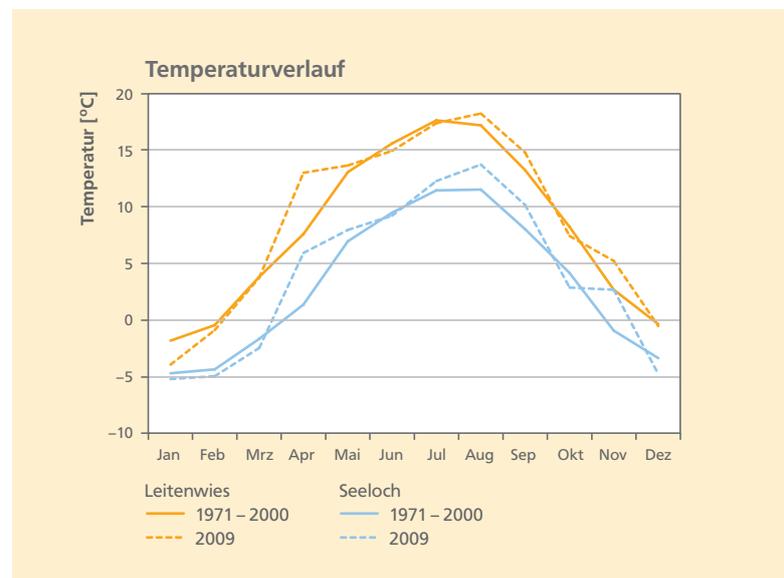


Abbildung 1: Jährlicher Temperaturverlauf auf zwei Beispielflächen im Höhengradienten aus dem Jahr 2009 und dem langjährigen Mittel von 1971 bis 2000

raus ergaben sich insgesamt 48 Probeflächen, die sich wie an einer Perlenschnur über die Höhenstufen des Bayerischen Waldes von 325 bis 1.410 Meter ü. NN aufreihen.

An jedem der 48 Punkte wurden neben einer Inventur des lebenden Baumbestandes und des Totholzes mit einer jeweils angepassten Methode die Arten aus den sieben Artengruppen Vegetation, Flechten, holzbesiedelnde Pilze, Vögel, Schnecken, holzbesiedelnde Käfer und Laufkäfer erfasst. Zudem wurden für jeden Punkt zahlreiche abiotische Parameter erhoben. Neben den Bodenparametern konnten an zehn Probeflächen die Witterungsdaten Temperatur und Luftfeuchte mit eigenen Datenloggern gemessen sowie für alle Punkte verschiedene Klimadaten aus einem Modell berechnet werden. Aus den Klimadaten wiederum konnten für alle Punkte zu erwartende Extremereignisse abgeschätzt werden, so zum Beispiel die höchste und niedrigste Tagesmitteltemperatur, der maximale Tagesniederschlag und die längsten zu erwartenden Trockenperioden innerhalb von 100 Jahren.

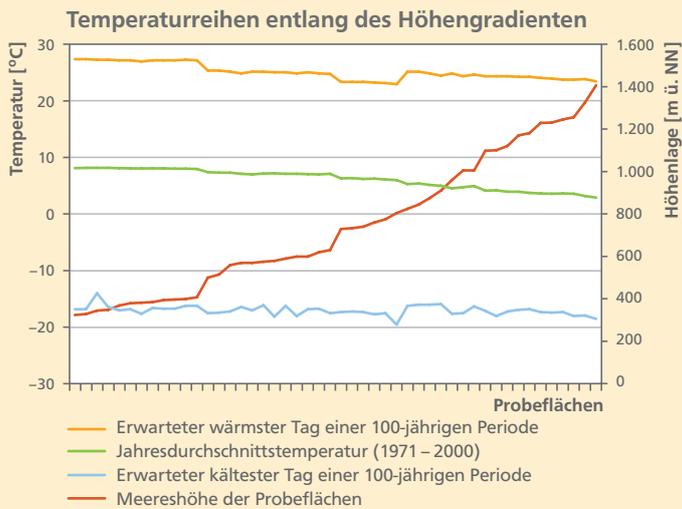


Abbildung 2: Temperaturreihen entlang des Höhengradienten

### Ein kalter Winter und warme Frühjahrs- und Herbstmonate

Die Jahresverläufe der Monatsdurchschnittstemperaturen für die beiden Naturwaldreservate Leitenwies und Seeloch zeigen beispielhaft, dass die ersten drei Wintermonate des Untersuchungsjahres 2009 kälter waren als der Durchschnitt der Jahre 1971 bis 2000 (Abbildung 1). Der April sowie die Monate August, September und November lagen dagegen deutlich über dem langfristigen Mittelwert. Dies macht deutlich, dass auch in Zukunft über längere Zeiträume erhebliche Abweichungen von den Mittelwerten zu erwarten sind.

Ein Vergleich der Tagesdurchschnittstemperaturen in den Zeiten der Schneeschmelze verdeutlicht, wie die Schneedecke die Erwärmung der Lufttemperatur verzögert. Hier ist in Zeiten des Klimawandels zu vermuten, dass dieser Puffer zukünftig verloren geht und somit die Erwärmung in den Hochlagen nochmals beschleunigt wird.

### Klimaextreme und Höhenverbreitung

Die zu erwartenden 100-jährigen Extremwerte für die maximale und minimale Tagestemperatur auf den einzelnen Flächen zeigen in Abhängigkeit zur Höhenlage eine flachere Verteilung als die durchschnittliche Tagestemperatur (Abbildung 2). Die Extremwerte im Höhengradienten sind im Vergleich zu den Durchschnittstemperaturen deutlich nivelliert.

Bei den maximalen Dürrezeiten zeigt sich ein zweistufiges Bild. Während im Bereich des Tieflands und des Vorderen Bayerischen Waldes überall eine Länge von etwa 35 Tagen für die längste zu erwartenden Dürreperiode abgeschätzt werden konnte, sinkt diese Zeitspanne erst in höheren Lagen des Inneren Bayerischen Waldes auf etwa 25 Tage (Abbildung 3). Unter einer Dürreperiode versteht man das Aufeinanderfolgen von Tagen mit weniger als einem Millimeter Niederschlag.

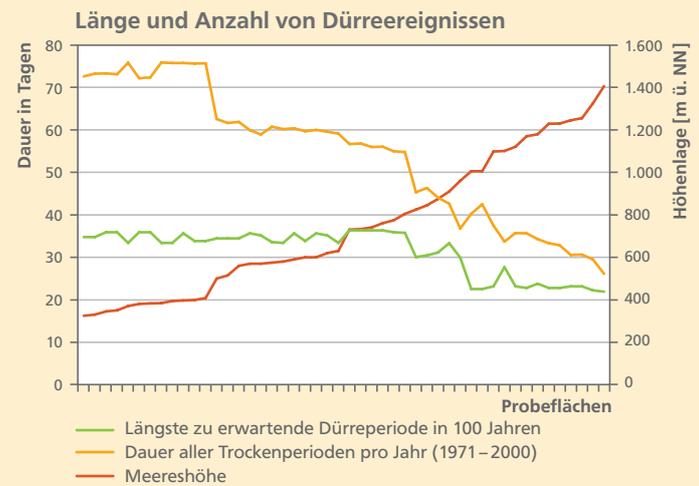


Abbildung 3: Dürreereignisse entlang des Höhengradienten

### Buche, Tanne und Fichte prägen die Naturwaldreservate

Die Baumartenzusammensetzungen auf den Probekreisen bilden die zu erwartenden natürlichen Waldgesellschaften in der Region sehr gut ab. So stellen in den tiefen Lagen buchendominierte Laubmischwälder mit unterschiedlichen Baumartenanteilen die Wälder, während die mittleren Lagen von Bergmischwäldern mit Buche, Tanne und Fichte geprägt werden. In den Hochlagen über 1.100 Metern ü. NN bestimmen schließlich die Fichten das Bild (Abbildung 4).

### Die Meereshöhe bestimmt die Temperatur, diese die Artenzusammensetzung

Die Artenzahlen der einzelnen Artengruppen (Tabelle 2) verhalten sich entlang des Höhengradienten ganz unterschiedlich. Während wir bei den Schnecken und den holzbesiedelnden Pilzen eine deutliche Abnahme der Artenzahlen mit der Höhe aufzeigen konnten, nahm die Artenzahl bei den Flechten wie zu erwarten mit der Höhe zu. Bei den anderen Artengruppen waren keine so deutlich ausgeprägten Tendenzen zu

Tabelle 2: Artenanzahl in den einzelnen Artengruppen

Artengruppe	Artenzahl	Bestimmungsproben
Gefäßpflanzen	90	699
Flechten	79	483
Vögel	55	545
Schnecken	46	460
Laufkäfer	40	465
Xylobionte Käfer	170	570
Holzpilze	265	1.632

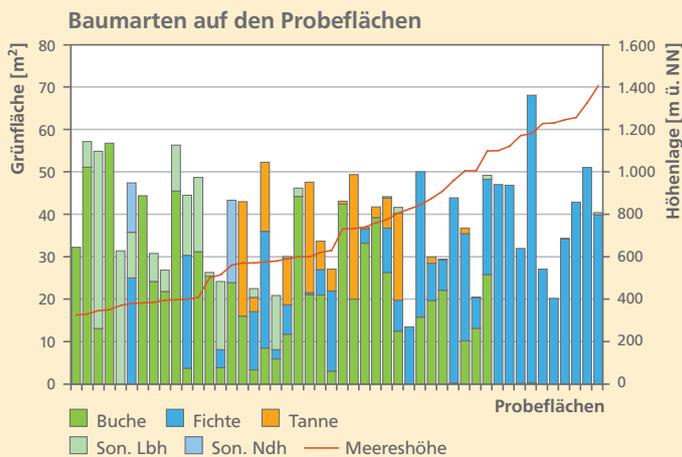


Abbildung 4: Baumartenverteilung auf den Probeflächen in acht Naturwaldreservaten entlang des Höhengradienten

erkennen. Insgesamt konnte über die hier beobachteten Artengruppen eine ausgeglichene Artenzahl über alle Höhenstufen festgestellt werden.

Mit Hilfe des statistischen Ordinationsverfahrens der DCA (*Detrended Correspondence Analysis*) wurde versucht, die Parameter für die Artenzusammensetzung der einzelnen Artengruppen zu identifizieren. Dabei zeigen sich über alle Artengruppen regelmäßig die Meereshöhe und dazu entsprechend die Jahresmitteltemperatur als die entscheidenden Faktoren. Zahlreiche weitere Faktoren schließen sich allerdings daran an. So spiegeln sich zum Beispiel auch die Baumartenzusammensetzungen in diesem Gradienten wieder. Dies gilt auch für die zu erwartenden klimatischen Extremereignisse, wie dies beispielhaft die Schnecken zeigen (Abbildung 5).

### Folgen für die Artenausstattungen im Bayerischen Wald

Forschungen zu Höhengradienten nehmen weltweit im Rahmen der Klimafolgenforschung immer breiteren Raum ein (Fischer et al. 2011). Unsere Untersuchung macht dabei noch einmal deutlich, dass die Artenzusammensetzung in den verschiedenen Höhenstufen stark von der Höhenlage und den entsprechenden Temperaturverhältnissen abhängt. Daraus lässt sich schließen, dass wegen der zu erwartenden Klima- und insbesondere auch Temperaturveränderungen auch die Artenzusammensetzungen in allen Höhenlagen Veränderungen unterliegen werden. Während für die unteren und mittleren Lagen zu erwarten ist, dass es im Wesentlichen zu einer Höhenverschiebung kommen wird, sind die Arten, die insbesondere an den Fichtenhochlagenwald angepasst sind, massiv bedroht (Müller-Kroehling et al. 2009). In diesen Regionen ist in Zukunft mit den größten Veränderungen zu rechnen. Auf unseren Flächen konnten als typische Arten dieser Zone beispiel-

### Schnecken und Klima-Extremwerte

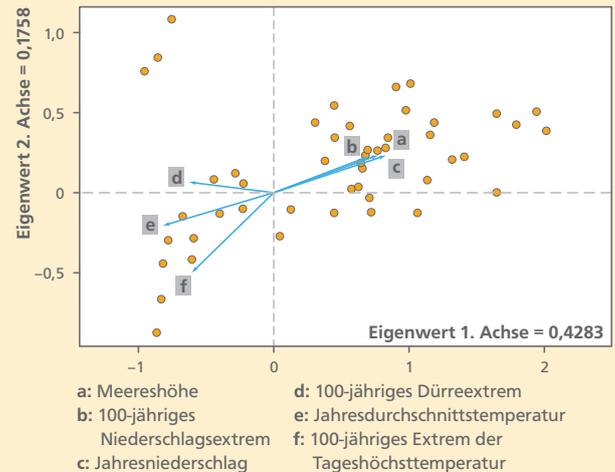


Abbildung 5: Die Ordinationstechnik der DCA zeigt, dass Meereshöhe und Jahresdurchschnittstemperatur die wichtigsten Faktoren für die Artenzönosen auf den Probekreisen des Höhengradienten sind.

haft der Alpenlattich *Homogyne alpina*, das Berg-Alpenglöckchen *Soldanella montana*, der Dünne Feuerschwamm *Phellinus viticola* und der Wald-Großlaufkäfer *Carabus silvestris* identifiziert werden. Auch die Blattflechte *Parmeliopsis hyperopta*, eine typische Vertreterin der Hochlagenwälder der Mittelgebirge, scheint dem Klimawandel zum Opfer zu fallen.

### Literatur

Bässler, C.; Förster, B.; Moning, C.; Müller, J. (2009): *The BIOKLIM Projekt: Biodiversity Research between Climate Change and Wilding in a temperate montane forest – The conceptual framework*. Waldökologie, Landschaftsforschung und Naturschutz, 7: S. 21–34

Fischer, A.; Blaschke, M.; Bässler, C. (2011): *Altitudinal gradients in biodiversity research: the state of the art and future perspectives under climate change aspects*. Waldökologie, Landschaftsforschung und Naturschutz, in Druck

Müller-Kroehling, S.; Walentowski, H.; Bußler, H.; Kölling, C. (2009): *Natürliche Fichtenwälder im Klimawandel – hochgradig gefährdete Ökosysteme*. LWF Wissen 63: S. 70–85

Markus Blaschke, Heinz Bußler, Stefan Müller-Kroehling und Dr. Helge Walentowski sind Mitarbeiter der Abteilung »Biodiversität, Naturschutz und Jagd« der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft. Johannes Bradtka ist Revierleiter beim Amt für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten Weiden und als Flechtenspezialist tätig. Dr. Hagen Fischer ist Mitarbeiter und Prof. Dr. Anton Fischer ist Leiter des Fachbereichs »Geobotanik« an der TU München.  
Korrespondierender Autor: [Markus.Blaschke@lwf.bayern.de](mailto:Markus.Blaschke@lwf.bayern.de)

# Zur Trockenstresstoleranz von Eichen und Buchen

## Erholungsreaktionen der Rotbuche und der Traubeneiche nach Dürrejahren

Cathrin Meinardus und Achim Bräuning

Die prognostizierten Klimaänderungen führen vermutlich in Zentraleuropa unter anderem zu einer höheren Frequenz und Intensität von Dürreereignissen. Solche Trockenjahre werden sich in starkem Maße auch auf die heimischen Wälder, ihre Artenzusammensetzung und ihre Bewirtschaftungsweise auswirken. Das Teilprojekt 03 des FORKAST-Forschungsverbundes geht mit Hilfe dendroökologischer Untersuchungen der Frage nach, wie viel Zeit die beiden Waldbaumarten Rotbuche und Traubeneiche in der Vergangenheit benötigt haben, um sich von extremen Trockenjahren zu erholen. Ziel ist es, besser abschätzen zu können, wie trockenstresstolerant diese beiden Baumarten in Zukunft sein werden.

Prognosen zufolge werden die Temperaturen in Zentraleuropa im Verlauf dieses Jahrhunderts weiter ansteigen (Christensen et al. 2007). Das A1B-Klimaszenario erwartet, dass die Temperaturen in den Sommermonaten in Süddeutschland bis Ende dieses Jahrhunderts um 2,4 °C zunehmen (Rennenberg et al. 2004). Bezüglich der Niederschläge wird für Süddeutschland damit gerechnet, dass die gemittelte Jahres-Niederschlagsmenge entgegen dem globalen Trend um bis zu 15 Prozent abnehmen wird (Rennenberg et al. 2004). Außerdem wird es zu einer deutlichen Änderung der saisonalen Verteilung der Niederschläge kommen. In Zentraleuropa ist mit einer Zunahme der Winterniederschläge und einer Abnahme der Sommerniederschläge zu rechnen. Man geht davon aus, dass die Sommermonate in Süddeutschland sowohl wärmer als auch trockener werden, wohingegen im Frühjahr ein Überschuss an Wasser vorhanden sein wird (Christensen et al. 2007; Rennenberg et al. 2004; Suttmöller et al. 2008).

Weiter werden die Häufigkeit und die Intensität klimatischer Extremereignisse ansteigen. Dazu zählen Stürme und Starkregenereignisse ebenso wie Trockenperioden im Sommer (Christensen et al. 2007; Rennenberg et al. 2004; Suttmöller et al. 2008). In Zentraleuropa werden zukünftig vermehrt Sommerdürren auftreten, wodurch die Wälder zunehmend häufigerem Trockenstress während der Vegetationsperiode ausgesetzt sein werden (Christensen et al. 2007; Suttmöller et al. 2008). Für Wälder spielt auch der Bodenwassergehalt eine entscheidende Rolle, denn die erwarteten Temperatur- und Niederschlagsregime werden diesen (und damit die Wasserverfügbarkeit für die Bäume) maßgeblich beeinflussen. Modellen zufolge wird die Kombination von höheren Temperaturen und abnehmenden Sommerniederschlägen zu einem Rückgang des Bodenwassergehalts von mehr als 50 Prozent führen (gemittelt über Süddeutschland) (Rennenberg et al. 2004). Auch Kölling und Falk (2010) schätzen, dass sich im Zuge des Klimawandels der Anteil der günstigen Wasserhaushaltsstufen in Bayern von über 70 Prozent (2000) auf unter 40 Prozent (2100) verringern wird. Gleichzeitig wird der Anteil der als trocken eingestuft Standorte von vier Prozent (2000) auf 28 Prozent (2100) erheblich ansteigen (Szenario B1, WETTREG-Regionalisierung).



Abbildung 1: Lage der Untersuchungsflächen in Nordbayern

### Fragestellung FORKAST – Teilprojekt 03

Noch ist ungewiss, wie die Wälder bzw. Baumarten im Einzelnen auf die sich verändernden Klimabedingungen und deren Folgen reagieren werden. Es ist jedoch wahrscheinlich, dass die häufigeren Trockenstressbedingungen die Vitalität, die Stabilität sowie die Produktivität der Wälder beeinträchtigen werden. Bewirtschaftungskonzepte sowie die Wahl der Nutzbaumarten müssen überdacht und gegebenenfalls angepasst werden (Suttmöller et al. 2008).

Das Teilprojekt 03 »Kurzfristige Auswirkungen und langfristige Konsequenzen klimatischer Extremjahre auf Waldökosysteme Nordbayerns« des FORKAST-Forschungsverbundes setzt an dieser Problematik an. Auf neun klimatischen bzw. edaphischen Trockenstandorten in Nordbayern (Abbildung 1, Tabelle 1) werden die Auswirkungen extremer Dürreereignisse des letzten Jahrhunderts auf die beiden wichtigen Waldbaumarten Rotbuche (*Fagus sylvatica*) und Traubeneiche (*Quercus petraea*) dendrochronologisch untersucht.

Tabelle 1: Standorte und untersuchte Baumarten

Standort	Höhe ü. NN	Geologie	Baumarten
Mark Zellingen	ca. 310 m	Oberer Muschelkalk	Rotbuche, Traubeneiche
Waldbrunn	ca. 365 m	Oberer Muschelkalk, Unterer Keuper	Rotbuche, Traubeneiche
Schweinfurt	ca. 420 m	Unterer Keuper	Rotbuche, Traubeneiche
Ebrach	ca. 455 m	Sandstein-keuper	Rotbuche, Traubeneiche
Markt Erlbach	ca. 470 m	Sandstein-keuper	Rotbuche, Traubeneiche
Geisfeld (Großer Schirm)	ca. 390 m	Dogger (Brauner Jura)	Rotbuche, Traubeneiche
Geisfeld (Ottobrunnen)	ca. 560 m	Malm (Weißer Jura)	Rotbuche
Hiltpoltstein	ca. 580 m	Malm (Weißer Jura)	Rotbuche
Rimpar	ca. 300 m	Oberer Muschelkalk, Unterer Keuper	Traubeneiche

Quellen: Bayerisches Geologisches Landesamt 1964; Bayerisches Landesamt für Umwelt 2011

Das Anpassungspotential der Buche wird seit einiger Zeit kontrovers diskutiert (für weiterführende Literatur sei hier auf Angaben in Suttmöller et al. 2008 verwiesen).

Klimatische Extremereignisse wie Trockenjahre spiegeln sich in den Jahrringmustern häufig als abrupte Zuwachseinbrüche wider, die noch über mehrere Folgejahre andauern können und von denen sich die Bäume erst wieder erholen müssen (Schweingruber 2001). Da die Frequenz und Intensität von Dürreereignissen ansteigen sollen, stellt sich die Frage, ob Buche und Eiche unter den sich zukünftig verändernden klimatischen Bedingungen noch an trockenheitsgefährdeten Standorten wachsen können oder ob die Zeitspanne zwischen zwei Dürreereignissen zu kurz ist, als dass sich die Bäume innerhalb dieser Phase erholen können. Ziel ist es daher, zu untersuchen wie lange die Erholungsreaktionen von Rotbuche und Traubeneiche nach den stärksten Trockenjahren des letzten Jahrhunderts gedauert haben, beziehungsweise wie viel Zeit die beiden Baumarten benötigt haben, um ihr ursprüngliches Wachstumsniveau wieder zu erreichen.

**Methodik**

Die Variabilität verschiedener Holzparameter kann die Reaktion der Bäume auf diverse klimatische Variablen widerspiegeln (Skomarkova et al. 2006). Um die verschiedenen, im Holz gespeicherten Informationen zugänglich zu machen, untersucht das Teilprojekt 03 eine Kombination aus mehreren Holzparametern:

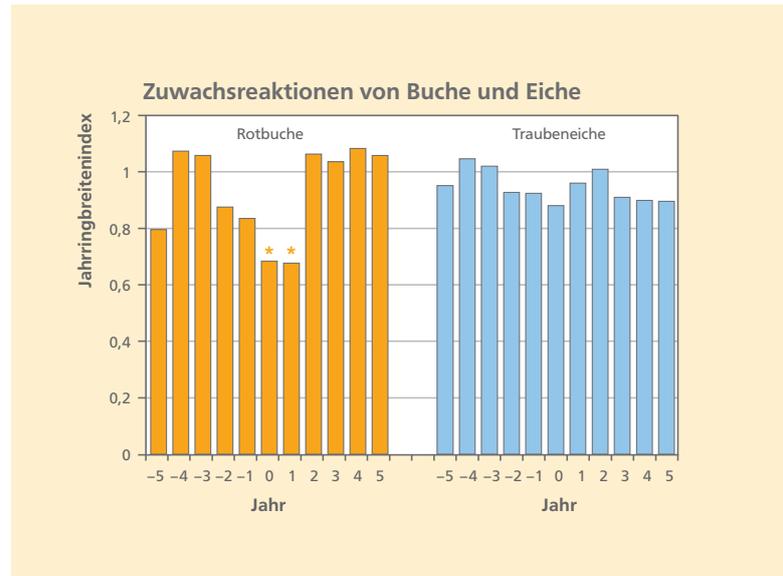


Abbildung 2: Superposed Epoch Analysis der acht extremsten Dürrejahre für Rotbuche und Traubeneiche (\*: signifikante Werte für p<0,05) (nach Lasermann und Bräuning 2011, verändert)

- Jahrringbreite
- maximale Spätholzdichte
- quantitative holzanatomische Merkmale wie zum Beispiel die Gefäßfläche pro Jahrring
- Variationen der Kohlenstoffisotope

Die beiden letztgenannten Methoden werden sowohl in annueller als auch in intra-annueller Auflösung untersucht, um die Erholungsreaktion nach einem Extremjahr zeitlich besser auflösen zu können. Ergänzend werden an den Untersuchungsstandorten Bodenanalysen durchgeführt, um den Wasserhaushalt der Böden beziehungsweise den Trockenstress der Pflanzen einschätzen zu können.

**Erholungsreaktionen von Buche und Eiche**

Abbildung 2 zeigt die Ergebnisse einer so genannten Superposed Epoch Analysis (Bunn 2008) am Beispiel des Untersuchungsstandorts Zellingen. Diese Methode macht den durchschnittlichen Zuwachsverlauf vor, während und nach Extremjahren sichtbar. Die Buchen reagierten hier in den stärksten Dürrejahren (acht Ereignisse) mit einem signifikanten Wachstumseinbruch im Ereignisjahr (Jahr 0), der auch im Folgejahr (Jahr 1) noch anhielt. Erst im zweiten Jahr (Jahr 2) nach dem Dürreereignis wurde das ursprüngliche Wachstumsniveau wieder erreicht und die Erholungsreaktion beendet. Die Eiche hingegen zeigt im Ereignisjahr nur eine geringe Abnahme der Jahrringbreite (Lasermann und Bräuning 2011).

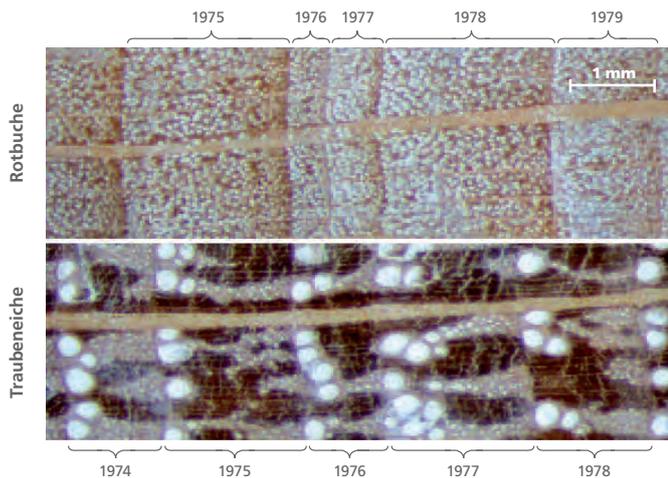


Abbildung 3: Vergleich der Erholungsreaktion von Rotbuche und Traubeneiche nach dem Trockenjahr 1976 (Standort Waldbrunn)

Abbildung 3 veranschaulicht die Reaktionen der beiden Baumarten auf das Trockenjahr 1976, welches sich sowohl in den Jahrringbreiten der Buche als auch der Eiche als negatives Weiserjahr widerspiegelt (Lasermann und Bräuning 2011). Während bei der Buche das Ereignisjahr sowie das Folgejahr durch sehr schmale Jahrringe geprägt sind, bildete die Eiche bereits im Folgejahr wieder einen breiteren Jahrring aus.

Die bisherigen Ergebnisse deuten darauf hin, dass die untersuchten Buchen auf Dürrejahre sensibler reagieren als die Eichen, die sich nach extremen Dürrejahren deutlich schneller zu erholen scheinen. Inwieweit diese vorläufigen Ergebnisse räumlich repräsentativ sind und ob diese Befunde bereits etwas über die Zukunftsaussichten der Buche an Trockenstandorten aussagen, sollen die noch ausstehenden Isotopenanalysen und die Netzwerkanalysen über den gesamten Untersuchungsraum zeigen.

**Literatur**

Bayerisches Geologisches Landesamt (Hrsg.) (1964): *Geologische Karte von Bayern 1:500 000*. 2. Auflage. München

Bayerisches Landesamt für Umwelt (Hrsg.) (2011): *GeoFachdatenAtlas (Bodeninformationssystem Bayern)*. <http://www.bis.bayern.de/bis/> (aufgerufen am 16.08.2011)

Bunn, A.G. (2008): *A Dendrochronology Program Library in R (dplR)*. *Dendrochronologia* 26, S. 115–124

Christensen, J.H.; Hewitson, B.; Busuioc, A.; Chen, A.; Gao, X.; Held, I.; Jones, R.; Kolli, R.K.; Kwon, W.-T.; Laprise, R.; Magaña Rueda, V.; Menéndez, C.G.; Räisänen, J.; Rinke, A.; Sarr, A.; Whetton, P. (2007): *Regional Climate Projections*. In: Solomon, S.; Qin, D.; Manning, M.; Chen, Z.; Marquis, M.; Averyt, K.B.; Tignor, M.; Miller, H.L. (Hrsg.): *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA

Kölling, C.; Falk, W. (2010): *Heute reichlich, morgen knapp: Wasser im Wald*. *LWF aktuell* 78, S. 15–17

Lasermann, B.; Bräuning, A. (2011): *The manifestation of drought events in tree rings of beech and oak in northern Bavaria (Germany)*. *TRACE*, Volume 9, S. 42–47

Rennenberg, H.; Seiler, W.; Matyssek, R.; Gessler, A.; Kreuzwieser, J. (2004): *Die Buche (Fagus sylvatica L.) ein Waldbaum ohne Zukunft im südlichen Mitteleuropa?* *Allgemeine Forst- und Jagd-Zeitung*, 175. Jg., S. 210–224

Schweingruber, F. H. (2001): *Dendroökologische Holz Anatomie*. Verlag Paul Haupt, Bern, 472 S.

Skomarkova, M. V.; Vaganov, E. A.; Mund, M.; Knohl, A.; Linke, P.; Borer, A.; Schulze, E.-D. (2006): *Inter-annual and seasonal variability of radial growth, wood density and carbon isotope ratios in tree rings of beech (Fagus sylvatica) growing in Germany and Italy*. *Trees* 20, S. 571–586

Sutmöller, J.; Spellmann, H.; Fiebiger, C.; Albert, M. (2008): *Der Klimawandel und seine Auswirkungen auf die Buchenwälder in Deutschland*. Beiträge aus der NW-FVA, Band 3, S. 135–158

Prof. Dr. Achim Bräuning ist Inhaber des Lehrstuhls für Physische Geographie an der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg und Projektleiter des FORKAST-Projekts 03. [abraeuning@geographie.uni-erlangen.de](mailto:abraeuning@geographie.uni-erlangen.de)  
 Dipl. Geogr. Cathrin Meinardus ist Doktorandin an der FAU Erlangen-Nürnberg und Mitarbeiterin im FORKAST-Projekt 03. [cathrin.meinardus@geographie.uni-erlangen.de](mailto:cathrin.meinardus@geographie.uni-erlangen.de)

**Entdecke den Wald – Die kleine Waldfibel**

Vom Zuhause der Waldameise bis zum Revier des Wildschweins, von der Buche als Mutter des Waldes bis hin zum Weihnachts-Tannenbaum bietet die Waldfibel neue Einblicke in den Wald. Und darüber hinaus mit Waldwissen und Waldregeln gespickt, zeigt sie, welchen Einfluss unsere Wälder auf unseren Alltag haben.

Ob auf einem gemütlichen Waldspaziergang oder im Unter-richt – die Waldfibel lohnt sich für alle, die sich für den Wald interessieren. Entdecken Sie unser Waldkulturerbe aus einem neuen Blickwinkel.

bmelv



**Herausgeber:** Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV)  
**Bestell-Nr.:** BMELV11022  
 Die Waldfibel kann kostenlos beim BMELV bestellt oder unter [www.bmelv.de](http://www.bmelv.de) heruntergeladen werden.

# Innerartliche Plastizität und lokale Anpassungen von Waldbäumen

Die innerartliche Vielfalt ist ein Schlüsselkriterium für eine erfolgreiche Klimaanpassung

Jürgen Kreyling, Gerhard Huber, Anke Jentsch, Monika Konnert, Laura Nagy, Daniel Thiel, Camilla Wellstein und Carl Beierkuhnlein

**Der Klimawandel wird die Wachstumsbedingungen für Waldbäume nachhaltig verändern. Besonders in der Forstwirtschaft müssen bei Umtriebszeiten von circa 100 Jahren schon jetzt die Weichen für stabile und ertragreiche Waldökosysteme der Zukunft gestellt werden. Bäume, die heute gepflanzt werden, werden auf Grund ihrer Langlebigkeit den veränderten Klimabedingungen bis weit in die zweite Hälfte des Jahrhunderts ausgesetzt sein. Dabei sind veränderte Durchschnittsbedingungen wie graduelle Erwärmung nur ein Aspekt, mindestens ebenso wichtig ist die Rolle klimatischer Extremereignisse wie Dürre oder Frost. Das FORKAST-Teilprojekt 01 untersucht in Experimenten die Plastizität und Anpassung verschiedener Herkünfte wichtiger Baumarten unter klimatischen Extremereignissen.**

Die Annahme, dass die Toleranz von Waldbäumen gegenüber den künftig erwarteten Klimabedingungen auf Grund ihrer gegenwärtigen Verbreitung beurteilt werden könnte, ignoriert die genetischen Unterschiede innerhalb ihrer Verbreitungsgebiete (also Genotypen bzw. Ökotypen). Herkunftsversuche haben in der Forstwirtschaft eine lange Tradition und konnten zeigen, dass Populationen beziehungsweise geographische Herkünfte an das lokale Klima angepasst sind und sich somit voneinander unterscheiden. Es muss aber *heute* bekannt sein, welche Arten und welche Herkünfte dieser Arten den *künftigen* Bedingungen an einem Standort gewachsen sein werden, um gegen Ende des 21. Jahrhunderts stabile und ertragreiche Wälder zu formen (Konnert 2007; Kölling et al. 2008).

In dem Experiment »Plastizität und Anpassung verschiedener Herkünfte langlebiger Schlüsselpflanzenarten bezüglich klimatischer Extremereignisse«, welches Teil des Forschungsverbundes FORKAST ist, arbeiten der Lehrstuhl für Biogeografie der Universität Bayreuth und das Bayerische Amt für forstliche Saat- und Pflanzenzucht der Bayerischen Forstverwaltung eng zusammen. Ziel des Experimentes ist es, die Variabilität und genetische Vielfalt innerhalb der Baumarten Rotbuche (*Fagus sylvatica*), Schwarzkiefer (*Pinus nigra*) und Flaumeiche (*Quercus pubescens*) unter verschiedenen Klimabedingungen zu beleuchten.

Auf der Suche nach potentiell geeigneten Arten oder Herkünften fällt der Blick auf Gebiete, die bereits heute Klimabedingungen aufweisen, wie sie für Bayern am Ende dieses Jahrhunderts erwartet werden (Kreyling, Bittner et al. 2011). Die Nutzungsmöglichkeiten solcher Herkünfte muss nun im Hinblick auf häufigere und extremere Wetterereignisse getestet werden.

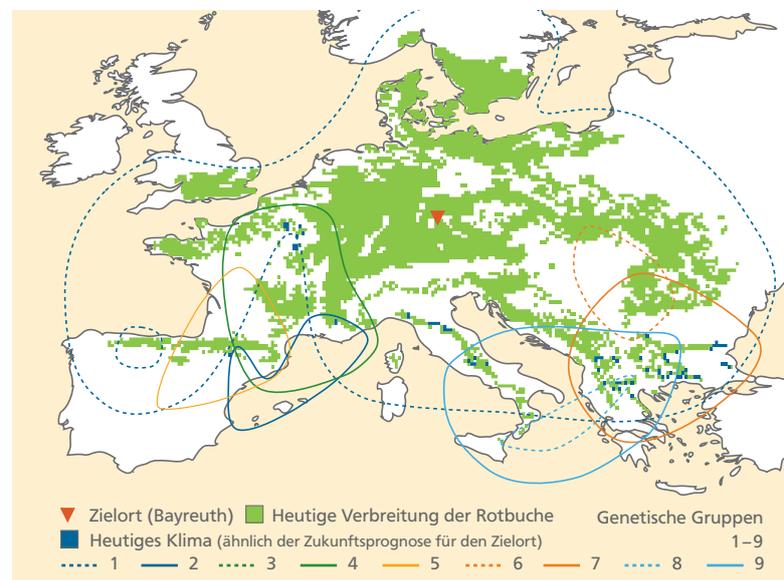


Abbildung 1: Gegenwärtige Verbreitung der Rotbuche (grün, EUFORGEN 2009) und durch Linien hervorgehobene genetisch unterschiedliche Regionen auf Grund von Isoenzymen (nach Magri et al. 2006). Die dunkelblauen Pixel verdeutlichen Regionen innerhalb dieser Verbreitung, in denen schon heute ähnliche Klimaverhältnisse herrschen, wie sie für Bayreuth für die Periode 2071–2100 prognostiziert werden (Klimamodell: REMO; Szenario: A1B). Verändert nach Kreyling, Bittner et al. 2011.

## Rotbuche

Die Rotbuche wurde ausgewählt, weil sie die heimischen Laubmischwälder natürlicherweise dominiert und dort auch für die Gewährleistung von Ökosystemfunktionen wie Biomasseertrag oder Artenvielfalt maßgeblich verantwortlich ist. Mit Hilfe regionaler Klimamodelle (z.B. REMO, UBA (2006)) wurden künftig erwartete Klimabedingungen für Nordostbayern ermittelt und europäische Regionen identifiziert, welche schon heute solche Bedingungen aufweisen (Abbildung 1). Aus diesen Regionen wurden anschließend Rotbuchen akquiriert und innerhalb des Experiments erwarteten klimatischen Bedin-



Abbildung 2: Herkünfte der Schwarzkiefer aus Frankreich, Italien, Deutschland und Kroatien (v.l.n.r.) im Alter von drei Jahren. Der Maßstab (jeweils im rechten Topf) hat eine Höhe von 25 cm.

gungen ausgesetzt. Dabei wurden sowohl veränderte Mittelwerte (Erwärmung) als auch Extrembedingungen wie Trockenheit und Spätfrost berücksichtigt. Durch den Vergleich verschiedener geographischer Herkünfte sollen jene Herkünfte identifiziert werden, welche diesen Bedingungen am besten gewachsen sind.

Erste Ergebnisse zeigen, dass verschiedene Herkünfte der Rotbuche unterschiedlich auf Dürre reagieren, d.h. sich in ihrer Dürresistenz unterscheiden (Nagy et al., in Vorbereitung). Weiterhin variieren die Herkünfte auch in ihrer Spätfrosttoleranz (Kreyling, Thiel et al. 2011). Trotz eines allgemeinen Erwärmungstrends wird es in unseren Breiten auch in Zukunft immer wieder zu Spätfrostereignissen kommen. Dies ist zu bedenken, wenn man Herkünfte aus Regionen einführt, in denen eine Anpassung an solche Ereignisse nicht gefordert ist. Die Ergebnisse legen jetzt nahe, dass ein Frostereignis im Mai den Zuwachs von Buchen aus südlicheren Regionen wie zum Beispiel Bulgarien stärker negativ beeinflusst als den Zuwachs heimischer Provenienzen. Besonders interessant dabei ist, dass eine vorausgehende Wärmebehandlung die Spätfrostschäden verringert. Durch die künstliche Erwärmung treiben die Pflanzen schneller aus und erreichen bis zum Zeitpunkt des Frostereignisses schon die Blattrife, was vermutlich die höhere Resistenz der wärmebehandelten Gruppe erklärt. Dies zeigt die Komplexität der Wechselwirkungen zwischen Organismen, Ökosystemen und Klimaparametern.

### Schwarzkiefer

Die Schwarzkiefer ist eine submediterrane verbreitete Baumart, die besonders auf Trockenstandorten unter Klimawandel auch in Deutschland eine Alternative zur Waldkiefer sein könnte (Huber 2011). Auch bei dieser Art unterscheiden sich verschiedene Herkünfte massiv in Wuchsleistung und Wuchsform (Abbildung 2). Allerdings zeigten sich keine Variation oder lokale Anpassungen unter verschiedenen Temperaturniveaus oder Dürrestress (Thiel et al., in Vorbereitung). Interessanterweise reagierten auch die juvenilen Individuen nicht im Jahr des Dürrestresses, sondern erst im darauf folgenden Jahr. Wie schon bei der Rotbuche dargelegt, zeigte auch die

Schwarzkiefer lokale Anpassungen an Frost, hier Winterfrost. So wiesen Herkünfte aus Gebieten mit kälteren Wintern auch eine erhöhte Frosttoleranz auf (Kreyling, Wiesenberg et al., in Begutachtung). Die Frosttoleranz ist also mindestens teilweise genetisch fixiert, wurde aber darüber hinaus auch von Sommer-trockenheit oder Sommermitteltemperatur beeinflusst.

### Flaumeiche

Ähnliche Untersuchungen laufen derzeit für Herkünfte der Flaumeiche, welche besonders auf trocken-warmen Standorten eine Alternative zur Stiel- oder Traubeneiche und Buche darstellen könnte. Auch bei der Flaumeiche zeigt sich eine lokale Anpassung an Frost mit erhöhter Frosttoleranz der nördlichsten gegenüber der südlichsten Herkunft (Schenk et al., in Vorbereitung). Für alle drei Arten läuft darüber hinaus derzeit die genetische Charakterisierung aller verwendeten Herkünfte.

### Innerartliche Vielfalt – ein wichtiges Kriterium für erfolgreiche Anpassung an den Klimawandel

Die hier skizzierten Ergebnisse lassen vermuten, dass die gezielte Nutzung innerartlicher Vielfalt ein potentielles Werkzeug zur Anpassung an ungewünschte Folgen des Klimawandels in der Forstwirtschaft sein kann. Allerdings ist die Übertragung von Klimaeigenschaften nicht trivial. Arten und Herkünfte reagieren teils sehr individuell. Mitunter treten Effekte erst verzögert ein Jahr nach der Behandlung auf. Die Ergebnisse deuten darüber hinaus auf die hohe Relevanz von Frost innerhalb und außerhalb der Vegetationsperiode hin, denn sowohl für die Rotbuche als auch für die Schwarzkiefer wurden lokale Anpassungen an Winterprozesse gefunden, während die Durchschnittstemperatur und das Auftreten von Sommerdürren offensichtlich nicht im selben Maße selektiv wirken. Auch vor dem Hintergrund einer allgemeinen Erwärmung sollten deshalb Minimumtemperaturen jahreszeitspezifisch berücksichtigt werden.

Generell kann die Empfehlung gegeben werden, genetische Vielfalt zu erhalten und zu fördern, da sie den Schlüssel zur Anpassungsfähigkeit der Bäume an klimatische Veränderungen darstellt (Konnert 2008). Die Auswahl einer bestangepassten Herkunft erscheint dagegen in Anbetracht der Unsicherheiten in der Klimaprognose und bezüglich der großen Anzahl von zu beachtenden Klimaparametern, besonders bei der dargestellten Bedeutung ihrer Interaktionen, nicht sinnvoll.

**Literatur**

EUFORGEN (2009): *Distribution map of Beech (Fagus sylvatica)*. www.euforgen.org

Huber, G. (2011): *Neue Tests für Schwarzkiefern-Herkünfte in Bayern im Hinblick auf den Klimawandel*. Forstarchiv 82; S. 134–141

Kölling, C.; Konnert, M.; Schmidt, O. (2008): *Wald und Forstwirtschaft im Klimawandel*. AFZ/Der Wald 15, S. 804–807

Konnert, M. (2007): *Bedeutung der Herkunft beim Klimawandel*. LWF aktuell 60, S. 38–39

Konnert, M. (2008): *Genetische Vielfalt der Wälder – Grundlage ihrer Anpassungsfähigkeit*. Unser Wald 2, S. 8–9

Kreyling, J.; Bittner, T.; Jaeschke, A.; Jentsch, A.; Steinbauer, M. J.; Thiel, D.; Beierkuhnlein, C. (2011): *Assisted colonization – a question of focal units and recipient localities*. Restoration Ecology 19, S. 433–440

Kreyling, J.; Thiel, D.; Nagy, L.; Huber, G.; Konnert, M.; Jentsch, A.; Beierkuhnlein, C. (2011): *Late frost tolerance of juvenile Fagus sylvatica is affected by preceding air temperature and differs between southern Germany and Bulgaria*. European Journal of Forest Research 10.1007/s10342-011-0544-y

Kreyling, J.; Wiesenberg, G.; Thiel, D.; Wohlfart, C.; Huber, G.; Jentsch, A.; Konnert, M.; Beierkuhnlein, C. (in Vorbereitung): *Frost hardiness of Pinus nigra as influenced by geographic origin, extreme summer drought and gradual warming*. Environmental and Experimental Botany

Magri, D.; Vendramin G.G.; Comps B.; et al (2006): *A new scenario for the Quaternary history of European beech populations: palaeobotanical evidence and genetic consequences*. New Phytologist 171; S. 199–221

Nagy, L.; Thiel, D.; Jentsch, A.; Beierkuhnlein, C.; Kreyling, J. (in Vorbereitung): *Warming and drought affect leaf phenology and growth of different Fagus sylvatica provenances*

Schenk, V.; Kreyling, J.; Thiel, D.; Huber, G.; Konnert, M.; Jentsch, A.; Beierkuhnlein, C.; Wellstein, C. (in Vorbereitung): *Late frost tolerance of juvenile Quercus pubescens Willd. differs by geographic origin*

Thiel, D.; Nagy, L.; Kreyling, J.; Konnert, M.; Huber, G.; Jentsch, A.; Beierkuhnlein, C. (in Vorbereitung): *Uniform sensitivity and delayed response to drought and warming in juvenile Pinus nigra despite provenance effects in general performance*

UBA (2006): *Künftige Klimaänderungen in Deutschland – Regionale Projektionen für das 21. Jahrhundert*. Dessau: Umweltbundesamt, Max Planck Institut für Meteorologie Hamburg

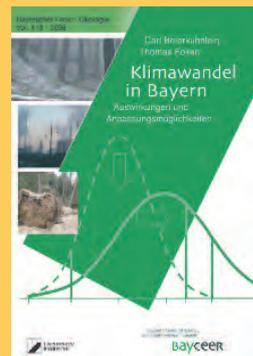
**Studie zum Klimawandel in Bayern**

Der Klimawandel ist eine der größten Herausforderungen des 21. Jahrhunderts. Er wird sich unvermeidlich in vielen Gebieten auswirken, das Spektrum reicht von der menschlichen Gesundheit über die Nahrungsmittelproduktion, die Ökosysteme bis zur politischen Stabilität.

Über die Bemühungen zur deutlichen Senkung klimaschädlicher Emissionen hinaus ist es notwendig, Maßnahmen zur Anpassung an die Auswirkungen des sich ändernden Klimas zu konzipieren. Durch präventives Handeln können die nachteiligen Folgen des Klimawandels eingegrenzt werden.

In dieser Studie wird für den Freistaat Bayern aufgearbeitet und analysiert, wie sich das Klima entwickeln wird und wie Ökosysteme und wichtige Bereiche der Gesellschaft auf die Veränderungen reagieren werden. Eine Vielzahl von Experten verschiedenster Einrichtungen, Universitäten, Forschungszentren und Behörden haben dabei mitgewirkt. Ziel der Studie ist es, geeignete Maßnahmen zur Eingrenzung negativer Konsequenzen frühzeitig aufzuzeigen und aus dem heutigen Kenntnisstand heraus Konzepte zur Lenkung der Entwicklungen abzuleiten. Darüber hinaus werden Wissensdefizite offen gelegt und Forschungsstrategien entwickelt.

bayceer



Carl Beierkuhnlein und  
Thomas Foken  
**Klimawandel in Bayern.**  
**Auswirkungen und**  
**Anpassungsmöglichkeiten**  
Bayreuther Forum Ökologie,  
Band 113, 2008  
501 Seiten mit 99 Abbildungen,  
broschiert  
ISSN: 0944-4122  
Preis: 25 €

Dr. Jürgen Kreyling, Daniel Thiel und Dr. Camilla Wellstein sind Mitarbeiter am Lehrstuhl für Biogeografie von Prof. Carl Beierkuhnlein an der Universität Bayreuth. Gerhard Huber und Dr. Monika Konnert sind Forschungsgruppenleiter am Bayerischen Amt für forstliche Saat- und Pflanzenzucht. Laura Nagy ist Mitarbeiterin am Lehrstuhl Störungsökologie von Prof. Anke Jentsch. [juergen.kreyling@uni-bayreuth.de](mailto:juergen.kreyling@uni-bayreuth.de), [gerhard.huber@asp.bayern.de](mailto:gerhard.huber@asp.bayern.de), [monika.konnert@asp.bayern.de](mailto:monika.konnert@asp.bayern.de), [daniel.thiel@uni-bayreuth.de](mailto:daniel.thiel@uni-bayreuth.de), [camilla.wellstein@uni-bayreuth.de](mailto:camilla.wellstein@uni-bayreuth.de), [carl.beierkuhnlein@uni-bayreuth.de](mailto:carl.beierkuhnlein@uni-bayreuth.de)

# Wenn der Maitrieb zum Märztrieb wird

Lehrstuhl für Ökoklimatologie der TU München untersucht extreme Wetterereignisse und ihre Auswirkungen in der Phänologie

Christoph Schleip, Christine Cornelius und Annette Menzel

**Extremereignisse in der Phänologie können eine entscheidende Rolle in der Ökologie von Wäldern spielen. Die Wahrscheinlichkeit, dass phänologische Ereignisse extrem früh eintreffen, ist insbesondere in den letzten beiden Dekaden um die Hälfte – und damit sehr deutlich – angestiegen. So ergrünen Bäume im Frühling in extremen Jahren circa 18 Tage früher. Auch Untersuchungen aus dem Nationalpark Berchtesgaden zeigen im Mittel entlang eines Höhengradienten temperaturabhängige Verfrühungen von 17 Tagen. Es ist damit zu rechnen, dass alle 50 Jahre der Maitrieb und die Blattentfaltung einmal mit circa 35 Tagen Verfrühung auftritt. Dann können die »Maitriebe« schon mal im März austreiben. Dadurch kann es zu einer Erhöhung des Spätfrost-risikos und zu einer Verschiebung der ökologischen Nische verschiedener Waldbaumarten kommen.**

Zu den beobachteten und prognostizierten Auswirkungen des Klimawandels gehört unter anderem eine höhere Frequenz und Intensität von Extremereignissen. Ein Extremereignis wird als ein seltenes Wetter- und Naturereignis definiert, welches stark vom Durchschnitt abweicht. Der Zusammenhang zwischen Klima, Extremereignissen und deren Auswirkungen auf Ökosysteme ist außerordentlich komplex. Durch Verknüpfung von Phänologie – der Lehre der jährlich wiederkehrenden Ereignisse in der Tier- und Pflanzenwelt – mit mathematischen Ansätzen werden diese Zusammenhänge genauer beschrieben.

## Phänologie und Extremereignisse

Phänologische Ereignisse in gemäßigten Breiten sind überwiegend temperaturgesteuert, bisher wurden meist die Veränderungen von mittleren Eintrittsterminen analysiert (Menzel et al. 2006). In Zukunft werden allerdings auch extreme Ereignisse in der Phänologie immer wahrscheinlicher, was enorme Auswirkungen auf die Atmosphäre, die Biosphäre sowie auf gesamte Ökosysteme haben wird. Oft werden allerdings nur meteorologische Parameter betrachtet. Nur wenige Publikationen beschreiben die Auswirkung von Extremereignissen auf die Phänologie (Parmesan et al. 2000; Luterbacher et al. 2007). Weitgehend vernachlässigt wurde die Frage, ob sich extreme phänologische Ereignisse in ihrer Häufigkeit und Stärke verändert haben, ein Hinweis auf kritische Störungen in Ökosystemen (Parmesan 2007; Jentsch et al. 2007). Da Extremereignisse per Definition relativ selten sind, ist die Datenbasis oft dünn und die konventionellen statistischen Analysen sind meist wenig aussagekräftig. Wir haben deshalb neben der *Gauß-Perzentil Methode* eine *semi-parametrische Quantil Methode* und eine moderne *Extremwertmethode (Block Maximum Methode)* für unsere Analyse verwendet.

An acht Waldbaumarten haben wir den Maitrieb der Lärche (*Larix decidua*), der Fichte (*Picea abies*) und der Kiefer (*Pinus silvestris*) sowie die Blattentfaltung von Birke (*Betula pendula*), Schwarzerle (*Alnus glutinosa*), Buche (*Fagus sylvatica*), Eiche (*Quercus robur*) und Esche (*Fraxinus excelsior*) untersucht.

Ausgewählt wurden nur Stationen aus dem Beobachtungsnetz des Deutschen Wetterdienstes, die über eine nahezu vollständige Beobachtungszeitreihe von mehr als 50 Jahren (1951–2008) verfügen. In Abhängigkeit von der untersuchten Phase variiert somit die Anzahl der verfügbaren Stationen innerhalb Deutschlands zwischen 11 und 70. Um regional-klimatische Unterschiede zu berücksichtigen, wurden die Eintrittstermine standardisiert (»standardisierte Anomalien«), das heißt, für jede Station und für jedes Jahr wurde vom Eintrittstermin der langjährige Mittelwert abgezogen und anschließend durch die empirische Standardabweichung geteilt.

## Gauß-Perzentil Methode

Zur Quantifizierung von Extremwerten liefern Häufigkeitsverteilungen der jeweiligen Zeitreihen, die in normierter Form Wahrscheinlichkeitsdichtefunktionen (*engl. Probability Density Functions, PDF*) heißen, einen möglichen Lösungsansatz (Trömel und Schönwiese 2006). Für alle verfügbaren Daten einer Baumart, das heißt über alle verfügbaren Stationen innerhalb Deutschlands und über die gesamte Zeitperiode (1951–2008), haben wir eine Gauß-Verteilung berechnet. Ausgehend von dieser »Basisverteilung« werden die unteren und oberen fünf Prozent der Daten (5 %- und 95 %-Perzentile) abgeleitet. Daten, die solche Schwellen unter- bzw. überschreiten, werden dann als *extrem* definiert und für jede Dekade deren Unterschreit- bzw. Überschreitwahrscheinlichkeit berechnet.

Bei allen untersuchten Baumarten zeigt der Mittelwert der Verteilungen besonders in den letzten beiden Dekaden auf eine signifikante Verfrühung der phänologischen Ereignisse hin. Im gleichen Zeitraum steigt bei fast allen Baumarten die Wahrscheinlichkeit, dass ein frühes Ereignis auftritt, von 0,04 auf 0,08; gleichzeitig sinkt die Wahrscheinlichkeit für ein extrem spätes Ereignis von 0,06 auf 0,01. Da die Standardabweichung keinen korrespondierenden Trend aufweist, ist die extreme Verfrühung nicht auf eine steigende Variabilität der Eintrittstermine zurückzuführen, sondern auf eine echte Verschiebung der Häufigkeitsverteilungen.

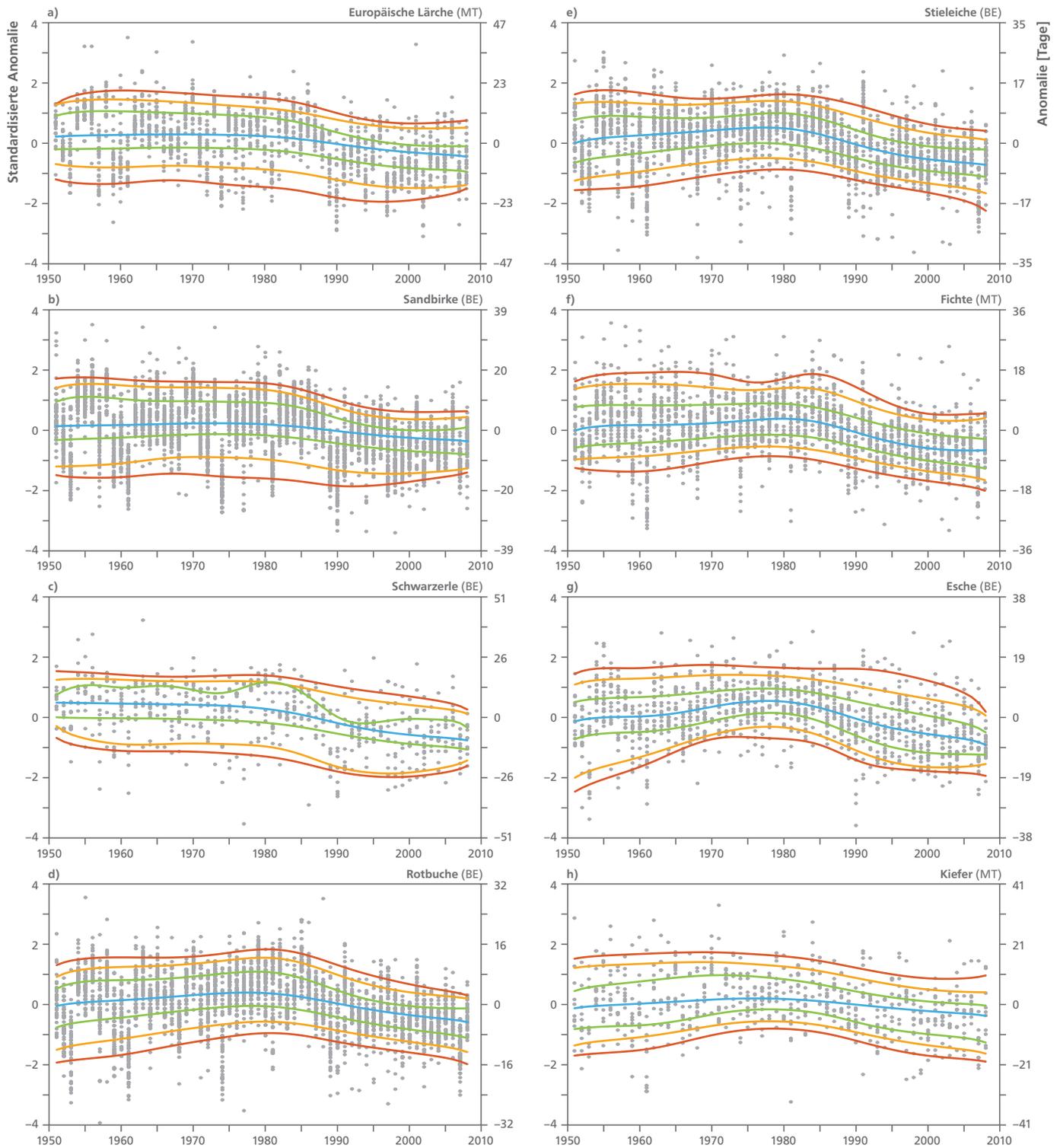


Abbildung 1: Für phänologische Zeitreihen von 1951 bis 2008 wurden mit der Semi-Quantil Methode Splines für die 5., 10., 25., 50., 75., 90. und 95. Quantile geschätzt. Das 95. und 5. Quantil werden als extrem späte bzw. frühe Eintrittstermine definiert. Die linke y-Achse zeigt »standardisierte Anomalien« auf, dagegen zeigt die rechte y-Achse für jede Baumart die entsprechende Anomalie (Abweichungen in Tagen vom langjährigen Mittelwert). Jeder einzelne Kreis repräsentiert eine phänologische Station. Die Baumarten sind chronologisch (von a nach h) nach ihrem mittleren Eintrittstermin angeordnet. Eine standardisierte Anomalie entspricht in Tagen: bei Lärche 11,7; Birke 9,8; Erle 12,8; Buche 7,9; Eiche 8,6; Fichte 9,1; Esche 9,6; Kiefer 10,3.

— Median  
 — 25., 75. Quantile  
 — 10., 90. Quantile  
 — 5., 95. Quantile  
 MT: Maitrieb  
 BE: Blattentfaltung

### Semi-Quantil Methode

Semi-parametrische Ansätze schließen die Lücke zwischen nicht-parametrischen und parametrischen Modellen mit sehr geringen Verteilungsannahmen (Bühlmann und Hothorn 2007). Bei unseren untersuchten Waldbaumarten kommt die Semi-Quantil Methode zu ähnlichen Ergebnissen (Abbildung 1). Bei fast allen Baumarten und Quantilen ist im zeitlichen Verlauf zunächst eine leichte Verspätung in den 1980er Jahren zu sehen, gefolgt von einer Verfrüfung der Eintrittstermine in den Dekaden danach. Dieses zeitliche Verlaufsmuster ist besonders bei Baumarten, die eher spät im Frühjahr austreiben, zu erkennen (z.B. Eiche, Fichte und Esche). Betrachtet man jedoch die extrem frühen Ereignisse (10. und 5. Quantil) im Detail, so fällt auf, dass die Baumarten, die besonders früh im Jahr austreiben, wie zum Beispiel Lärche, Birke und Erle, in den letzten Jahren sogar eine Verspätung der extrem frühen Eintrittstermine erfahren haben. Im Durchschnitt über alle Baumarten beträgt die »standardisierte Anomalie« -1,8, das entspricht in etwa einer generellen Verfrüfung von 18 Tagen. Bei einzelnen Baumarten und Phasen, wie zum Beispiel dem Maitrieb der Kiefer, kann sogar eine Verfrüfung von bis zu 21 Tagen aufgezeigt werden.

### Extremwerttheorie (Block Maximum Methode)

Die meisten gängigen Verfahren zur Schätzung von Verteilungen sind so ausgelegt, dass die Anpassung für die Daten im Zentrum gut ist (wo in der Regel die große Mehrheit der Datenpunkte liegt), während die Ränder mit wenigen Daten eher ungenau geschätzt werden. Dies wird dann problematisch, wenn die Ränder einer anderen Verteilung entstammen als die weniger extremen Werte. Aus diesem Grund hat sich die Extremwertstatistik entwickelt, in deren Mittelpunkt die Modellierung extremer Ereignisse steht. Die Extremwertanalyse bezieht nur Daten ein, die auch in der Vergangenheit schon als extrem bewertet wurden. Sie konzentriert sich also nur auf die äußeren Abschnitte der PDFs, die sogenannten »Tails«, deren Verteilungen mit eigenen Funktionen beschrieben werden (Gumbel 1958; Coles 2001). Die Ergebnisse zeigen bei dieser Analyse, dass bei einer Wiederkehrperiode von 50 Jahren im Durchschnitt über alle Baumarten ein Extremereignis in Höhe von 3,5 Standardabweichungen auftritt. Dies würde bedeuten, dass der Wald alle 50 Jahre bis zu 35 Tage früher grün wird. Somit wird der Maitrieb alle 50 Jahre im Extremfall zu einem Märztrieb.

### Extreme Phänologie im Nationalpark Berchtesgaden

Ergebnisse aus dem Nationalpark Berchtesgaden stützen die Aussagen über mögliche Extremereignisse. Seit mehr als 15 Jahren führen Mitarbeiter des Nationalparks phänologische Untersuchungen an verschiedenen Baumarten entlang eines Höhengradienten (600 bis 1.400 m) durch. Auf Grund der Temperaturabnahme mit der Höhe von 0,45 °C pro 100 Höhenmeter (Mittelwert März bis August; Konnerth 2004) sind unterschiedliche Temperaturszenarien gegeben, die für artspezifische Untersuchungen hinsichtlich der Reaktion auf Temperaturänderungen im Zuge des Klimawandels herangezogen werden können. Die hier untersuchten Baumarten, un-

### Frühlingsphänologie und Frostrisiko



Foto: M. Weiß

Spätfrostschäden an Buchen: Nach dem sehr frühen Blattaustrieb in der ersten Aprilhälfte 2011 haben starke Fröste Anfang Mai in weiten Teilen Bayerns umfangreiche Spätfrostschäden verursacht.

Klimatische Veränderungen wirken sich direkt auf einzelne Phänologiestadien, wie z.B. den Blatt- oder Blütenaustrieb, aus. Die Phänologie ist deshalb einer der besten Bio-Indikatoren für Temperaturveränderungen. Phänologische Zeitreihen liefern somit wertvolle Aussagen über den Einfluss veränderter Umweltbedingungen auf die Vegetationsentwicklung. Phänologische Phasen werden in vielen Ländern Europas von naturinteressierten Bürgern beobachtet und auf den Tag genau festgehalten; deshalb sind zeitliche Verschiebungen genau quantifizierbar. Seit 2009 wird an der Waldklimastation Freising sogar eine innovative, automatische Phänokamera eingesetzt, die zeitlich hochaufgelöste Phänodatens liefert.

Die Entwicklungsstadien vieler Pflanzen im Frühling haben sich in Deutschland nachweislich verfrüht. Ein früherer Beginn der Vegetationsperiode kann das Risiko von Schäden durch Spätfrost erhöhen, da die Frostgefahr in den ersten Frühjahrsmonaten trotz Erwärmung erhalten bleibt.

Grundsätzlich ist zu beachten, dass nicht nur die Minimumtemperatur, sondern auch der Entwicklungsstand der Pflanzen entscheidend ist. So können z.B. geschlossene Blütenknospen Temperaturen bis -8 °C ertragen, ohne dass Schäden entstehen. Völlig geöffnete Blüten hingegen ertragen nur noch Temperaturen, die geringfügig unter dem Gefrierpunkt liegen. Die sehr gefürchteten Spätfröste können je nach Zeitpunkt im Obst-, Reb- und Gemüseanbau, aber auch in Waldkulturen große Schäden verursachen. Bei der Beurteilung von Frostereignissen spielen also die Minimumtemperatur, die Länge der Frostperiode und die phänologische Phase eine entscheidende Rolle.

ter anderem Lärche, Fichte und Bergahorn, treiben ihr Laub circa 2,6 Tage pro 100 m Höhendifferenz später aus. Mit jedem Grad Erwärmung verfrüht sich folglich das Ergrünen der Bäume um ungefähr fünf Tage. Der Zeitpunkt des Blattaustriebs wird vor allem durch die Temperaturen der vorangegangenen Monate bestimmt. Besonders deutlich wurde dies im Jahr 2007, als extrem warme Frühjahrstemperaturen (1,84 °C über dem Mittel des Beobachtungszeitraumes) zu einem extrem frühen Beginn des Blattaustriebs führten. Im Mittel zeigten sich die ersten neuen Blattspitzen 17 Tage früher. Auch in den Daten des Deutschen Wetterdienstes ist die extreme Verfrüfung besonders im Jahr 2007 wiederzuerkennen (Abbildung 1).

## Mögliche Auswirkungen von Extremereignissen

Bei der Interpretation unserer Ergebnisse ist zu beachten, dass die Definition von Extremen immer räumlich explizit und relativ zu der für die Gegenwart abgeleiteten Normskala erfolgt. Unsere Ergebnisse zeigen, dass die Häufigkeit von extrem frühen Eintrittsterminen beträchtlich zugenommen hat, und dass in absehbarer Zukunft solche Ereignisse eine enorme Intensität aufweisen können. Die Auswirkungen solcher Extremereignisse mit bis zu einer über einmonatigen Verfrüfung der Blattentfaltung und des Maitriebs sind vielfältig. Ein früher Blattaustrieb führt zwar häufig zu einer verlängerten Vegetationsperiode, erhöht aber gleichzeitig das Risiko von Spätfrostschäden. Auch die Anfälligkeit gegenüber Schadinsekten kann sich, je nach Populationsentwicklung und Synchronisation der Schadinsekten, verändern.

## Literatur

- Bühlmann, P.; Hothorn, T. (2007): *Boosting algorithms: regularization, prediction and model fitting*. Statistical Science, 22(4), S. 477–505
- Coles, S. (2001): *An introduction to statistical modeling of extreme values*. 208 S., Springer-Verlag London
- Gumbel, E.J. (1958): *Statistics of extremes*. 375 S., Columbia University Press, New York
- Jentsch, A.; Kreyling, J.; Beierkuhnlein, C. (2007): *A new generation of climate change experiments: events not trends*. Frontiers in Ecology and the Environment, 6(6), S. 365–374
- Konnert, V. (2004): *Standortkarte Nationalpark Berchtesgaden*. Forschungsbericht des Nationalparks Berchtesgaden 49, S. 1–151
- Luterbacher, J.; Liniger, M.A.; Menzel, A.; Estrella, N.; Della-Marta, P.M.; Pfister, C.; Rutishauser, T.; Xoplaki, E. (2007): *Exceptional warmth of autumn 2006 and winter 2007: Historical context, the underlying dynamics, and its phenological impacts*. Geophysical Research Letters, 34 (L12704)
- Menzel, A.; Sparks, T.H.; Estrella, N. et al. (2006): *European phenological response to climate change matches the warming pattern*. Global Change Biology, 12, S. 1969–1976
- Parmesan, C.; Root, T.L.; Willing, M.R. (2000): *Impacts of extremes weather and climate on terrestrial biota*. Bulletin of the American Meteorological Society, 81 (3), S. 443–450

Parmesan, C. (2007): *Influences of species, latitudes and methodologies on estimates of phenological response to global warming*. Global Change Biology, 13, S. 1860–1872

Trömel, S.; Schönwiese, C.-D. (2006): *Probability change of extreme precipitation observed from 1901 to 2000 in Germany*. Theoretical and Applied Climatology, 87, S. 29–39

Prof. Dr. Annette Menzel leitet das Fachgebiet für Ökoklimatologie, wo Dr. Christoph Schleip ([schleipc@wzw.tum.de](mailto:schleipc@wzw.tum.de)) und Christine Cornelius ([cornelius@wzw.tum.de](mailto:cornelius@wzw.tum.de)) als Post-Doktorand bzw. Doktorandin im Rahmen des Verbundprojekts FORKAST an phänologischen Fragestellungen arbeiten.

## Und alle Jahre wieder: Kastanienblüte im Herbst



Foto: M. Mößnang

Vor Königsfeld (Lkrs. Pfaffenhofen) steht ein Kastanienbaum, der regelmäßig im Herbst eine zweite Blüte zeigt. Die Aufnahme wurde am 24. September 2011 gemacht. Die Ursache dieses ungewöhnlichen Ereignisses ist wohl auf die Stressbelastung zurückzuführen, die der Schädlingsbefall der Roßkastanienminiermotte auslöst. In Wien, so haben bereits Mitte der 1990er Jahre Waldschutzexperten berichtet, blühten Kastanien vereinzelt im Oktober 1995 ein zweites Mal, nachdem die Bäume in den Jahren 1994 und 1995 von der Kastanienminiermotte stark befallen waren. In Folge des vorzeitigen Blattfalls wird die Blühinduktion aktiviert und der Baum reagiert mit einer zweiten Blüte. Obwohl der Befall mit Roßkastanienminiermotten weit verbreitet ist, sind Beobachtungen wie diese in Königsfeld doch gar nicht so häufig.

Eine weitere Erklärung, warum der Hormonhaushalt gerade dieser Kastanie derart durcheinanderkommt, könnten genetische Mutationen geben. Aber auch weitere noch unbekannte Prädispositionsfaktoren könnten eine Rolle spielen, wenn der Baum gegenüber Umweltreizen eine physiologische Überempfindlichkeit aufweist.

Was auch immer den Hormonhaushalt des Baumes durcheinander bringt, interessant wäre es zu wissen, ob andere ebenfalls solche Beobachtungen an Kastanien oder auch an anderen Baumarten gemacht haben. Wer Ähnliches beobachtet hat, sollte dies der Redaktion doch bitte melden.

Michael Mößnang

# Ein Dürre-Index für die Forstwirtschaft?

FORKAST Projekt »Mortalität der Hauptbaumarten« untersucht die Auswirkung von Dürren auf Bäume und Wälder in Bayern

Tobias Mette, Thomas Rötzer und Hans Pretzsch

Die allgemeine Klimaerwärmung und die Zunahme von Klima-Extremen hat besonders nach dem Rekordsommer 2003 die Frage aufgeworfen, wie gut unsere Wälder und die Forstwirtschaft auf Dürren vorbereitet sind. Dabei gibt es in der Forstwirtschaft bislang keinen Standard für die Abschätzung einer Dürre-Intensität. Auf der einen Seite gibt es sehr genaue lokale Bodenfeuchte-Messungen und komplexe Wasserhaushalts-Modelle. Auf der anderen Seite werden Indizes wie der in Nordamerika übliche Palmer Dürre-Index (PDSI) und der standardisierte Niederschlags-Index (SPI) auch in Europa immer populärer. Was steckt hinter diesen Indizes? Was sagen sie uns über den Dürrestress von Wäldern? Was können wir aus ihnen lernen?

Dürre ist ein zentrales Thema des FORKAST-Netzwerks. Die Befürchtung, dass extrem trockene Sommer wie 2003 in Zukunft öfter auftreten, hat einen Teil der Forschergruppen veranlasst, die Auswirkungen von Dürre auf verschiedenen Ebenen zu untersuchen – vom Einzelbaum- und Bestandeszuwachs, über die Mortalität bis hin zur Landschaftsebene. Ein Problem dabei ist, dass es in der Forstwirtschaft bisher keinen Standard zur Messung einer Dürre-Intensität gibt. Im Folgenden sollen daher zwei in Nordamerika sehr verbreitete Dürre-Indizes vorgestellt und bezüglich ihrer Verwendung in der Forstwirtschaft diskutiert werden.

## PDSI und SPI: Maßzahlen für Dürreereignisse

Die zentrale Arbeit zur Erfassung der Intensität von Dürren (engl. drought severity) stammt von Wayne C. Palmer (1965). Der nach ihm benannte *Palmer drought severity index PDSI* ist mit einigen Anpassungen auch heute noch der gebräuchlichste Dürre-Index in den Vereinigten Staaten. Er wird seit 1998 auf wöchentlicher Basis vom U.S. National Weather Center für die Vereinigten Staaten veröffentlicht und seit 2007 monatlich auch für Europa bzw. die gesamte Welt durch das UCL Department Space and Climate Physics in Form des Global Drought Monitor im Internet bereitgestellt. Abbildung 1 zeigt den PDSI für Europa im Juni 2011. Hinter dem PDSI steckt ein einfaches Wasserhaushaltsmodell, das Niederschlag, Evapotranspiration (=Verdunstung von Vegetationsflächen), nutzbaren Bodenwasserspeicher und Abfluss miteinbezieht. Der lokal sehr heterogene Bodenwasserspeicher wird für die PDSI-Dürre-Kartierung großflächig ermittelt, kann prinzipiell aber auch lokal angepasst werden. Wie Tabelle 1 zeigt, werden PDSI-Werte von -1 bis -4,9 Dürre-Graden von *mild* bis *extrem* zugeordnet, Werte unter -5 als *exzeptionell* eingestuft (genauso dient eine positive Skala für die Klassifizierung feuchter Jahre).

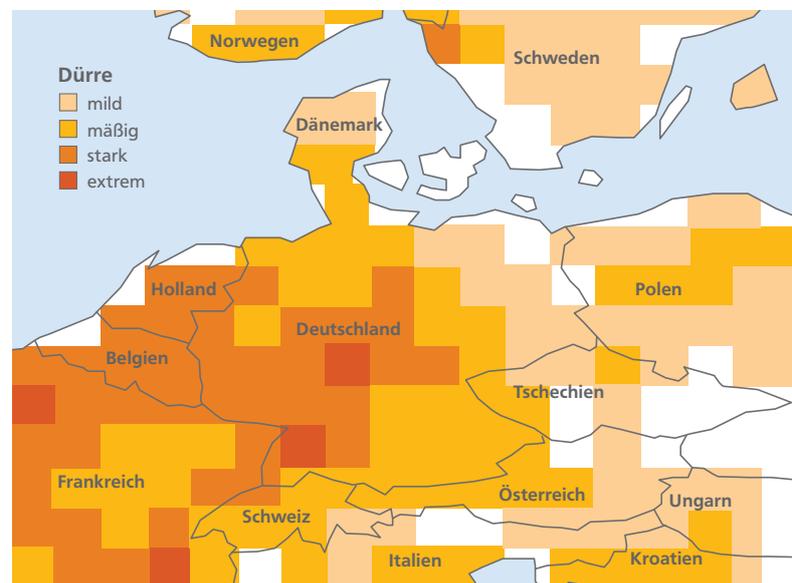


Abbildung 1: Der Palmer Dürre-Index PDSI wird monatlich vom UCL Department Space and Climate Physics veröffentlicht. Auf diesem Ausschnitt über Europa vom Juni 2011 erkennt man deutlich, dass ganz Deutschland von einer fröhsommerlichen Dürre betroffen ist.

Seit 1993 hat auch der einfachere standardisierte Niederschlags-Index *SPI (standardized precipitation index)* viel Beachtung gefunden (McKee et al. 1993). Im Gegensatz zum PDSI bezieht sich der SPI nur auf den Niederschlag. Dabei werden je nach Anwendung Niederschlagssummen aus 3 bis 24 Monaten gebildet. Die Einteilung ist ähnlich wie beim PDSI, allerdings beginnt eine Dürre ab -0,5 und wird schon bei -2 als *exzeptionell* eingestuft (ebenso für Feuchte im positiven Bereich). Auch der SPI ist monatlich beim UCL Department Space and Climate Physics abrufbar.

Die Kunst der Dürre-Indizes (und gleichzeitig ihre Vor- und Nachteile) besteht darin, dass sie eine Dürre auf eine einfache Maßzahl reduzieren und in mögliche Konsequenzen übersetzen. Dies geht notwendigerweise nur unter bestimmten Annahmen, die der Verwendung des Dürre-Index angepasst werden.

Tabelle 1: Einteilung von Dürre-Intensitäten nach dem U.S. National Weather Center

Dürregrad	Wiederkehr	Mögliche Folgen	PDSI	SPI
Milde Dürre	3 – 4 J.	geringe Drosselung des Wachstums; erhöhtes Feuerrisiko; möglicher Beginn (Ende) einer Dürre	-1,0 bis -1,9	-0,5 bis -0,7
Mäßige Dürre	5 – 9 J.	Getreideschäden; hohes Feuerrisiko; Rückgang der Wasserstände	-2,0 bis -2,9	-0,8 bis -1,2
Starke Dürre	10 – 17 J.	Ernteeinbußen; sehr hohes Feuerrisiko; Wassermangel	-3,0 bis -3,9	-1,3 bis -1,5
Extreme Dürre	18 – 43 J.	Ernteaufschläge; extremes Feuerrisiko; großflächiger Wassermangel	-4,0 bis -4,9	-1,6 bis -1,9
Exzeptionelle Dürre	> 43 J.	Großflächige Ernteaufschläge; Feuergefahr; Erschöpfung von Wasservorräten	ab -5,0	ab -2,0

**Die verschiedenen Dimensionen einer Dürre**

Dürre-Indizes müssen verschiedene Aspekte einer Dürre berücksichtigen. Dies macht eine ältere Definition der American Meteorological Society deutlich, die Dürren als *ein länger anhaltendes, anomales Wasserhaushalts-Defizit* beschreibt (Huschke 1959). Folgende drei wichtige Aspekte einer Dürre werden angesprochen:

**1. Wasserhaushaltsdefizit**

Die Wasserverfügbarkeit ist das zentrale Element von Dürren. Da der Niederschlag im Allgemeinen die wichtigste Wasserquelle ist, beziehen sich *meteorologische* Dürre-Indizes wie der SPI meist nur auf den Niederschlag. Allerdings wirken sich je nach nutzbarer Wasserspeicherkapazität des Bodens Niederschlagsdefizite auf verschiedenen Böden unterschiedlich aus. Daher beruhen *agrarwirtschaftliche* Dürre-Indizes wie der PDSI stark auf der Bodenwasserverfügbarkeit. *Hydrologische* Dürre-Indizes orientieren sich am Abfluss, zum Beispiel über die Wasserstände von Flüssen. Diese Größe ist nicht nur interessant für die Sicherheit der städtischen Wasserhaushalte und Bewässerung in der Landwirtschaft, sondern auch für die Energieversorgung.

**2. Anomalie**

Eine Dürre ist ein Ausnahmeereignis, das statistisch mit einer bestimmten Wiederkehrwahrscheinlichkeit auftritt (vgl. Tabelle 1). Im Gegensatz zur Aridität, die *Räume* abgrenzt, in denen eine (wenigstens saisonale) geringe Wasserverfügbarkeit normal ist, grenzen Dürren *Zeiten* ab, in denen die Wasserverfügbarkeit bezogen auf die langjährige Verteilung sehr gering ist. So definiert kommen Dürren überall gleich häufig vor, auch wenn man in regenreichen Gebieten wahrscheinlich nicht von Dürren sprechen würde. Zum Beispiel summiert sich der Sommerniederschlag (Juni – August) in Regensburg im Mittel (1947–2010) auf 227 Millimeter. Aus der langjährigen Verteilung ergibt sich eine Wahrscheinlichkeit von zehn Prozent (= alle zehn Jahre), dass der Niederschlag unter 157 Millimeter fällt. Eine Niederschlagsmenge von unter 113 Millimeter wäre statistisch gesehen alle 100 Jahre, Niederschläge unter 86 Millimeter alle 1.000 Jahre zu erwarten.

**Dauer**

Im Gegensatz zu Orkanen oder Feuern sind Dürren Extremereignisse, die sich erst über Monate aufbauen und auch Monate anhalten können. Für land- und forstwirtschaftliche Anwendungen sollten wenigstens 3-Monats-Zeiträume betrachtet werden. Für Langzeitspeicher wie Grundwasser oder Wasserreservoirs integriert man bis über 24 Monate und mehr (McKee 1993).

**Eignung der Dürre-Indizes für Wälder**

In Abbildung 2 sind die Wasserhaushaltsparameter für die PDSI-Berechnung, der PDSI selbst und der SPI auf 3- und 6-Monats-Basis von 2001 bis 2011 für die DWD-Station Regensburg dargestellt. Vergleicht man die Wasserhaushaltsparameter für die trockenen Sommer 2003 und 2008 (Abbildung 2 oben), erkennt man, wie infolge des geringen Niederschlags die aktuelle »tatsächliche« Evapotranspiration stark hinter der potentiellen zurückbleibt und der nutzbare Bodenwasserspeicher fast völlig aufgebraucht wird. In feuchteren Sommern wie 2002 oder 2010 folgt die aktuelle der potentiellen Evapotranspiration, die Wasserverfügbarkeit ist kaum eingeschränkt.

Entsprechend schlägt auch der PDSI gegen Ende der Vegetationszeit 2003 und 2008 Alarm (allerdings liegen z.B. die Augustwerte für 2009 noch niedriger). Der 3- bzw. 6-Monats-SPI sieht nur im Jahr 2003 eine »extreme« Dürre während der Vegetationszeit, für Juli 2008 zeigt der 3-Monats-SPI eine »extreme« Dürre an. Offensichtlich kommen die verschiedenen Dürre-Indizes zu verschiedenen Beurteilungen einer Dürre-Intensität. Welcher Index (und welcher Monat) ist der aussagekräftigste für Dürrestress im Wald?

Die forstliche Vegetationsperiode ist von Anfang Mai bis Ende September definiert. Hier erfolgt der jährliche Wachstumsschub der Wälder in Mitteleuropa. Folglich macht es Sinn, im Fall des 3-Monats-SPI den Augustwert zu verwenden, der die Monate Juni, Juli und August integriert. Im Fall des längerfristigen 6-Monats-SPI bzw. des PDSI sollte man den September betrachten. Die Ausschläge im Winter sind unter dem Aspekt der Dürre in Mitteleuropa wenig relevant, da der Bodenspeicher im Regelfall noch vor Februar wieder aufgefüllt ist. Daher ist auch die Einbeziehung des Abflusses im

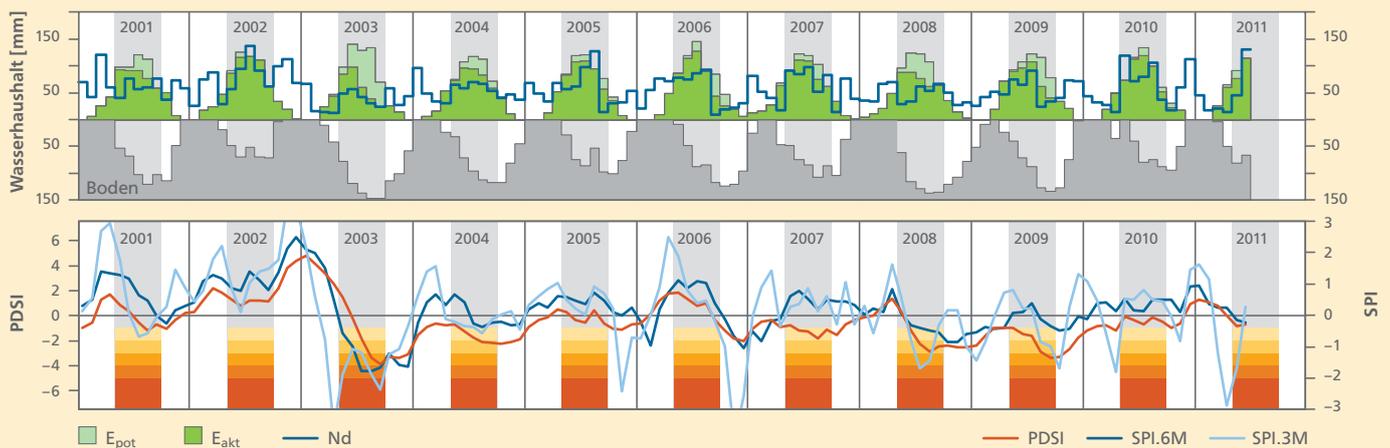


Abbildung 2: (oben) Wasserhaushaltsparameter für die Berechnung des PDSI, (unten) PDSI und SPI auf 3- und 6-Monats-Basis dargestellt für die DWD-Station Regensburg im Zeitraum 2001 – 2011. E<sub>pot</sub> = potentielle Evapotranspiration, E<sub>akt</sub> = aktuelle Evapotranspiration, Nd = Niederschlag, Boden = nutzbare Wasserkapazität des Bodens (Sättigung bei 150 mm angenommen). PDSI = Palmer Dürre Index, SPI.6M bzw. SPI.3M standardisierter Niederschlags-Index auf 6 bzw. 3-Monats-Basis. Die Dürre-Indizes sind in erster Linie interessant während der Vegetationsperiode (Mai – September), die durch die grauen bzw. farbigen Balken angedeutet wird. Die Farbskala von gelb nach rot zeigt die fünf Dürrestufen nach Tabelle 1 an.

- vermehrte Berücksichtigung autochthonen Saatguts und angepasster Genotypen
- erhöhte Aufmerksamkeit gegenüber trockenheitsliebenden Forstschädlingen
- Wachsamkeit und Vorbeugung von Waldbränden

Auch bei den genannten Nachteilen stellen Dürre-Indizes ein einfaches und verständliches Maß zur Beurteilung von Dürren auf statistischer Grundlage dar. Angesichts der prognostizierten Zunahme von Sommertrockenheiten empfiehlt es sich, solche Dürre-Indizes für forstökologische oder forstwirtschaftliche Zwecke weiter zu entwickeln und verfügbar zu machen.

PDSI eher störend. Er ist eine hydrologische Größe, die bei landwirtschaftlicher Bewässerung in Gebieten wie z.B. dem mittleren Westen der USA eine Rolle spielt, aber nicht für die hiesige Forstwirtschaft. Hingegen ist die Pufferwirkung des Bodens ein wichtiger Aspekt, der nur im PDSI und nicht im SPI berücksichtigt wird. Auch dem Anstieg der Evapotranspiration bei steigenden Sommertemperaturen durch den Klimawandel wird nur der PDSI gerecht.

Beide Indizes, PDSI und SPI, können letztendlich – vor allem bei großer räumlicher Auflösung – nur als Anhaltspunkt für den Dürrestress von Wäldern dienen. Im Vergleich zu Agrarpflanzen sind Waldbaumarten nicht auf Ertragsmaximierung, sondern auf Maximierung der Fitness auf Einzelbaumebene (Ressourcengewinn, Überleben, Fortpflanzung) »programmiert«. Standortsgemäße und insbesondere autochthone Baumarten kommen daher mit den Klima-Extremen ihrer Standorte zurecht. Dürren können den Einzelbaum oder den Bestand temporär schwächen und anfällig machen für trockenheitsliebende Schädlinge wie den Borkenkäfer, aber sie sind bisher keine direkte Ursache für großflächiges Waldsterben (Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft 2004).

Trotzdem sollte der Umgang mit zunehmender Dürrewahrscheinlichkeit im Rahmen des Klimawandels diskutiert werden. Es empfiehlt sich eine vielseitige Herangehensweise:

- Weiterführung des Umbaus hin zu standortsgemäßen Waldbeständen

### Literatur

Palmer, W.C. (1965): *Meteorological Drought*. Research Paper No. 45. US Weather Bureau, Washington, D.C. 58 S.

U.S. National Weather Center (abgerufen im Juli 2011) [http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/monitoring\\_and\\_data/drought.shtml](http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/monitoring_and_data/drought.shtml)

UCL Department Space and Climate Physics (abgerufen im Juli 2011): <http://drought.mssl.ucl.ac.uk/drought.html>

McKee, T.B.; Doesken, N.J.; Kleist, J. (1993): *The relationship of drought frequency and duration to time scales*. Preprints 8th Conf. on Applied Climatology, Anaheim CA. Amer Meteor Soc, S. 179–184

Huschke, R.E. (Hrsg.) (1959): *Glossary of Meteorology*. Am Met Soc, Boston, MA, 638 S.

Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (2004): *Auswirkungen der Trockenheit 2003 und Waldschutzsituation 2004*. LWF aktuell 43, 44 S.

Dr. Tobias Mette und Dr. Thomas Rötzer sind Mitarbeiter am Lehrstuhl für Waldwachstumskunde an der Technischen Universität München. Prof. Dr. Hans Pretzsch leitet diesen Lehrstuhl. [Tobias.Mette@lrz.tum.de](mailto:Tobias.Mette@lrz.tum.de), [Thomas.Rötzer@lrz.tum.de](mailto:Thomas.Rötzer@lrz.tum.de), [Hans.Pretzsch@lrz.tum.de](mailto:Hans.Pretzsch@lrz.tum.de)

# Walddynamik im Klimawandel

Modellstudie zeigt: innerartliche Variabilität und Störungsinteraktionen haben bedeutenden Einfluss auf die künftige Waldentwicklung

Klara Dolos und Björn Reineking

**Innerartliche Variabilität und Störungsinteraktionen stellen eine Herausforderung für die Prognose zukünftiger Walddynamik im Klimawandel dar. Modellierungsstudien bilden eine wertvolle Grundlage für ein besseres Verständnis dieser Themenkomplexe und unterstützen daraus abgeleitete wissenschaftlich basierte Handlungsempfehlungen.**



Foto: K. Dolos

Abbildung 1: Windwurf am »Lotharpfad« im Schwarzwald

Wälder sind zeitlich dynamische Ökosysteme, die Lebensraum für eine Vielzahl unterschiedlichster Organismen bieten. Ihre Struktur und Artzusammensetzung werden ausgehend vom lokalen Artenpool von *Umweltfaktoren* wie Klima und Boden sowie von *kurzfristigen Ereignissen*, wie dem Eintreten von Störungen, bestimmt. Die Reaktion eines Waldes auf Umweltveränderungen und die Fähigkeit seine Ökosystemdienstleistungen aufrecht zu erhalten, werden durch die Eigenschaften und das Anpassungspotential der vorkommenden Organismen beeinflusst. Wichtige Arteigenschaften sind beispielsweise *Dürreempfindlichkeit* und *Schattentoleranz*. Für eine Einschätzung der Auswirkungen von Umweltveränderungen wie des Klimawandels werden oftmals *mittlere* Arteigenschaften herangezogen. In realen Ökosystemen unterscheiden sich jedoch *Individuen*, auch innerhalb derselben Art, voneinander (Jung et al. 2010). Daher ist eines der Ziele des Teilprojektes 14 »Auswirkungen klimatischer Extremereignisse auf Störungsregime in Wäldern der Mittel- und Hochgebirge« des Forschungsverbundes FORKAST, herauszufinden, wie sich Prognosen hinsichtlich der zukünftigen Waldentwicklung verändern, wenn die innerartliche Variabilität bezüglich der Dürretoleranz berücksichtigt wird.

Störungsregime und ihre Interaktionen stellen einen weiteren Themenkomplex innerhalb des Projektes dar. Neben mittel- und längerfristigen Schwankungen der Umweltbedingungen prägen insbesondere die Störungsregime *Borkenkäfer*, *Windwurf*, *Dürre* und in Zukunft voraussichtlich verstärkt auch *Feuer* die Dynamik temperater Wälder. Es wird angenommen, dass die einzelnen Störungstypen maßgeblich durch Klima und Waldstruktur bestimmt werden. Prognosen bezüglich der in Zukunft zu erwartenden Störungsregime werden häufig auf dieser Annahme erstellt. Unberücksichtigt bleiben dabei oftmals Interaktionen zwischen Störungen, die zu einer gegenseitigen Verstärkung oder Abschwächung führen können. In einem ersten Schritt wurde daher ein konzeptionelles Modell von Störungsinteraktionen entwickelt. Es formuliert explizit die Annahmen, welche häufig in störungsregimebezogenen Interaktionsstudien getroffen werden, und es ermöglicht, die Konsequenzen dieser Annahmen über Interaktionen abzuschätzen.

In beiden Studien – zur innerartlichen Variabilität und zu Störungsinteraktionen – liegt der methodische Schwerpunkt auf der Modellierung. Modellierung ist ein nützliches Werkzeug, um vorhandenes Wissen über Systeme zu strukturieren, ihre Prozesse besser zu verstehen, um allgemeine Konzepte zu testen und die Konsequenzen von Annahmen bezüglich zukünftigen Verhaltens einzuschätzen. Im Folgenden werden der aktuelle Stand der beiden Studien und vorläufige Ergebnisse zusammengefasst beschrieben.

## Innerartliche Variabilität

Bisher wurde innerartliche Variabilität in Modellierungsansätzen auf Landschaftsebene kaum berücksichtigt und das Potential dieser Variabilität für die Anpassung bestehender Wälder an das für die Zukunft prognostizierte Klima nur unzureichend bewertet. Mittels des Waldlandschaftsmodells *LandClim* (Schumacher und Bugmann 2006a; Schumacher et al. 2006b; Henne et al. 2011) werden derzeit die Auswirkungen innerartlicher Variabilität in der Dürretoleranz auf das Baumwachstum untersucht.

LandClim ist ein räumlich explizites Simulationsmodell, das entwickelt wurde, um die Bedeutung von Klima, Waldbränden und Management für die aktuelle und zukünftige Wald-dynamik zu untersuchen. Es besteht aus einem lokalen Vegetationsmodell für die Waldsukzession und einem Landschaftsmodell für Störungsregime, Management und Samenausbreitung. LandClim simuliert die Waldentwicklung über lange Zeiträume (Jahrhunderte bis Jahrtausende) und große räumliche Ausdehnung von mehreren Quadratkilometern in relativ hoher Auflösung (Raumeinheiten von 25 mal 25 Metern). LandClim wurde in Studien über Wälder der Europäischen Alpen, der Rocky Mountains in Nordamerika und im mediterranen Raum erfolgreich verwendet (Henne et al. 2011; Colombaroli et al. 2010; Cairns et al. 2008).

Durch den modularen Aufbau LandClims war es möglich, den Prozess der Etablierung von Bäumen um ein Modell für die innerartliche Variabilität zu ergänzen. Anstelle eines identischen Wertes für die Dürretoleranz aller Individuen einer Art erhielt jedes Individuum einen Wert für die Dürretoleranz, der zufällig aus einer Verteilung mit festem Mittelwert und Varianz gezogen wird. Dabei dienten die bayerischen Populationen der Rotbuche (*Fagus sylvatica*) und Fichte (*Picea abies*) sowie an diese angelehnte Modellarten als Beispiele. Die Konsequenzen der Modellregeln für das Wachstum und den relativen Erfolg von Arten mit unterschiedlicher innerartlicher Variabilität wurden in Simulationsstudien untersucht.

In einer Landschaft, in der Dürre eine Rolle spielte, kam es auf Grund von innerartlicher Variabilität zu einer Verschiebung des realisierten Mittelwertes hin zu größerer Dürretoleranz. Ursache dieser Entwicklung war, dass sich besser angepasste, konkurrenzstärkere Individuen etablierten, welches in diesem Modell immer die dürretoleranteren Individuen waren.

Entlang eines Dürregradienten, der zum Beispiel in Mittelgebirgswäldern mit einem Höhengradienten einhergehen kann, zeigte sich folgendes Muster: In geringer Höhe, wo Dürre in der simulierten Landschaft stärker wachstumshemmend wirkte, hatten Arten mit großer Variabilität bezüglich Dürretoleranz und ansonsten gleichen Eigenschaften eine größere mittlere Biomasse als Arten mit geringer Variabilität. Mit zunehmender Höhe und abnehmender Bedeutung von Dürre wirkte sich große innerartliche Variabilität negativ auf die mittlere Biomasse aus. Dies konnte damit erklärt werden, dass Arten mit einer größeren Variabilität in höheren Lagen keinen Vorteil mehr auf Grund größerer Dürretoleranz erzielen konnten. In höheren Lagen hatten sie sogar einen Konkurrenznachteil, wenn sich durch Zufall nur schlecht angepasste Individuen in einer Raumeinheit befanden. Die Strategie, mittels innerartlicher Variabilität flexibel auf die Umwelt reagieren zu können, war damit bei günstigen Wuchsbedingungen risikoreicher.

In einem nächsten Schritt soll die Robustheit dieser Ergebnisse bezüglich der spezifischen Modellregeln zur innerartlichen Variabilität geprüft sowie das Ausmaß innerartlicher Variabilität in realen Wäldern für Rotbuche und Fichte abgeschätzt werden.



Foto: M. Steinbauer

Abbildung 2: Borkenkäfer-Flächen im Bayerischen Wald

## Interaktionen zwischen Störungsregimen

Jedes Waldökosystem besitzt eine eigene Kombination aus Störungsregimen, die Waldstruktur und Verjüngung wesentlich beeinflusst (Dale et al. 2000). Für Bayern von besonderer Bedeutung sind Borkenkäferkalamitäten (Abbildung 2), deren Dynamik noch unzureichend verstanden ist und nur eingeschränkt prognostiziert werden kann. Der Lebenszyklus von Borkenkäfern ist stark temperaturabhängig. Tendenziell entwickeln sich Borkenkäferlarven schneller unter wärmeren Bedingungen und ihre Sterblichkeit sinkt (Wermelinger 2004). Zusätzlich ist die Populationsdynamik potentiell von den Störungen Windwurf, Dürre und Feuer beeinflusst, deren Häufigkeit und Intensität sich wahrscheinlich mit dem Klima verändern werden. Interaktionen zwischen Störungsregimen und mögliche positive wie negative Rückkoppelungen machen eine Abschätzung von Risiken für Wälder unter dem zukünftig erwarteten Klima zu einer Herausforderung.

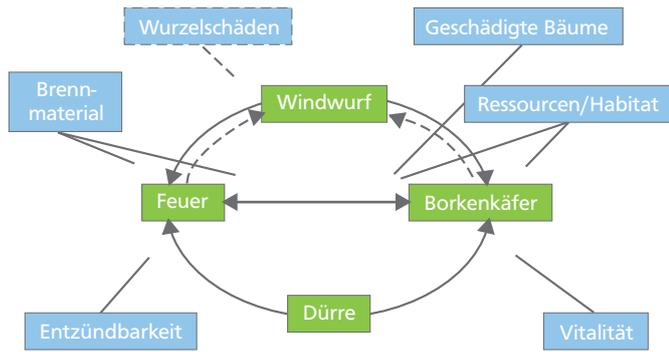


Abbildung 3: Mögliche Interaktionen zwischen den wichtigsten Wald-Störungsregimen

Bisherige Studien erlaubten es, ein Konzept der Interaktionen zwischen den vier wichtigsten Störungsregimen Borkenkäfer, Windwurf, Dürre und Feuer zu entwerfen (Abbildung 3). Viele empirische Studien ermöglichten aber lediglich eine qualitative Einschätzung der jeweils untersuchten Interaktion (Veblen et al. 1994). Darüber hinaus wurden in Feldstudien sehr verschiedene Methoden eingesetzt, unterschiedliche Kenngrößen erhoben (Hebertson und Jenkins 2008; Okland und Berryman 2004) und uneinheitliche Zeit- und Raumskalen betrachtet (Bigler et al. 2005; Schroeder und Lindelow 2002), so dass ein Vergleich der Ergebnisse zwischen Studien erschwert wurde. Ein quantitativer Vergleich von Ergebnissen verschiedener Studien ist jedoch wesentlich um abzuschätzen, ob die angesprochenen Interaktionen von ökologischer und ökonomischer Bedeutung sind. Darüber hinaus ermöglicht das Wissen um den Zusammenhang zwischen Störungen die Prognose zukünftiger ökologischer Zustände (z.B. bezüglich der Altersstruktur eines Bestandes).

Um zu einem besseren Verständnis dieses Systems von Störungsregimen und ihren Wechselwirkungen beizutragen, wurde das Konzept der Störungsinteraktionen im Rahmen eines strukturell einfachen, zeitlich diskreten mathematischen Modells formuliert, das mit Standardmethoden analysiert werden konnte. Dabei zeigte sich, dass auch dann ein stabiles Gleichgewicht zwischen Waldbestand und Störungsflächen entstehen konnte, wenn sich alle Störungen gegenseitig verstärken.

In einem nächsten Schritt sollen die Ergebnisse dieses strategischen Störungsinteraktionsmodells mit Simulationsstudien des Landschaftsmodells LandClim, in dem die Störungen Borkenkäfer, Windwurf, Dürre und Feuer repräsentiert sind, in Situationen realistischer Komplexität überprüft werden.

Die beiden vorgestellten Studien verdeutlichen, dass die Auswirkungen von innerartlicher Variabilität und Störungsinteraktionen auf die zukünftige Waldentwicklung ein spannendes Forschungsfeld darstellen. Erste Ergebnisse zeigten, dass beide Themen einen Einfluss auf die Prognose zukünftiger Walddynamik im Klimawandel haben und daher ein verbessertes Verständnis dieser Prozesse wichtig für die Ableitung sinnvoller Handlungsempfehlungen ist.

Literatur

Bigler, C.; Kulakowski, D.; Veblen, T. (2005): Multiple disturbance interactions and drought influence fire severity in rocky mountain subalpine forests. *Ecology* 86, S. 3018–3029

Cairns, D.; Lafon, C.; Waldron, J.; Tchakerian, M.; Coulson, R.; Klepzig, K.; Birt, A.; Xi, W. (2008): *Simulating the reciprocal interaction of forest landscape structure and southern pine beetle herbivory using LANDIS*. *Landscape Ecology* 23, S. 403–415

Colombaroli, D.; Henne, P.; Kaltenrieder, P.; Gobet, E.; Tinner, W. (2010): *Species responses to fire, climate and human impact at tree line in the Alps as evidenced by palaeo-environmental records and a dynamic simulation model*. *Journal of Ecology* 98, S. 1346–1357

Dale, V.; Joyce, L.; McNulty, S.; Neilson, R. (2000): *The interplay between climate change, forests, and disturbances*. *Science of the Total Environment* 262, S. 201–204

Hebertson, E.; Jenkins, M. (2008): *Climate factors associated with historic spruce beetle (Coleoptera Curculionidae) outbreaks in Utah and Colorado*. *Environmental Entomology* 37, S. 281–292

Henne, P.; Elkin, C.; Reineking, B.; Bugmann, H.; Tinner, W. (2011): *Did soil development limit spruce (Picea abies) expansion in the Central Alps during the Holocene? Testing a palaeobotanical hypothesis with a dynamic landscape model*. *Journal of Biogeography* 38, S. 933–949

Jung, V.; Violle, C.; Mondy, C.; Hoffmann, L.; Muller, S. (2010): *Intraspecific variability and trait-based community assembly*. *Journal of Ecology* 98, S. 1134–1140

Okland, B.; Berryman, A. (2004): *Resource dynamic plays a key role in regional fluctuations of the spruce bark beetles Ips typographus*. *Agricultural and Forest Entomology* 6, S. 141–146

Schroeder, L.; Lindelow, A. (2002): *Attacks on living spruce trees by the bark beetle Ips typographus (Col. Scolytidae) following a storm-felling: a comparison between stands with and without removal of wind-felled trees*. *Agricultural and Forest Entomology* 4, S. 47–56

Schumacher, S.; Bugmann, H. (2006a): *The relative importance of climatic effects, wildfires and management for future forest landscape dynamics in the Swiss Alps*. *Global Change Biology* 12, S. 1435–1450

Schumacher, S.; Reineking, B.; Sibold, J.; Bugmann, H. (2006b): *Modeling the impact of climate and vegetation on fire regimes in mountain landscapes*. *Landscape Ecology* 21, S. 539–554

Veblen, T.; Hadley, K.; Nel, E.; Kitzberger, T.; Reid, M.; Villalba, R. (1994): *Disturbance Regime and Disturbance Interactions in a Rocky Mountain Subalpine Forest*. *Journal of Ecology* 82, S. 125–135

Wermelinger, B. (2004): *Ecology and management of the spruce bark beetle Ips typographus - a review of recent research*. *Forest Ecology and Management* 202, S. 67–82

Klara Dolos promoviert an der Juniorprofessur Biogeographische Modellierung im Rahmen des Teilprojekts 14 »Auswirkungen klimatischer Extremereignisse auf Störungsregime in Wäldern der Mittel- und Hochgebirge« des Forschungsverbundes FORKAST. [klara.dolos@uni-bayreuth.de](mailto:klara.dolos@uni-bayreuth.de)  
 Prof. Dr. Björn Reineking ist Juniorprofessor für Biogeographische Modellierung an der Universität Bayreuth. [bjoern.reineking@uni-bayreuth.de](mailto:bjoern.reineking@uni-bayreuth.de)



## AUS DEM ZENTRUM WALD-FORST-HOLZ

### Die Buche

Neue Perspektiven für Europas dominierende Laubbaumart

Bernhard Felbermeier und Reinhard Mosandl

**Der Deutsche Buchenwald ist UNESCO-Weltnaturerbe geworden. Fernsehen, Internet und Druckmedien berichten über dieses faszinierende Waldökosystem. Die Erhaltung des Buchenwaldes ist auf der politischen Agenda und soll zur Entwicklung von Wildnis in Deutschland beitragen.**

Die Buche ist in den gemäßigten und warm gemäßigten Klimazonen der nördlichen Hemisphäre zu Hause. In Europa und Kleinasien einschließlich der benachbarten Regionen gehört sie zu den wüchsigsten und forstwirtschaftlich bedeutendsten waldbildenden Laubbäumen. Sie ist ausgesprochen schattentolerant und kann sich daher unter dem dichten Kronendach von Altbeständen, wo andere Baumarten kaum eine Chance haben, erfolgreich ansiedeln. Die Buche dominiert infolgedessen auf großer Fläche die natürliche Waldentwicklung in Rein- und Mischbeständen.

#### Wo liegt der Ursprung der Buche?

Die fossilen Überreste der ersten europäischen Buchen stammen aus dem mittleren Tertiär. In dieser durch subtropisches Klima geprägten Zeit lebten in Europa zahlreiche Baumarten, darunter auch mehrere Buchenarten. Im darauffolgenden Pleistozän waren Buchen während der Warmzeiten immer in Europa nachzuweisen, doch starben sie bis auf die Orientalische Buche aus. Die Orientbuche siedelt heute zusammen

mit anderen Überresten der tertiären wärmeliebenden Laubwaldflora in Kleinasien, im Kaukasus und im Elbursgebirge. Nach derzeitigem Kenntnisstand entwickelte sich erst während der letzten Eiszeit aus der Orientbuche die etwas kleinblättrigere Rotbuche, welche Europa nach der letzten Eiszeit wiederbesiedelte. In Südosteuropa bilden beide Buchen Übergangsformen. Auf Grundlage neuerer morphologischer und genetischer Untersuchungen wird heute im westlichen Eurasien botanisch nur mehr die Buchenart *Fagus sylvatica* ausgeschieden, welche in die beiden Unterarten Rotbuche (*Fagus sylvatica* ssp. *sylvatica*) und Orientbuche (*Fagus sylvatica* ssp. *orientalis*) unterteilt wird. Für die Orientbuche lassen sich verschiedene geographische Rassen und eine im Vergleich zur Rotbuche höhere genetische Differenzierung der Populationen nachweisen. Man erklärt sich diese Unterschiede unter anderem mit der fragmentierten Verbreitung der Orientbuche sowie mit starken Standortsunterschieden vor allem im Kaukasus und Elbursgebirge.



Foto: B. Felbermeier

Abbildung 1: Kleinflächiger Wechsel von vitalen, absterbenden und toten Buchen im slowenischen Buchen-Tannen-Urwald Rajhenavski Rog; in den entstehenden Lücken entwickelt sich Buchennaturverjüngung.

#### Merkmale und Verbreitung der Buche

*Fagus sylvatica* entwickelt im Freiland eine weit ausladende Krone und bildet im Bestandesschluss bis zu 25 Meter lange astfreie Schäfte. Die maximal gemessenen Baumhöhen betragen 50 Meter, die größten Durchmesser in Brusthöhe liegen bei 2,90 Meter. An der natürlichen Waldgrenze verkümmert *Fagus sylvatica* zu Buschformen.

Das natürliche Verbreitungsgebiet von *Fagus sylvatica* erstreckt sich vom Nordwesten der Iberischen Halbinsel bis in das östliche Elbursgebirge am Kaspischen Meer. Die nördliche Verbreitungsgrenze liegt bei Oslo. An ihrer Südgrenze siedelt sie auf Sizilien, im syrisch-türkischen Amanusgebirge und in den Gebirgsregionen nördlich von Teheran. Die vertikale Ver-

breitungsgrenze steigt von Meeresniveau in Skandinavien bis auf 2.600 Meter im Elbursgebirge an. Außerhalb ihrer natürlichen Verbreitung wird *Fagus sylvatica* unter anderem in Großbritannien erfolgreich angebaut.

Das Areal von *Fagus sylvatica* wird klimatisch durch Trockenperioden und Kontinentalität begrenzt. Der Jahresniederschlag im Verbreitungsgebiet beträgt in humiden Regionen mindestens 500 Millimeter, in sommertrockenen Gebieten mindestens 600 Millimeter. Sommerliche Trockenperioden über drei Monate schließen die Buche aus. Nebellagen an der Küste und in den Gebirgen sowie hangwasserzügige Standorte begünstigen die Buche in sommertrockenen Gebieten. Schnee fördert in trockeneren Gebieten die Buchenverjüngung, da die Austrocknung der empfindlichen Sämlinge vermieden wird. Im Bereich der klimatisch bedingten Verbreitungsgrenzen bestimmt vor allem die Wechselwirkung von Strahlungshaushalt und Topographie die Besiedlung.

### Die Dynamik des Buchenwaldes

Standardmäßig lässt sich der Lebenszyklus des Buchenwaldes in vier Phasen einteilen, welche in der Fläche mosaikartig ineinander greifen:

**(1) Reifephase:** Kräftiges Baumwachstum bei geschlossenem Kronendach und Verringerung der Stammzahl durch intensive Konkurrenz.

**(2) Terminalphase:** Ein- und mehrschichtige Waldstrukturen mit ersten altersbedingten Ausfällen einzelner Bäume. Die

Terminalphase nimmt wegen ihrer langen Dauer den größten Flächenanteil ein.

**(3) Zerfallsphase:** Absterben und Zusammenbruch von Altbäumen. Erste Verjüngung stellt sich in den Lücken ein.

**(4) Verjüngungsphase:** Intensive Verjüngung unter Beteiligung von Mischbaumarten abhängig von der Lückengröße.

In den europäischen Buchenurwaldresten dauert ein Entwicklungszyklus circa 250 Jahre. Die einzelnen Phasen treten dabei meist kleinräumig und häufig in Dimensionen unter 0,1 Hektar auf (Abbildung 1). Nur bei flächigen Störungen, etwa durch Sturm, kann sich das Mosaik vergrößern und es bilden sich mitunter halbenartige Bestände. Auf Grund fehlender Konkurrenz setzt sich die Buche in Europa meist durch. Weitläufige Urwälder der Orientbuche sind auf der Nordseite des persischen Elbursgebirges zu finden. Sie weisen durchgehend eine sehr kleinflächige Struktur auf und besitzen einen plenterwaldartigen Aufbau (Abbildung 2). Zusammen mit zahlreichen Laubbaumarten und Eibe bildet die Buche dort wüchsige Mischbestände. Weitere Nadelbaumarten kommen im Elbursgebirge von Natur aus nicht vor. In den naturnahen Buchenwäldern des Kaukasus und der Nordtürkei finden sich hingegen Bergmischwälder mit Fichten- und Tannenarten.

### Nutzung des Buchenwaldes

Deutschland war bis zum Eintreffen der Römer fast vollständig von Wald und zu zwei Dritteln mit Buchenwald bedeckt. Er diente den Menschen in den darauffolgen-

den Perioden vorwiegend für landwirtschaftliche und jagdliche Zwecke sowie zur Energiegewinnung und Glasherstellung. Bis in die Neuzeit wurde ein Großteil der Buchen- und Buchenmischwälder zerstört. Heute sind 31 Prozent der Landesfläche bewaldet und 15 Prozent der Waldfläche mit Buche bedeckt. Der überwiegende Teil des Buchenwaldes wird für die Holzproduktion genutzt.

Buchenholz ist gut zu bearbeiten, leicht spaltbar und mit Ausnahme des rotkernigen Bereiches gut zu imprägnieren. Es kann geschält, gemessert, gedrechselt und poliert werden. Nagel-, Schraub- und Leimverbindungen sind leicht durchzuführen. Die Trocknung muss langsam und sehr sorgfältig erfolgen, da das Holz leicht zur Rissbildung und zum Werfen neigt. Es lässt sich jedoch sehr gut dämpfen, wodurch diese für die Holzverwendung nachteilige Eigenschaft verringert wird. Das Holz erhält dabei zunächst einen hellroten, später nachdunkelnd einen rotbraunen, den Tropenhölzern ähnlichen Farbton. In heiß gedämpftem Zustand ist es gut formbar.

Stammholz wird traditionell bei der Herstellung von Möbeln, Treppen, Parkett und Holzpflaster verwendet. Auch rotkerniges Holz wird unter dem Namen »Wildbuche« verkauft und für dekorative Zwecke eingesetzt. Ferner lassen sich Holzwaren wie Werkzeugstiele, Fässer, Instrumententeile, Spielwaren, Schlitten und Hausgeräte daraus herstellen. Neuere Einsatzmöglichkeiten ergeben sich nach Vorbehandlung auch im Außenbereich oder als Bau- und Brettschichtholz. Stammholz minderer Qualität wird zu Paletten und Eisenbahnschwellen verarbeitet. Aus Buchenwertholz werden meist Furniere hergestellt, welche in der Sperrholzproduktion oder im Möbelbau Einsatz finden.

Buchenindustrieholz wird in großem Umfang zu Holzwerkstoffen verarbeitet. Es ist Bestandteil von Tischler-, Verbund-, Partikel-, Span-, Faser- und Gipsplatten. Kunstfasern wie Viskose werden aus Buchenhalbstoffen hergestellt.



Foto: R. Mosandl

Abbildung 2: Plenterwaldstrukturen im kaspischen Buchenurwald; dicke und dünne Bäume stehen auf kleiner Fläche beieinander.

## Literaturhinweise

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (Hrsg.) (2007): *Nationale Strategie zur Biologischen Vielfalt*. 178 S.

Ellenberg, H.; Leuschner, C. (2010): *Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen*. 1333 S.

Felbermeier, B.; Marvie-Mohadjer, M.R. (2011): *Fagus orientalis*. In: Roloff, A.; Weisgerber, H.; Lang, U.; Stimm, B.: Enzyklopädie der Holzgewächse. Im Druck.

Felbermeier, B., Mosandl, R. (2002): *Fagus sylvatica*. In: Roloff, A.; Weisgerber, H.; Lang, U.; Stimm, B.; Enzyklopädie der Holzgewächse. 20 S.

Gayer, Karl (1886): *Der gemischte Wald*. Parey. 168 S.

Korpel, S. (1995): *Die Urwälder der Westkarpaten*. Fischer. 310 S.

Mosandl, R. (2009): *Geschichte der Wälder und Forste in Mitteleuropa im letzten Jahrtausend*. In: Herrmann, B.: Beiträge zum Göttinger Umwelthistorischen Kolloquium 2008 – 2009. S. 91–114

Meyer, P.; Tabaku, B.; v. Lüpke, B. (2003): *Die Struktur albanischer Rotbuchen-Urwälder: Ableitungen für eine naturnahe Buchenwirtschaft*. Forstwissenschaftliches Centralblatt 122 (2003), 47–58

Sefidi, K.; Marvie-Mohadjer, M.R.; Mosandl, R.; Copenheaver, C.A. (2011): *Canopy gaps and regeneration in old-growth Oriental beech (Fagus orientalis Lipsky) stands, northern Iran*. Forest Ecology and Management 262: 1094–1099

Buchenbrennholz und -hackschnitzel spielen bei den erneuerbaren Energien eine zunehmend wichtige Rolle. Ausreichend an der Luft getrocknet kann es umweltfreundlich verbrannt werden. Die bei der Holzbearbeitung anfallenden Buchenspäne werden zu Holzbriketts und -pellets verarbeitet.

## Wege zur natürlichen biologischen Vielfalt

Buchenwälder sind ein wichtiger Baustein zur Erreichung der gesellschaftlichen Zielsetzung einer nachhaltigen Entwicklung. Die Verwendung des durch reine Sonnenenergie erzeugten und vielseitig nutzbaren Rohstoffes Buchenholz mindert den Einsatz von Energie und schützt dadurch die Bio-, Geo- und Atmosphäre.

Buchenwirtschaftswälder besitzen jedoch eine im Vergleich zum Urwald geringere biologische Vielfalt. Auf einem Prozent der Buchenwaldfläche in Deutschland wurden daher weitgehend urwaldähnliche Buchenwaldreste unter Prozessschutz gestellt, d.h. sich selbst überlassen, um die natürliche Biodiversität und Walddynamik zu erhalten. Diese zerstreuten, durch eine naturferne Infrastruktur und Landwirtschaft isolierten Schutzgebiete können jedoch nur eine begrenzte Wirkung entfalten. Die natürliche Biodiversität lässt sich im Grunde nur in der Fläche wiederherstellen. Dies geht aber nicht ohne Nutzungsverzichte.

Im Wirtschaftswald müssten also die Flächenanteile der Buche insgesamt und insbesondere die Zerfallsphasen des Buchenwaldes soweit ausgeweitet werden, dass sich die natürliche Biodiversität wieder einstellt. Je kleinflächiger dabei die waldbaulichen Eingriffe erfolgen, desto mehr nähert man sich der natürlichen Dynamik des Buchenwaldes an und desto geringer wird der Flächenbedarf für die derzeit noch fehlenden Entwicklungsphasen.

Femelschlagverfahren und die Anwendung von Plenterprinzipien haben sich hierbei sowohl in Europa als auch im Orient bewährt. Zusätzlich können einzelne lebende, abgängige und tote Buchen in ausreichender Dichte und Dimensionierung zwischen den potentiellen Erntebäumen belassen werden, um späte Terminal- und Zerfallsphasen in natürlicher Verteilung in den Wirtschaftswald zu integrieren. Auch geringwertiges Astholz kann im Wald verbleiben, um die natürlichen Zerstellungsprozesse zu fördern.

Die kleinflächige Vorgehensweise ist wirtschaftlich vorteilhaft, da natürliche Entwicklungsprozesse genutzt und Produktionsrisiken reduziert werden. Nutzungsverzichte beim Holz und Mehraufwendungen für die Gewährleistung der Arbeitssicherheit im Umfeld von toten Bäumen müssten jedoch entschädigt werden, um den Waldeigentümer gegenüber anderen Wirtschaftszweigen nicht zu benachteiligen.

## Forstwirtschaft und Naturschutz

Dieses mehr an Wildnis – man könnte auch sagen der »wirtschaftsnahe Naturwald« – könnte die biologische Vielfalt im großen Maßstab am umfassendsten schützen und infolgedessen die Funktionalität und Anpassungsfähigkeit des Waldes verbessern. Das Naturkapital und das Geldkapital im Wald wären dadurch bestens gesichert. Ein naturschutzkonformer Umgang mit dem Buchenwald ist also eine verantwortungsvolle Aufgabe, welche professionelle Ausbildung, langjährige Erfahrung mit dem Wald und ausreichend Personal im Wald erfordert.

Dass die Naturschutzorientierung von der Bevölkerung gewünscht ist, zeigen Umfragen der Bundesregierung: Über 90 Prozent der Bürger sind der Meinung, dass es wichtig ist, Tier- und Pflanzenarten vor dem Aussterben zu schützen und für einen verbesserten Naturschutz zu sorgen. Diesen Auftrag sollte man annehmen und zeigen, dass die »Deutschen Buchenwälder« bei den für Naturschutzfragen offenen Forstleuten in guter Hand sind.

## Zusammenfassung

Die im westlichen Eurasien beschriebenen Buchenarten werden heute alle botanisch der Art *Fagus sylvatica* zugeordnet. Ihr Verbreitungsgebiet reicht von Spanien bis in den Iran und von Skandinavien bis nach Sizilien. Das Areal von *Fagus sylvatica* wird klimatisch durch Trockenperioden und Kontinentalität begrenzt. Der Jahresniederschlag im Verbreitungsgebiet beträgt in humiden Regionen mindestens 500 Millimeter, in sommertrockenen Gebieten mindestens 600 Millimeter. Sommerliche Trockenperioden über drei Monate schließen die Buche im Regelfall aus. Die natürliche Entwicklung der Buchenwälder in Europa und im Orient verläuft vorwiegend kleinflächig. Entsprechend angepasste Waldbauverfahren ermöglichen es, die natürliche biologische Vielfalt auch im Wirtschaftswald zu erhalten und wiederherzustellen.

Dr. Bernhard Felbermeier ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Waldbau der Technischen Universität München.  
[Felbermeier@lrz.tum.de](mailto:Felbermeier@lrz.tum.de)

Prof. Dr. Reinhard Mosandl leitet den Lehrstuhl für Waldbau der Technischen Universität München.

[Mosandl@forst.tu-muenchen.de](mailto:Mosandl@forst.tu-muenchen.de)

## IM RÜCKBLICK

### Tag der offenen Tür am Zentrum Wald-Forst-Holz



Foto: F. Mergler

Großer Andrang herrschte Ende Juli beim Tag der offenen Tür am Zentrum Wald-Forst-Holz. Tausenden Besuchern wurden in schönem naturverbundenen Ambiente spannende Ausstellungen, Vorträge, eine tolle Greifvogelschau und viele kulinarische Genüsse geboten.

Anlass für den erstmalig gemeinsam veranstalteten Tag der offenen Tür waren die Jubiläen der Hochschule Weihenstephan-Triesdorf (HSWT) und der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (LWF). Die HSWT wurde 40 Jahre alt, die LWF kann sogar auf stolze 130 Jahre zurückblicken.

Familien und Interessierte aus Freising und Umgebung nutzten die Angebote am Forstcampus, um mehr über die Themen Wald und Klima, Waldbewohner und Forstwirtschaft zu erfahren. Den wissenschaftlichen Rahmen bildeten Fachvorträge über aktuelle Auslandsprojekte in Ecuador und Äthiopien sowie politisch relevante Themen zum Klimawandel und nachwachsenden Ressourcen. Als besonderer Gast verriet die BR-Redakteurin Christine Schneider von der Sendung »Unser Land«, wie Themen rund um den Wald den Weg ins Fernsehen finden.

Vor den Augen zahlreicher Zuschauer fielen tausende Späne, als der Motorsägenkünstler Christian Herzog seine künstlerischen Fertigkeiten mit der Motorsäge präsentierte. So entstanden im Laufe des Tages mehrere kleine Tierskulpturen. Als Beweggründe für die etwas ungewöhnliche Freizeitbeschäftigung nannte der Künstler die Freude an der Arbeit mit Holz und die Möglichkeit, in kurzer Zeit mit der Motorsäge ein Kunstwerk zu schaffen.

Als Besuchermagnet erwiesen sich die beiden Falkner Sandra und Wolfgang Schreyer. Mit ihren fünf Greifvögeln boten sie eine spektakuläre Show voller atemberaubender Flugvorführungen und Jagdszenen. So konnten die Besucher unter anderem einen Lannerfalken, einen Schwarzen Milan und einen Weißkopfseeadler aus nächster Nähe bestaunen und in die Faszination der Falknerei eintauchen. Die Besucherkinder wurden sogar aktiv in die Show eingebunden: Sie durften die Vögel auf ihren Arm nehmen oder sich als Assistenten betätigen.

Viele bunte Stände waren rund um die Forstgebäude aufgebaut. Für jeden, ob alt oder jung, war etwas zum Bestaunen, zum Selbermachen und zum Lernen dabei.

Zur Stärkung gab es viele kulinarische Genüsse. Dicht gedrängt standen die Leute, um etwas von dem köstlichen Spanferkel zu ergattern. Im Angebot waren außerdem Grillspezialitäten, Wildschweingulasch sowie Kaffee und Kuchen zum Nachtisch.

Auch die Kinder kamen nicht zu kurz. Als Nachwuchsforscher konnten sie im Kinderlabor in die Welt der Wissenschaft eintauchen (siehe Foto). Für die Kleinen war Kinderschminken geboten und für die Mutigen stand ein acht Meter hoher Baum bereit, den sie wie die Baumkletterprofis erklimmen konnten.

Viele Studieninteressierte nutzen den Tag der offenen Tür und informierten sich über die verschiedenen Studiengänge der TU München und der Hochschule Weihenstephan-Triesdorf. Gerade in Zeiten des Atomausstiegs und der knapper werdenden natürlichen Ressourcen steigt die Nachfrage nach nachwachsenden Rohstoffen und ausgebildeten Fachkräften in diesen Bereichen.

Den Organisatoren gelang mit dem Tag der offenen Tür ein spannender und abwechslungsreicher Tag, bei dem auch die bayerische Waldprinzessin Eva Ritter, die selbst Forststudentin der TU München ist, anwesend war.

### 22. Weihenstephaner Forsttag: »Bachelor trifft Arbeitsmarkt«

Mit Ende des Sommersemesters 2011 verabschiedete die Fakultät Wald und Forstwirtschaft der Hochschule Weihenstephan-Triesdorf ihre ersten Bachelor-Absolventen. Der Bachelor wurde im Rahmen des europäischen Bologna-Prozesses als Nachfolger des Dipl. Ingenieurs (FH) eingeführt. Dekan Professor Andreas Rothe stellte den Studienablauf und die aktuelle Absolventenbefragung vor. Die Ergebnisse zeugen von einer hohen Berufszufriedenheit, über 80 Prozent arbeiten nah am klassischen Forstbereich und würden wieder Forstwirtschaft an der HSWT studieren.

Die Vertreterin der Studenten, Silvia Backhaus, stellte das Studium aus ihrer Sicht da. Die Studenten des Bachelorstudiengangs eigneten sich in sechs theoretischen Semestern mit insgesamt 47 Prüfungen ein umfangreiches Fachwissen an. Dieses wird im Praxissemester und im achtwöchigen Praxisprojekt vertieft und umgesetzt. Die Ausbildungsinhalte sind denen des ehemaligen Diplomstudienganges sehr ähnlich, so dass die Absolventen beider Studiengänge annähernd gleich qualifiziert seien.

Dies sahen die Teilnehmer der anschließenden Podiumsdiskussion ähnlich. Deshalb sei nicht der Abschluss, sondern der Absolvent und seine Leistungen entscheidend für einen guten Start in das Berufsleben. Das Podium bestand aus Arbeitgebervertretern der Forstverwaltung, der Bayerischen Staatsforsten, der Waldbesitzervereinigungen, der Gemeindewälder, der Industrie und der Entwicklungshilfe. Sie alle wünschen sich neben dem fachlich gut ausgebildeten Förster einen Mitarbeiter mit großer sozialer Kompetenz.

Alle Organisationen bescheinigten den Bachelorabsolventen aktuell gute Chancen für den Berufseinstieg.

red

## AUS DEM ZENTRUM WALD-FORST-HOLZ

### ZWFH unterstützt »International Leadership Training« der GIZ



Seit Januar 2011 bündelt die Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) die Kompetenzen und langjährigen Erfahrungen des Deutschen Entwicklungsdienstes (DED), der Deutschen Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) und der Internationalen Weiterbildung und Entwicklung gGmbH (InWEnt) unter einem Dach. Im Rahmen des GIZ-Trainingsprogramms besuchten Anfang August künftige Nachwuchsführungskräfte aus China, Tadschikistan, Nepal und Pakistan auch das Forstzentrum und informierten sich dort ausführlich über dessen Struktur und Ressourcen.

enders

### Professor Volker Zahner wird neuer Dekan an der HSWT



Professor Dr. Volker Zahner übernimmt mit Beginn des Wintersemesters 2011/12 das Amt des Dekans der Fakultät Wald und Forstwirtschaft der Hochschule Weihenstephan-Triesdorf. Sein Vorgänger Prof. Dr. Andreas Rothe bleibt als Prodekan in der Fakultätsleitung. Der von der Fakultät eingeschlagene Kurs bleibt durch den Wechsel unberührt.

mergler

### Thomas Lutz: Neuer Mitarbeiter an der HSWT



Thomas Lutz unterstützt die Lehre an der Fakultät Wald und Forstwirtschaft. Zu seinen Aufgaben gehört die Vorbereitung und Durchführung von Praktika, die Betreuung der Versuchsflächen sowie die Mitwirkung in der Lehre. Thomas Lutz, der Mitte der neunziger Jahre selbst an der Hochschule Weihenstephan-Triesdorf (HSWT) Forstwirtschaft studiert hatte, betreut auch die Versuchsflächen der Fakultät. Zuvor war Lutz sechs Jahre lang Revierleiter eines Privat- und Körperschaftswaldreviers am Amt für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten in Ingolstadt. Nun gibt er seine Erfahrungen als Praktiker an die Studierenden weiter.

mergler

## AUS DER LESEECKE

### Waldtypen, Vegetation und Klimawandel

»Waldtypen, Vegetation und Klimawandel im Vinschgau, einem inneralpinen Trockental«, so lautet der Titel einer Broschüre, die die Beiträge der Tagung der Arbeitsgemeinschaft Forstliche Standort- und Vegetationskunde (AFSV) zusammenfasst, die im Jahr 2011 im südtiroler Vinschgau stattfand. Hauptthema und zentrale Frage war, wie wohl die Waldbäume auf die Klimaerwärmung reagieren werden. Mit seinen Kontrasten zwischen Weinbauklima und Gletschern ist der Vinschgau der ideale Ort, um über den Wald im Klimawandel zu diskutieren. 13 Fachautoren – Heinz Wanner, Thomas Wilhelm, Christoph Hintner, Jörg Ewald, Markus Wallner,

Birgit Reger, Franz Klaushofer, Andreas Rigling, Matthias Dobbertin, Christian Kölling, Ralf Klosterhuber, Imelda Ellecosta und Georg Pircher – haben sich eingehend mit dieser Thematik beschäftigt. Herausgegeben hat diese Broschüre Prof. Dr. Jörg Ewald, der an der Hochschule Weihenstephan-Triesdorf Botanik und Vegetationskunde lehrt.

red

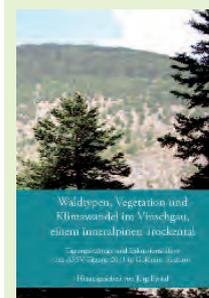
Jörg Ewald

### Waldtypen, Vegetation und Klimawandel im Vinschgau, einem inneralpinen Trockental

Verlag Kessel, 118 Seiten mit 17 Farb- und 24 S/W- Abbildungen

ISBN: 978-3-941300-45-3

Preis: 19,00 Euro



# Sommer mit gemischten Gefühlen

WKS-Witterungsreport: Unbeständig feucht-kühler Juli und warmer August

Lothar Zimmermann und Stephan Raspe

Nachdem bisher alle Monate in diesem Jahr zu warm ausgefallen waren, wurde es im Juli endlich wieder einmal zu kalt. Unbeständiges Tiefdruckwetter brachte bis zu 40 Prozent mehr Regen als normal und sorgte für zahlreiche Unwetter. Im August setzte sich bei höheren Temperaturen (+1,5 Grad) die Neigung zu Blitz, Donner und Hagel fort. Dafür gab es aber auch einige Sommertage.

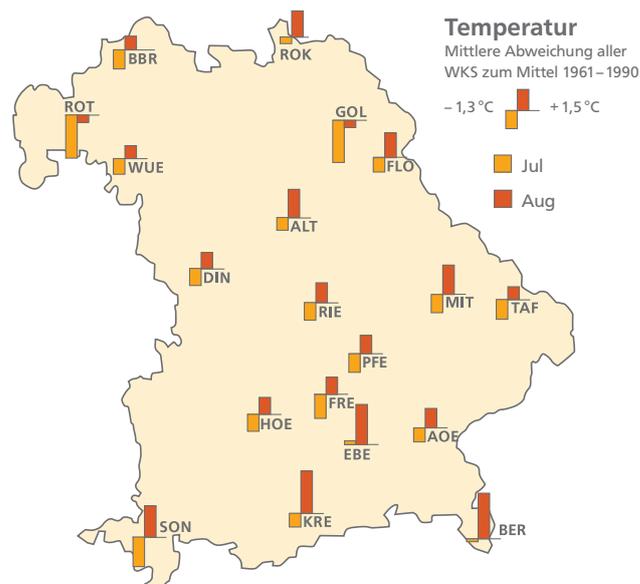
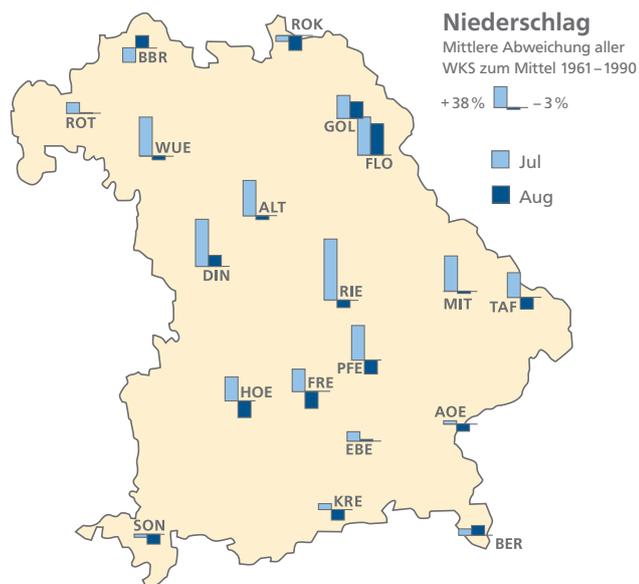
Für den Wald sorgte die unbeständige Witterung in beiden Monaten mit vielen Schauern für ein üppiges Wasserangebot aus der Atmosphäre.

## Juli: »Wann wird's mal wieder richtig Sommer«

So nach dem Schlager von Rudi Carell aus dem Jahr 1975 kann man diesen Juli kurz charakterisieren. Auch die Landwirte mussten ihre Hoffnungen auf gutes Heuwetter trotz eines sonnigen Siebenschläfertages begraben. Für alle an der Meteorologie Interessierten war der Juli jedoch wegen seiner Starkniederschläge, tennisballgroßen Hagelkörner und sogar Tornados eher spannend und abwechslungsreich.

Klimatologisch war der Juli der erste Monat in diesem Jahr, der zu kalt ausgefallen ist und auch noch zu wenig Sonnenschein hatte. Während der Juni im Mittel nur »etwas zu nass« war, gab es nun Rekordniederschläge zu verzeichnen. Zu Anfang des Monats war Unbeständigkeit das einzige Beständige. Unter einer Westwetterlage wechselten sich Tiefs und Hochs

in lockerer Folge ab. Der tiefe Luftdruck wich auch nicht in der zweiten Monatshälfte. Die Hundstage zum Monatsende, die häufig zu den wärmsten Tagen des Jahres zählen, wollten sich ebenfalls nicht einstellen. Am 10. Juli fielen im Chiemgau Hagelkörner in der Größe von Tischtennisbällen. Am 12. wüteten besonders in Niederbayern Unwetter, wobei sich sogar in der Nähe von Plattling ein Tornado bildete. Mit Windgeschwindigkeiten zwischen 120 bis 180 Kilometern pro Stunde knickte der Tornado Bäume und Überlandleitungen und deckte Dächer ab. Die Kaltfront sorgte für eine deutliche Abkühlung. Am Alpenrand war bei *Schnürlregen-Wetter* mit 13 Grad in den Tälern und 6 Grad in 1.800 Meter Höhe eher ein wärmender Jagertee in der Hütte als ein Weißbier im Biergarten angesagt. Nachfolgend sorgte ein Höhentrog, der bis ins Mittelmeer reichte, weiter für den Zustrom von Tiefs. Eines der Tiefs mit einer nahezu kreisrunden Zugbahn über Mitteleuropa (Nordatlantik-Mittelmeer-Mitteleuropa-Osteuropa) sorgte vom 19. bis zum 24. Juli für viel Regen. Als Spitzenwert wurden an der Waldklimastation Altdorf bei Nürnberg am 20. Juli 68 Liter pro Quadratmeter gemessen. Wegen der starken



Positive Abweichung  
Negative Abweichung

SON Kürzel für die Waldklimastationen (siehe Tabelle)

Niederschläge in Mittelfranken musste sogar die Autobahn A73 zwischen Nürnberg und Forchheim wegen Überflutung einen Tag lang gesperrt werden.

Ganz im Gegenteil zum heißen Juli des letzten Jahres fiel der Juli heuer 1,3 Grad kälter aus als im langjährigen Mittel. Auf Grund der häufigen Unwetter und des Tiefdruckeinflusses fielen 38 Prozent mehr Regen als normal. Kein Wunder, dass sich die Sonne daher rund ein Fünftel seltener zeigte als üblich.

## August im Aprilkleid

Zwar war der August im klimatologischen Mittel doch deutlich wärmer als normal, gleichzeitig aber auch unbeständig und teilweise schon von herbstlichem Charakter geprägt. In der ersten Augustdekade fühlte man sich zeitweise in einen typisch unbeständigen April versetzt. Zwischen einem skandinavischen Tiefdruckgebiet und einem Hochdruckgebiet über dem Ostatlantik gelangte kalte Luft aus polaren Breiten nach Mitteleuropa. Da es in höheren Luftschichten ungewöhnlich kalt war, betrug die Temperaturdifferenz zwischen der Luft am Erdboden und der in 5.500 Meter Höhe zum Teil 40 Kelvin, was die Entstehung von kurzen Gewittern und kräftigen Schauern begünstigte. Da dabei am Boden und in höheren Luftschichten ein kräftiger Wind wehte, zogen diese Schauer und Gewitter recht schnell über das Land und machten teilweise in wenigen Minuten Platz für blauen Himmel und Sonnenschein. Die aus polaren Breiten stammende Luftmasse war außerhalb der Schauer ziemlich trocken. Die relative Luftfeuchtigkeit ging zwischen den Regenschauern zum Teil bis auf 40 Prozent zurück. Dadurch gab es auch eine gute Fernsicht von gebietsweise mehr als 50 Kilometern. Dieses Wechselspiel führte dann zu dem Aprilwettercharakter der ersten Augushälfte. Zur Monatsmitte wurde es wieder etwas wärmer, blieb jedoch weiterhin unbeständig, da sich Tiefdruckgebiete mit kurzen Zwischenhochs abwechselten. Danach nahm der Hochdruckeinfluss zu, es blieb nun an mehreren Tagen trocken und hochsommerliche Temperaturen von über 30 °C wurden erreicht. In der letzten August-Dekade strömte heiße Luft tropischen Ursprungs nach Bayern. Dadurch wurden sogar bisherige Temperaturrekord für die letzte Monatsdekade übertroffen. Auch die höchsten Sommertemperaturen 2011 wurden im August gemessen: Mit 34,4 °C wies die Waldklimastation Altötting am 23. August die höchste Temperatur aller Waldklimastationen auf. Leider gab es in dieser schwülheißen Luft zwischen dem 22. und 26. August auch heftige Gewitter mit Sturm und Hagel. Der nachfolgende Wetterumschwung zum Monatsende »katapultierte« uns dann direkt in den gefühlten Herbst! Vom 26. auf den 27. gab es an den Waldklimastationen einen Temperatursturz von bis zu 23 Kelvin. An der Waldklimastation Sonthofen wurde morgens der monatliche Tiefstwert von 3,0 °C gemessen.

Der August war wieder etwas wärmer als normal (+1,5 Grad), dafür fiel an den Waldklimastationen nur rund 3 Prozent weniger Niederschlag als üblich. Die Sonne schien mit 233 Stunden rund 15 Prozent länger als im langjährigen Mittel. Eine alte Bauernregel besagt: »Bringt der August viel Ge-

Mittlere Lufttemperatur und Niederschlagssumme an den Waldklimastationen sowie der Wetterstation Taferlruok

Klimastation	Höhe m ü. NN	Juli		August	
		Temp °C	NS l/m <sup>2</sup>	Temp °C	NS l/m <sup>2</sup>
Altdorf (ALT)	406	15,8	145	18,4	80
Altötting (AOE)	415	15,7	126	17,6	114
Bad Brückenau (BBR)	812	12,5	75	14,9	114
Berchtesgaden (BER)	1500	11,4	185	14,8	195
Dinkelsbühl (DIN)	468	14,6	110	16,7	78
Ebersberg (EBE)	540	15,2	145	17,4	124
Flossenbürg (FLO)	840	13,1	139	15,7	125
Freising (FRE)	508	15,0	143	17,7	68
Goldkronach (GOL)	800	11,0	124	13,3	113
Höglwald (HOE)	545	15,8	156	18,5	81
Kreuth (KRE)	1100	12,3	241	16,3	175
Mitterfels (MIT)	1025	12,0	207	15,1	137
Pfeffenhausen (PFE)	492	15,9	148	18,6	73
Riedenburg (RIE)	475	15,0	147	17,4	63
Rothenkirchen (ROK)	670	13,5	68	15,6	61
Rothensbuch (ROT)	470	12,5	84	14,8	76
Sonthofen (SON)	1170	11,6	250	15,6	211
Taferlruok (TAF)	770	12,7	190	14,7	94
Würzburg (WUE)	330	15,8	104	17,5	60

witter, wird der Winter kalt und bitter!« Warten wir also mal ab, wie sich der Winter 2011/12 heuer präsentieren wird.

Kurz noch zum Sommer 2011 mit seinen Monaten Juni, Juli und August: Er war in Bayern nahe dem Durchschnitt, mit einer Lufttemperatur von 15,9 °C lag er nur 0,7 Grad über dem langjährigen Mittel. Gleichzeitig gab es mit 338 Litern pro Quadratmeter etwas mehr Regen (+6 %) und mit 583 Stunden etwas weniger Sonnenschein (-8 %) (DWD 2011a). Aber schon diese kleinen Abweichungen reichten wohl für die meisten Menschen aus, um ihn in schlechter Erinnerung zu behalten. Der Wald hingegen dürfte ihn durch die regelmäßigen Niederschläge und wachstumsfördernden Temperaturen angenehm empfunden haben, wenn ihm nicht gerade Hagel oder Sturmböen lokal zugesetzt haben.

## Literatur

DWD (2011a): *Witterungsreport Express. Juli + August 2011*

DWD (2011b): *Agrarmeteorologischer Witterungsreport Juli + August 2011*

Dr. Lothar Zimmermann und Dr. Stephan Raspe sind Mitarbeiter in der Abteilung »Boden und Klima« der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft. [Lothar.Zimmermann@lwf.bayern.de](mailto:Lothar.Zimmermann@lwf.bayern.de), [Stephan.Raspe@lwf.bayern.de](mailto:Stephan.Raspe@lwf.bayern.de)

# Nasse Füße und volle Gläser

Bodenwasserspeicher über weite Strecken in diesem Sommer randvoll

Stephan Raspe und Winfried Grimmeisen

**Reichlich Niederschlag und kühle Temperaturen ließen die Wasservorräte in den Waldböden im Juli überall ansteigen. Vielfach waren die Wasserspeicher vollständig gefüllt, so dass die Baumwurzeln sprichwörtlich nasse Füße bekamen. Als das Wetter Mitte August wieder auf Hochsommer schwenkte, stand daher für den aufkommenden Durst der Bäume ausreichend Wasser zur Verfügung. Sie konnten sozusagen »aus vollen Gläsern trinken«.**

Die regenreiche und relativ kühle Witterung im Juli und in der ersten Augusthälfte (Zimmermann und Raspe, S. 30–31 in diesem Heft) hinterließ auch ihre Spuren in der Bodenfeuchte. Dadurch gab es in diesem Sommer zu keiner Zeit Engpässe in der Wasserversorgung der Waldbäume. Im Gegenteil: Zum Teil waren die Wasserspeicher übervoll, so dass die Wurzeln im wassergesättigten Boden um Luft ringen mussten. Und auch für eine kräftige Grundwasserspense war gesorgt. Damit setzte sich der schon im Juni beobachtete Trend steigender Bodenwasservorräte (Raspe und Grimmeisen 2011) weiter fort. Erst als sich in der zweiten Augusthälfte wieder hochsommerliches Wetter einstellte, kam auch die Transpiration der Bäume wieder in Fahrt. Auf Grund der hohen Wasservorräte im Boden konnten sie dabei aus dem Vollen schöpfen. Die Transpiration war zu keiner Zeit eingeschränkt.

## Volle Wassersättigung in Mitterfels

Volle Wassersättigung des Waldbodens während des gesamten Sommers wurde an der Waldklimastation (WKS) Mitterfels im Bayerischen Wald beobachtet. Der Wasservorrat im gesamten durchwurzelteten Boden lag immer um oder über 270 Liter pro Quadratmeter ( $l/m^2$ ) und damit über der Feldkapazität. Häufig waren sogar Grobporen mit Wasser gefüllt, so dass auch ein erheblicher Teil der Niederschläge in das Grundwasser versickern konnte. Für den Wald bedeutete das, dass es zu keiner Zeit Engpässe in der Wasserversorgung gab, während empfindliche Arten, wie zum Beispiel die Fichte, möglicherweise leichte Probleme mit der Luftversorgung der Feinwurzeln bekommen hätten. Für die an der WKS Mitterfels stehenden Buchen dürfte das jedoch weniger problematisch gewesen sein, da diese Art nicht so empfindlich gegenüber Luftmangel ist wie die Fichte.

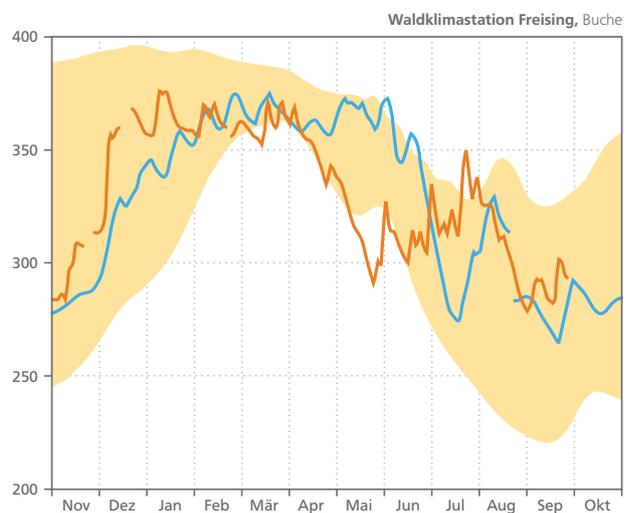
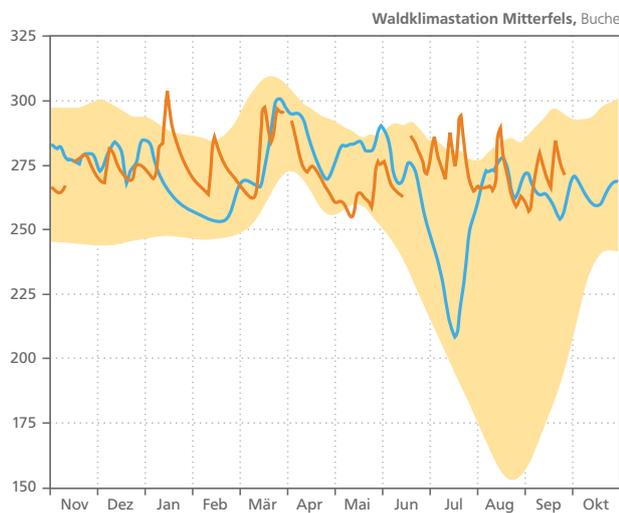
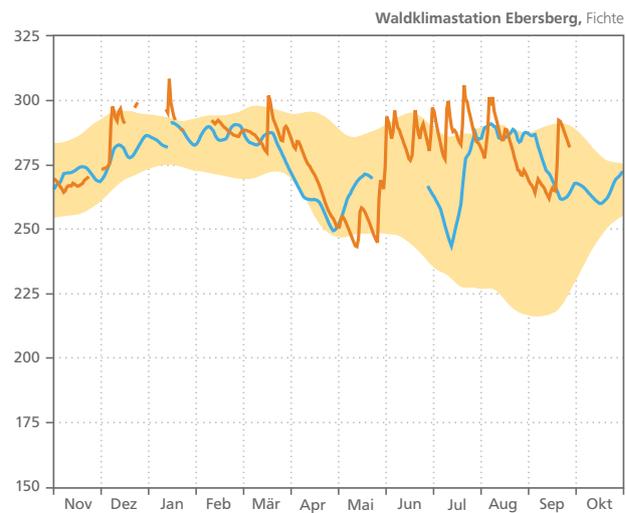
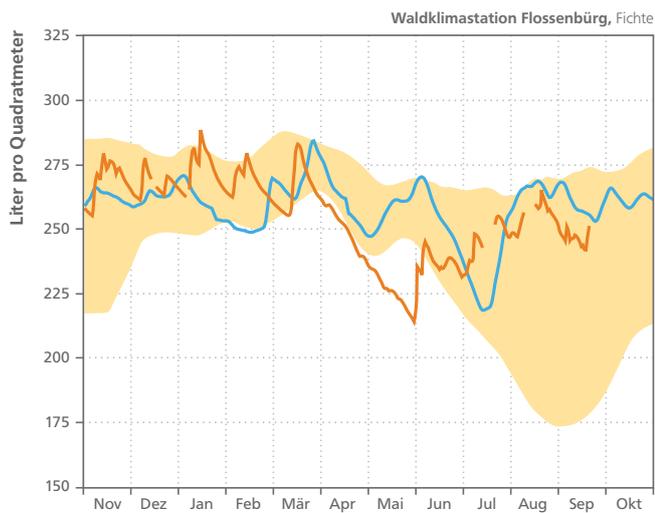
## Sättigung und Transpiration in Flossenbürg

Auch an unserem zweiten Mittelgebirgsstandort bei Flossenbürg im Oberpfälzer Wald füllten sich die Bodenwasserspeicher im Verlauf des Julis und in der ersten Augusthälfte vollständig auf. Erst ab dem 20. August kehrte sich der Trend der Bodenfeuchtekurve um und die Wasservorräte im Boden gingen innerhalb von zwei Wochen um etwa  $20 l/m^2$  zurück. Die tägliche Transpirationsrate der Fichten stieg auf knapp  $1,5 l/m^2$  an. Das sind zwar etwas niedrigere Werte, wie wir sie an diesem Standort auch im letzten Sommer gemessen haben (Raspe und Grimmeisen 2010), die Transpiration dürfte jedoch auf Grund der guten Wasserversorgung dennoch nicht eingeschränkt gewesen sein. Vielmehr waren die atmosphärischen Bedingungen in diesem Sommer in den Hochlagen der Mittelgebirge für eine höhere Transpiration nicht ausreichend.

## Luftmangel für Fichtenwurzeln in Ebersberg

Ähnliche Transpirationsraten wiesen auch die Fichten an der Waldklimastation in Ebersberg in der Münchner Schotterebene auf. Hier ging der Bodenwasservorrat vom 17. August bis zum 4. September um  $24 l/m^2$  zurück. Das entspricht wiederum einem täglichen Wasserverbrauch mindestens  $1,4 l/m^2$ . Berücksichtigt man die in diesem Zeitraum gefallenen Niederschläge, so kommt man auf etwa dieselbe Transpirationsrate, wie wir sie im letzten Jahr an diesem Standort gemessen haben (Raspe und Grimmeisen 2010). Im gesamten Juli bis Mitte August war der Bodenwasserspeicher jedoch auch hier vollständig gefüllt, so dass auch in der Münchner Schotterebene von Luftproblemen für die Fichtenwurzeln, aber auch von einer reichhaltigen Grundwasserspense in diesem Sommer ausgegangen werden kann.

Wasservorrat im Gesamtboden



— 2010/11    Wertebereich 2000 – 2009  
— 2009/10

Die EU förderte die Bodenfeuchtemessungen an den Waldklimastationen vom 1. Januar 2009 bis 30. Juli 2011 im Rahmen des Life+ Projektes FutMon.



Literatur

Raspe, S.; Grimmeisen, W. (2010): *Hitzesommer ließ Wälder »schwitzen«*. LWF aktuell 78, S. 48–49

Raspe, S.; Grimmeisen, W. (2011): *Ende der Austrocknung*. LWF aktuell 84, S. 36–37

Gute Bedingungen in Freising

An der im Tertiärhügelland gelegenen Waldklimastation bei Freising war der Bodenwasserspeicher auch im Juli lange Zeit noch nicht gefüllt. Erst gegen Ende Juli erreichte die Bodenfeuchte hier kurzzeitig Feldkapazität. Luftmangel für die Baumwurzeln kann hier daher weitgehend ausgeschlossen werden. Auf Grund der hohen Transpirationsleistung der Buche gingen die Bodenwasservorräte ab Anfang August innerhalb von 24 Tagen um knapp 50 l/m<sup>2</sup> wieder deutlich zurück. Einschränkungen in der Wasserversorgung waren jedoch auch hier auf Grund der vollen Bodenwasserspeicher nicht zu befürchten.

Dr. Stephan Raspe und Winfried Grimmeisen sind Mitarbeiter in der Abteilung »Boden und Klima« der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft. [Stephan.Raspe@lwf.bayern.de](mailto:Stephan.Raspe@lwf.bayern.de), [Winfried.Grimmeisen@lwf.bayern.de](mailto:Winfried.Grimmeisen@lwf.bayern.de)

# Energiewald unter Dauerbeobachtung

Seit zwei Jahren werden in Kaufering die Auswirkungen einer Kurzumtriebsplantage auf die Grundwasserneubildung und die Trinkwasserqualität untersucht

Martina Zacios, Jörg Niederberger und Christoph Schulz

**Anfang 2009 startete das Projekt »Hydrologische, faunistische und ertragskundliche Aspekte eines neu begründeten Energiewaldes in Kaufering«. Die LWF begleitet mit ihren Untersuchungen einen Teil des Nachhaltigkeitskonzepts der Gemeinde Kaufering, welches unter anderem die Begründung von Energiewäldern in einem Trinkwasserschutzgebiet vorsieht. Im Vergleich zum konventionellen Ackerbau wird von der Extensivierung der Bewirtschaftung eine verbesserte Qualität des Trinkwassers erwartet und zusätzlich eine ökologische Aufwertung der Flächen erhofft.**

Die Bayerische Staatsregierung beschloss am 24. Mai 2011 das Bayerische Energiekonzept »Energie innovativ«. Das Energiekonzept sieht unter anderem den Ausbau der Kraft-Wärme-Koppelung (KWK) vor. Solche KWK-Anlagen produzieren aus Biomasse, beispielsweise Hackschnitzeln aus Kurzumtriebsplantagen, sowohl Wärmeenergie als auch Strom. Im hier vorgestellten Projekt werden die Auswirkungen einer Kurzumtriebsplantage (KUP, vgl. Kasten) auf den Wasser- und Stoffhaushalt sowie auf die ökologische Artenzusammensetzung unter anderem von Laufkäfern, Spinnen und Regenwürmern im Vergleich zur konventionellen landwirtschaftlichen Nutzung untersucht. An dieser Stelle soll jedoch ausschließlich auf die hydrologischen Untersuchungen eingegangen werden.

## Kurzumtriebsplantagen (KUP)

KUPs dienen zur Erzeugung von Brennholz, weshalb sie oft auch als Energiewälder bezeichnet werden. Im Frühjahr werden circa 15 Zentimeter lange Stecklinge auf einer landwirtschaftlichen Fläche in den Boden eingebracht. Die verwendeten Baumarten, vor allem Pappeln, Weiden und Robinien, zeichnen sich durch ein rasches Jugendwachstum aus. Bereits nach drei bis acht Jahren – abhängig vom Standort, von der Baumart und dem gewünschten Ernteverfahren – sind die Bäume »erntereif«. Sie werden in Bodennähe abgeschnitten, also auf den Stock gesetzt, und meist zu Hackschnitzeln oder Pellets weiterverarbeitet. Die im Boden verbleibenden Stöcke treiben im Frühjahr nach der Ernte erneut aus. Die neuen Triebe profitieren dabei vom bereits vorhandenen Wurzelstock, der sie sofort optimal mit Wasser und Nährstoffen versorgen kann. Dieser Zyklus kann ohne zusätzliche Düngergaben drei bis fünfmal wiederholt werden. Da eine KUP rechtlich weiter als landwirtschaftliche Fläche und nicht als Aufforstung betrachtet wird, kann das Areal ohne Weiteres nach der letzten Ernte wieder in eine Ackerfläche rückgewandelt werden.

Pro Jahr und Hektar können mit der Wärme aus Hackschnitzeln 5.000 – 6.000 Liter Heizöl ersetzt werden. Dies bedeutet eine Einsparung von circa 15 Tonnen CO<sub>2</sub>-Emission pro Jahr und Hektar. In Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen wird aus den Hackschnitzeln neben Wärme zusätzlich auch Strom produziert.

## Instrumentierung und erste Ergebnisse

Im Zentrum unserer hydrologischen Untersuchungen stehen zwei Fragestellungen. Zum einen, ob sich die Sickerwasserqualität unter einer landwirtschaftlich intensiv genutzten Fläche durch die Anlage einer Kurzumtriebsplantage verbessert und zum anderen, ob sich die geänderte Landnutzung auf die Menge des auf der Fläche neu gebildeten Grundwassers auswirkt. Um diese Effekte quantifizieren zu können, wurde im Sommer 2009 auf der KUP- sowie auf der Ackerfläche je ein drei Meter tiefer und zwei Meter breiter Messschacht eingebaut (Abbildung 1). In den Schächten werden seit Herbst 2009 kontinuierlich Bodenfeuchten in fünf Tiefen gemessen sowie Sickerwasserproben mittels Saugkerzen gewonnen. Um neben den am Schacht gemessenen Daten die räumliche Streuung der Sickerwasserkonzentrationen zu erfassen, wurden im Frühjahr 2011

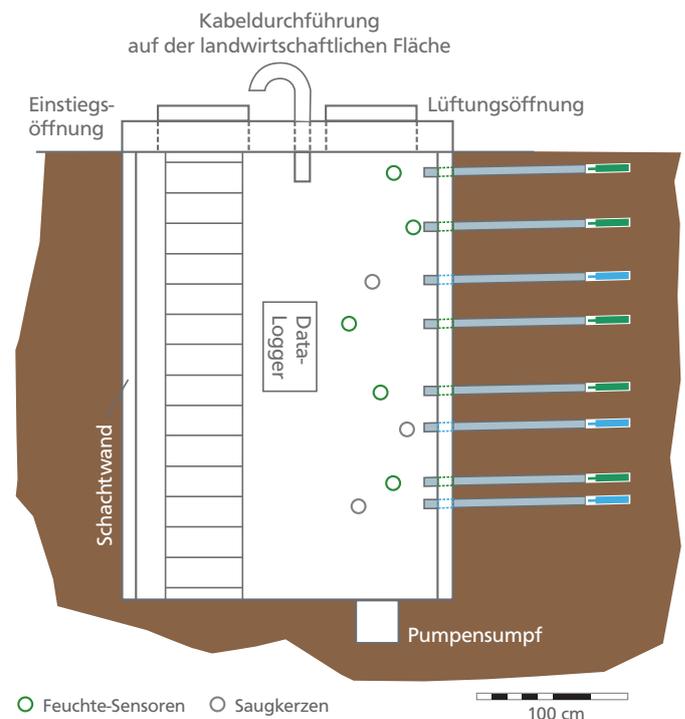


Abbildung 1: Skizze des Messschachts mit Lage der eingebauten Feuchtesensoren und Saugkerzen



Foto: J. Niederberger

Abbildung 2: In der Pappelplantage wird der Bestandesniederschlag in zwei Rinnen gesammelt und in einen Auffangbehälter geleitet.

zusätzlich 25 Saugkerzen in 85 Zentimeter Tiefe über beide Flächen verteilt. Auf einer benachbarten Freifläche wird in drei Depositionssammlern der Niederschlag aufgefangen, um den Stoffeintrag (nasse Deposition) auf die Flächen zu bestimmen. Der Anteil des Niederschlags, der tatsächlich unter den Bäumen auf dem Boden ankommt, wird mit Hilfe zweier Bestandesniederschlagsrinnen erfasst (Abbildung 2). Auch dieses Wasser wird auf seine Inhaltsstoffe hin untersucht.

### Bodenwassergehalt

Über die Bodenverhältnisse (Korngrößenverteilung, Lagerungsdichte etc.) lässt sich die Feldkapazität (FK) des Bodens bestimmen, also die Menge an Wasser, die der Boden gegen die Schwerkraft halten kann. Die nutzbare Feldkapazität eines Bodens (nFK) ist wiederum der Anteil des Bodenwassers, der schließlich auch von den Pflanzen aufgenommen werden kann.

Aus den gemessenen Wassergehalten lässt sich berechnen, welcher Teil der potentiellen nFK tatsächlich mit Wasser gefüllt ist. In Abbildung 3 ist der zeitliche Verlauf dieser effektiv nutzbaren Feldkapazität aufgetragen. Die Unterschiede zwischen KUP und Acker sind deutlich zu erkennen. Auf dem Acker wurde im Herbst 2009 Sommergerste geerntet und Wintergerste ausgesät. Schon zu Beginn der Messungen ist zu sehen, dass die Pappeln dem Boden im Sommer mehr Wasser entziehen als die Ackerfrucht. Über den Winter 2009/2010 füllt sich der Bodenwasserspeicher beider Böden wieder auf, da der Wasserentzug durch die Vegetation ausbleibt. Im Frühjahr setzt zunächst die Wintergerste mit der Wasseraufnahme ein, wohingegen die Pappel erst wenige Blätter ausgebildet hat und kaum Wasser verbraucht. Während einer kleinen Trockenperiode im Juli macht sich die nun große Blattfläche der Pappel deutlich bemerkbar, der Wasserentzug ist jetzt stärker als auf dem Acker. Noch klarer ist dieser Effekt nach dem feuchten August zu sehen. Während auf dem Acker die Gerste bereits abgeerntet ist und kein Wasser mehr entzogen wird, steht die Pappel noch voll im Laub

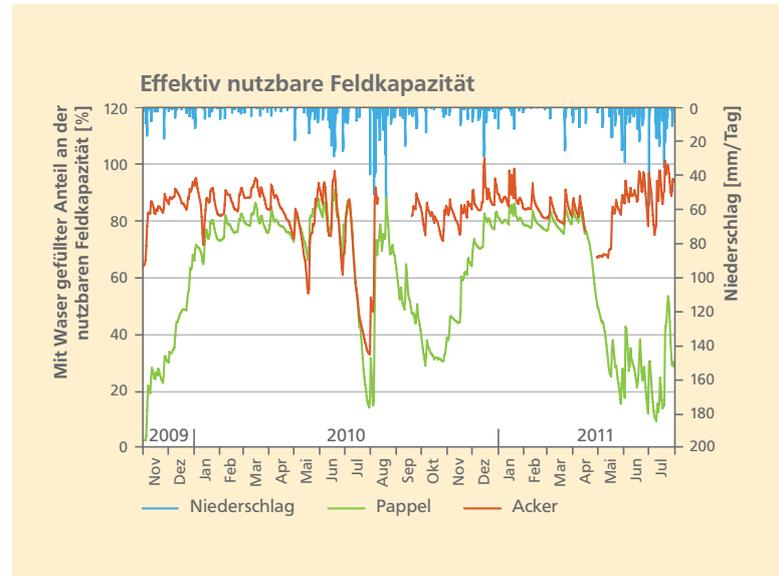


Abbildung 3: Anteil der mit Wasser gefüllten nutzbaren Feldkapazität (nFK); Erläuterungen im Text

und transpiert große Mengen an Wasser. Über den Winter 2010/2011 füllen sich die Bodenwasserspeicher wieder. Noch stärker als im Vorjahr ist ab April 2011 der Wasserentzug durch die Pappel zu erkennen. Im Acker wiederum – zu diesem Zeitpunkt mit Mais bestellt – wird der Bodenwasserspeicher durch die starken Regenfälle und den geringen Wasserentzug der noch kleinen Maispflanzen deutlich aufgefüllt.

Der verstärkte Wasserverbrauch durch die Pappel kann mit ihrer größeren Blattfläche, ihren tiefer reichenden Wurzeln sowie der längeren Vegetationsperiode erklärt werden. Mit einem Wasserhaushaltsmodell wird u. a. die Menge des unter den beiden Flächen versickernden Wassers berechnet. Zum jetzigen Zeitpunkt ist davon auszugehen, dass sich der höhere Wasserbedarf der Bäume auch in einer verringerten Grundwasserneubildung widerspiegelt.

### Stoffhaushalt

Kurzumtriebsplantagen müssen, anders als landwirtschaftlich intensiv genutzte Flächen, nicht gedüngt werden. Ob und wie sehr sich die Extensivierung der Landnutzung auf die Qualität des Sickerwassers auswirkt wird anhand von Bodenwasserproben untersucht. Die Proben werden aus 85, 185 und unter Pappel zusätzlich aus 235 Zentimeter Tiefe gewonnen und auf ihren Gehalt der wichtigsten Nährelemente hin untersucht. In Tabelle 1 sind die durchschnittlichen Konzentrationen im Sickerwasser dargestellt.

Die pH-Werte der beiden Flächen unterscheiden sich kaum. Auf Grund der regelmäßigen Kalkzufuhr auf der Ackerfläche liegt die Sickerwasserkonzentration von *Calcium* in beiden Tiefen deutlich über den Konzentrationen der Pappelfläche. Im Gegensatz dazu ist die *Magnesium*konzentration in 85 Zentimeter Tiefe unter Acker deutlich geringer. Möglicherweise ist dies mit dem Nährstoffentzug durch die Ernte zu erklären. In den größeren Tiefen unterscheiden sich die Magnesiumkonzentrationen kaum. Für *Kalium* und *Sulfat* zeigt sich

Tabelle 1: Stoffgehalte im Sickerwasser unter der Ackerfläche und unter der KUP

Nutzungsart	Tiefe [cm]	pH-Wert	Calcium [mg/l]	Magnesium [mg/l]	Kalium [mg/l]	Sulfat [mg/l]	Phosphor [mg/l]	Nitrat [mg/l]
Acker	85	8,3	130,6	19,4	5,33	23,10	0,074	115,5
	185	8,2	106,3	28,4	0,80	17,89	0,056	91,4
Pappel	85	8,4	77,7	24,3	0,21	1,45	0,061	11,3
	185	8,4	73,5	27,7	0,15	1,30	0,052	30,1
	235	8,4	68,1	25,2	0,13	0,77	0,059	40,3

wieder der Effekt der Düngung auf der landwirtschaftlichen Fläche. Die Konzentrationen im Sickerwasser sind unter Acker gegenüber den Konzentrationen unter Pappel in allen Tiefenstufen deutlich erhöht. Die *Phosphorkonzentrationen* unterscheiden sich kaum, weder in den verschiedenen Tiefenstufen noch zwischen den beiden Flächen. Die Phosphordüngung auf der Ackerfläche macht sich nicht in der Bodenlösung bemerkbar. Der Grund hierfür ist die geringe Mobilität von Phosphor und seine Fixierung im Boden bei hohen pH-Werten.

Für *Nitrat* gibt die deutsche Trinkwasserverordnung einen Grenzwert von 50 Milligramm pro Liter [mg/L] vor, die EU-Wasserrahmenrichtlinie gibt einen Wert von unter 25 mg/L als erstrebenswert an. Die Nitratkonzentration der Trinkwasserfassung, in dessen Einzugsgebiet sich die Untersuchungsflächen befinden, deutet auf eine hohe Grundbelastung des Gebietes hin. Sie weist stabil Werte von rund 30 mg/L auf. Die Nitratkonzentration unter der Kurzumtriebsplantage liegt in 85 Zentimeter Tiefe seit Beginn der Messungen nahezu durchgehend unter 10 mg/L. Im Verlauf des Jahres 2010 nahm allerdings die bestehende Bodenvegetation auf Grund der zunehmenden Beschattung durch die Pappeln sukzessive ab. Dieses organische Material wurde zusammen mit der anfallenden Laubstreu zersetzt und im Winter nicht wieder über die Vegetation aufgenommen. Die Nitratwerte in 85 cm Tiefe stiegen kurzfristig bis auf 40 mg/L an, gingen aber mit einsetzendem Nährstoffentzug der Pappeln im Frühjahr 2011 wieder auf knapp 4 mg/L zurück. In den beiden größeren Tiefen wurden zu Beginn der Messreihe, circa eineinhalb Jahre nach der Begründung der KUP, sehr hohe Nitratkonzentrationen um 90 mg/L (185 cm) bzw. 175 mg/L (235 cm) gemessen. Diese Nitrat auswaschung wurde sehr wahrscheinlich durch den Grünlandumbruch bei Bestandsgründung verursacht. Seitdem zeigen die Konzentrationen jedoch für beide Tiefenstufen rückläufige Werte, sie sind mittlerweile auf knapp 20 mg/L zurückgegangen.

Eindeutig erhöht sind die durchschnittlichen Nitratkonzentrationen im Sickerwasser unter der landwirtschaftlichen Fläche. Um jedoch endgültige Aussagen treffen zu können, müssen die Analysen der zusätzlich auf der Fläche gewonnenen Proben abgewartet werden. Die Konzentrationen unterliegen auf dem Acker über den gesamten Messzeitraum starken Schwankungen. Diese werden zum einen bedingt durch eine sehr variable Vegetationsbedeckung und somit einen unbeständigen Nährstoffentzug, zum anderen durch zusätzliche Stoffeinträge über die Düngung. In den letzten beiden Jahren

konnten unter dem Acker Nitratkonzentrationen zwischen 40 und 230 mg/L gemessen werden. Der Grundwasserspiegel liegt auf der Lechtterrasse knapp 20 Meter unterhalb der Geländeoberkante. Bis das Sickerwasser zur Trinkwasserentnahmestelle gelangt, kann ein Teil des ausgewaschenen Nitrats noch abgebaut werden.

### Grundwasser: Neubildung und Stoffeinträge

Der Wasserhaushalt einer Fläche definiert sich hauptsächlich über die Komponenten Niederschlag, Verdunstung sowie Versickerung. Die Niederschlagsmenge ist relativ einfach zu erfassen, die beiden anderen Parameter lassen sich nur mit erheblichem technischen Aufwand bestimmen. Für Fragestellungen zur Grundwasserneubildung sowie zu Stoffeinträgen ins Grundwasser werden deshalb oft Wasserhaushaltsmodelle zu ihrer Berechnung herangezogen.

Mit Hilfe des Modells LWF-BROOK90 wird der Wasserhaushalt der beiden Flächennutzungen ermittelt. In dieses Modell fließen die unterschiedlichsten Informationen ein, sowohl Klima- und Bodenverhältnisse als auch Angaben über die Pflanzenentwicklung (u. a. Blattfläche und Durchwurzelungstiefe). Zur Validierung der Modellergebnisse werden die in Kaufering gemessenen Bodenwassergehalte verwendet. Die Menge infiltrierten Wassers wird für beide Flächen berechnet werden, um die Unterschiede in der Grundwasserneubildung zu quantifizieren. Zusammen mit den chemischen Analysen des Sickerwassers lassen sich daraus die unterschiedlichen Stofffrachten und somit die Stoffeinträge in das Grundwasser bestimmen. Ob eine Extensivierung in Form von Kurzumtriebsplantagen dabei helfen können, die Trinkwasserqualität zu verbessern, wird sich bis zum Ende des Projektes zeigen lassen. Offen bleibt jedoch die Frage, wie sich die anstehende Ernte der Kurzumtriebsplantage auf den Wasser-, vor allem aber auf den Stoffhaushalt der Fläche auswirken wird.

---

Martina Zacios und Jörg Niederberger sind Mitarbeiter der Abteilung Boden und Klima der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft. [Martina.Zacios@lwf.bayern.de](mailto:Martina.Zacios@lwf.bayern.de);  
Projektleitung: Dr. Frank Burger (federführend) sowie Christoph Schulz (Teil Hydrologie)  
Das Projekt wird durch das Bayerische Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten im Rahmen des Klimaprogramms Bayern 2020 finanziert.

# Mangan-Mangel in Weihnachtsbaumkulturen

Für einen erfolgreichen Weihnachtsbaumanbau ist eine optimale Nährstoffversorgung unbedingt notwendig

Jürgen Matschke

**Immer wieder treten in Weihnachtsbaumkulturen Schädigungen auf, die auf eine mangelhafte Mangan-Versorgung der Nadeln zurückzuführen ist. Jedoch wird dieser Mangan-Mangel häufig gar nicht erkannt und falsche Maßnahmen ergriffen, die die Schädigungen nicht beheben, zum Teil aber sogar die Mangelsymptome verstärken.**

Zunehmend treten bei Nadelbäumen des Weihnachtsbaumanbaues, insbesondere auf verdichteten Extremstandorten, etwaige Schädigungen auf. Die jüngsten Nadeln weisen tüpfelartige, vergilbte Gewebepartien auf, das Chlorophyll wird abgebaut und die Nadeln verlieren ihre grüne Farbe. Es entstehen blassgrün ausgeprägte Chlorosen und gelbe bis braune Nekrosen. In der Folge des Zellsterbens bekommen die Nadeln ein fleckig-marmoriertes Aussehen. Die Symptome ähneln oftmals denen von Magnesium- sowie Calcium-Mangel; es kommt neben den Nadelschädigungen zu einem gehemmten Triebwachstum und häufig zum Absterben betroffener Bäume.

Auf Grund dieser zunehmend zu beobachtenden Nährelement-bedingten Nadelschädigungen in Weihnachtsbaumkulturen haben wir in den letzten Jahren mehrere Bestände der Nordmannstanne boden- und nadelanalytisch untersucht, die derartige Vergilbungserscheinungen aufwiesen. Die Nadelproben wurden stets im Oktober vom jeweils jüngsten Nadeljahrgang gewonnen. Die Ergebnisse der Analysen sind in Tabelle 1 dargestellt und werden Nadelspiegelwerten gesunder Nordmannstannen aus ihrem Verbreitungsgebiet im Kaukasus gegenübergestellt.

## Bodenanalysen

Die durch Mangan-Mangel geschädigten Bestände stocken zu meist auf Standorten und ehemals landwirtschaftlich genutzten sandigen Lehmböden (sL) und Lehmböden (L) mit hohen pH-Werten. Die pH-Werte der sL- bzw. L-Böden lagen meist über 7,0, im Mittel bei 7,2, und sind für die Mehrzahl der Herkünfte der Nordmannstannen suboptimal. Die pH-Werte der Böden sollten für die Nordmannstanne im Idealfall zwischen 5,5 und 5,8 liegen. Alle untersuchten Herkünfte waren, was die Boden- und pH-Verhältnisse betrifft, für die Standorte, auf denen sie angebaut wurden, nicht geeignet.

## Nadelanalysen

Die Nährstoffgehalte in den jüngsten Nadeln der betroffenen Bäume geben deutliche Hinweise auf Defizite an verschiedenen Makro- sowie Mikronährstoffen. Dazu wurden neben den tatsächlich ermittelten Werten die Nadelgehalte zusätzlich auch



Abbildung 1: Bei Mn-Mangel verfärben sich die jüngeren und zum Teil auch älteren Nadeln. Typisch sind tüpfelartige Gewebepartien, es entstehen blassgrün ausgeprägte Chlorosen, die später in gelbe bis braune Nekrosen übergehen.

auf einen Stickstoff-Wert von 1,0 Prozent in der Trockenmasse (i.d.TM) bezogen, um die tatsächlich analysierten Gehalte mit den Soll-Werten besser vergleichen zu können. Aus den Nadelanalysen derartig zeichnender Bestände dieser Beispielflächen ist zu erkennen, dass die Auslöser der extremen Schädigungen der Bäume eindeutig auf Mangan-Mangel zurückzuführen sind. Der mittlere Mangan-Gehalt liegt bei 9,1 mg/kg i.d.TM. Gesunde einjährige Nadeln aus dem Verbreitungsgebiet der Nordmannstanne weisen hingegen Mangan-Nadelspiegelwerte von 300 mg/kg TM auf. Bezogen auf einen Stickstoffgehalt von 1,0 % i.d.TM sollte der Mangan-Gehalt mehr als 250 mg/kg i.d.TM betragen. Mit 5,0 mg/kg i.d.TM erreicht der Mangan-Gehalt jedoch nur ein Fünftel des Sollwertes.

Obwohl Mangan im Boden zwar in ausreichenden Konzentrationen (> 22 mg/kg) vorliegt, können die Bäume das Element aus unterschiedlichen Gründen nicht aus den Böden aufnehmen. Ursachen könnten zu suchen sein in einem reduzierten Abbau glyphosathaltiger und anderer Herbizide, einer ungenügenden Kationenaustauschkapazität, einem zu niedrigen oder

Tabelle 1: Nadelspiegelwerte suboptimal versorgter Kulturen im Vergleich zu gesunden Tannen aus dem Kaukasus

Nährelemente	N [%]	P [%]	K [%]	Mg [%]	Ca [%]	Cu [mg/kg]	B [mg/kg]	Zn [mg/kg]	Mn [mg/kg]	Fe [mg/kg]
suboptimal versorgte Kulturen	1,71	0,14	0,86	0,11	0,52	6	22	25	9,1	140
bezogen auf N = 1,0	1,0	0,08	0,50	0,06	0,30	4	13	15	5,0	82
gesunde Tannen aus dem Kaukasus	1,30	0,18	0,83	0,14	0,74	12	23	40	300	100
bezogen auf N = 1,0	1,0	0,14	0,65	0,11	0,58	9	19	30	>250	80

zu hohen Redoxpotential, einem Ionenantagonismus auf Grund erhöhter Kaliumgaben, einer reduzierten mikrobiellen Aktivität infolge fehlender Durchlüftung, einem unzureichenden Gehalt an organischer Substanz oder einer überhöhten Kohlendioxid-Konzentration im Boden. Vor allem der sehr hohe pH-Wert des Bodens (> 6,5–7,2) dürfte großen Einfluss auf das Gleichgewicht zwischen  $Mn^{2+}$  und  $Mn^{4+}$  haben. Eine schwache Versorgung ist bei den Elementen Kalium (K), Magnesium (Mg), Calcium (Ca), Kupfer (Cu), Bor (B) und Zink (Zn) zu beobachten bei gleichzeitig zu hohen Stickstoff-Gehalten von über 1,7 % i.d.TM. Dies wird besonders deutlich, wenn die Elementgehalte auf den Stickstoffwert 1,0 bezogen werden.

Mangan-Ionen werden von den Wurzeln pH-abhängig aufgenommen, wobei höchste austauschbare Mangan-Anteile bei pH 5,5 bis 4,0 in der Bodenlösung zu finden sind. Die Verfügbarkeit der Ionen nimmt mit steigendem pH-Wert ab einem pH-Wert von über 6,5 drastisch ab. Dabei wird der mikrobielle Umsatz des Mangans gestört, was als Hauptursache der Schädigungen der Bäume auf den Flächen mit einem pH-Wert von bis zu 7,2 anzusehen ist. Alles deutet daraufhin, dass die Verfügbarkeit und die Aufnahme des  $Mn^{2+}$  durch die Pflanzen gestört sind. Eine häufig auch zu beobachtende unzureichende Bodendurchlüftung auf Grund von Bodenverdichtungen oder Staunässe im Wechsel mit Trockenheit behindern zusätzlich die meist unzureichende mikrobielle Aktivität in den Böden. Zudem können nicht abgebaute und angereicherte glyphosathaltige Herbizide im Boden die Aktivität der teilungsfähigen Zellen in den Wuzelspitzen hemmen, den Transport der Phytohormone, ihrer Eiweißcarrier und damit die Nährstoffaufnahme/-transport behindern sowie eine Chelatbildung von Nährelementen, vor allem des Mangans fördern, wodurch dieses nicht für die Pflanzen verfügbar wird.

Das Ca/Mn-Verhältnis in der Nadel trockenmasse liegt bei 1.000 zu 1 und ist damit deutlich zu weit. In gesunden Nordmannstannen beträgt das Verhältnis etwa 230 zu 1.

Auch die Kalium-Werte sind mit 0,50 % zu 1,0 % N an Stelle von 0,65 % zu 1,0 % N zu niedrig. Damit verschiebt sich auch das K/Mg-Verhältnis hin zum Schlechteren. Die Aufnahme der Ionen wie Mn, Zn, B und  $NH_4$  würden jedoch durch zusätzlich empfohlene Kaliumgaben gehemmt und somit die Mangan-Mangelsymptome und damit die ausgelösten Schädigungen weiter fördern. Daher sollte man bei Kalium-Gaben besondere Vorsicht walten lassen und Kalium-Düngung erst durchführen, wenn der Mangan-Schaden behoben ist. Dem-

zufolge sind Kaliumgaben erst nach »Gesundung« des Standortes zu vertreten.

Auf Standorten, die zu Mn-Festlegungen neigen, wie z. B. karbonathaltige Niedermoor- oder Lehmböden, ist der Mangel durch die Bodendüngung kaum zu beheben. In solchen Fällen sind Mangan-Chelate zu empfehlen. Hierzu wird Mangansulfat mit zehn Kilogramm pro Hektar oder Mn-EDTA als 1- bis 2-prozentige Lösung in drei bis vier Gaben auf abgehärtete Nadeln verabreicht. Die gleichfalls beobachteten Eisen-Kalkchlorosen sind ebenfalls mit Eisen-Chelaten gut zu beheben. Die Ausbringung sollte nicht bei Sonneneinstrahlung und nicht auf die jungen Nadeln erfolgen.

Keinesfalls sind mit Mangan-Mangel verbundene Bodenverdichtungen und auftretende Wurzelinfektionen mit bakte-

#### Boden- oder Nadelanalysen?

Die Bodenanalyse gibt einen Einblick in die physikalische Beschaffenheit und die Nährstoffausstattung der Böden und vermittelt wichtige Kenntnisse der Nährstoffdynamik. Für die Ermittlung der tatsächlich für die Pflanzen verfügbaren und durch die Pflanzen aufgenommenen Nährstoffe sind Bodenanalysen nur bedingt geeignet. Wer wissen will, welche Nährstoffe in welchen Konzentrationen die Pflanzen aufnehmen, muss vorrangig auf Nadelanalysen zurückgreifen. Das Alter der Bäume und die Nadeljahrgänge müssen dabei beachtet werden. Schwer bewegliche Elemente reichern sich eher in älteren Nadeln an. Bei mobilen Elementen findet ein horizontaler Nährstofftransport von den älteren in die jungen Nadeln statt. Die Folge ist häufig ein Nährelementmangel in den älteren Nadeln. Bei unzureichendem Angebot an Nährstoffen aus dem Boden und Schäden an den Wurzeln verfärben sich die unterversorgten Nadeln und fallen auf Grund der Nährelementmängel vorzeitig ab.

Erst auf Grund der Kenntnis der Nährstoffdynamik des Bodens ist es möglich, ermittelte Nährstoffgehalte in die Düngungsberechnungen einzubeziehen. Nur die Nadelanalyse kann den tatsächlichen Gesamtbedarf aus dem Defizit an Nährstoffen in den Bäumen bei kontinuierlicher Düngung erheben.

Um qualitativ hochwertige Pflanzen produzieren zu können, sollten die Boden- und Nadelanalysen kontinuierlich in jedem Jahr vorgenommen werden. Nur so ist eine bedarfsgerechte Düngung möglich.



Foto: J. Matschke

Abbildung 2: Eine zehnjährige Kultur entzieht einem Hektar Boden jährlich etwa 140 kg N, 50 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 80 kg K<sub>2</sub>O, 15 kg MgO, 4 kg Mn, 75 kg CaO und etwa 1,0 kg der verschiedenen Spurenelemente.

riellen Schwächeparasiten auszuschließen. Auf vernässten, verdichteten Standorten ist ein Befall durch *Phytophthora cinnamomi* möglich, dazu sind gesonderte Nachweise angeraten. Wenn dieser Organismus tatsächlich auf den Standorten an den Schädigungen mitbeteiligt ist, kann nur mit Anbau der gegen diesen Organismus teilresistenten *Abies bormuelleriana* (Herkünfte: Safranbolu > Bolu > Akyaz) reagiert werden.

### Physiologische Imbalancen als Folge einer fehlerhaften Düngung

Praktiker wissen häufig nicht, wie Nährstoffanalysen zu bewerten und in einer ausgeglichenen Düngung zu berücksichtigen sind. Vielfach sind ihnen die anzustrebenden Gehalte in den Nadeln unzureichend bekannt und immer noch zu selten werden Nadelanalysen veranlasst. Richtwerte für Nährstoffgehalte in der Trockenmasse der Nadeln ergeben sich aus Analysen von Nadeln gesunder Bäume der natürlichen Standorte aus dem Kaukasus. Danach sollten die in der Tabelle angegebenen Anhaltswerte für die Nährstoffe in den Nadeln gesunder Nordmannstannen das Ziel sein. Die Nadeln sollten vom zweiten Wirtel stammen und die Nadelspiegelwerte in Prozent oder Milligramm pro Kilogramm Trockenmasse angegeben und auf N=1,0 bezogen werden. Der Bezug zum Stickstoff (1,0 %) verdeutlicht die anzustrebenden Verhältnisse der Nährstoffe. Sollte der Stickstoffgehalt in den Nadeln über den angegebenen Wert hinaus angehoben werden, so muss Analogie für die anderen Ionen erfolgen, um die Verhältnisse der Nährstoffe untereinander zu wahren.

Die Praxis orientiert sich überwiegend an den Nährstoffwerten nach erfolgter Bodenanalyse und aus Kostengründen nicht an den Nadelwerten. Die Bäume erhalten ihre dunkle

Farbe meist auf Grund überdosierter Stickstoffmengen, man bedenkt jedoch nicht die dadurch entstehenden Ionen-Ungleichgewichte, die unter anderem zu einer Verweichlichung der Gewebe und damit zu einer erhöhten Frostanfälligkeit der Bäume führen können. Auf Grund der dadurch suboptimalen Nährstoffverabreichung und somit verursachten Ungleichgewichte an Ionen in den Pflanzen ergeben sich unterschiedliche physiologische Einflüsse bis hin zu den beobachteten Schädigungen. Dazu gehören eine verminderte Vitalität und Qualität der Bäume, eine unzureichende Nadelhaltbarkeit sowie eine erhöhte Anfälligkeit der Bäume gegenüber Frosteinflüssen und mikrobiellen Schaderregern. Zusätzliche Einflüsse durch Herbizidgaben verstärken die Belastungen, da durch diese Wirkstoffe die hormonregulierte und energiebedürftige Nährstoffaufnahme durch die Wurzeln negativ beeinflusst und die Verhältnisse der Ionen zueinander in den Biomassen der Bäume disharmonisiert werden.

Man sollte sich stets an eine auf die Biomasse bezogene Düngung orientieren. Für 10.000 Kilogramm pro Hektar gebildeter Frischmasse ist mit einem Entzug von circa 56 Kilogramm N, 18 Kilogramm P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> und 34 Kilogramm K<sub>2</sub>O zu rechnen.

### Zusammenfassung

In den Kulturen von Weihnachtsbäumen sind immer wieder extreme Schadsymptome zu beobachten, die auf Imbalancen verschiedener Makro- und Mikronährstoffe sowie den damit verbundenen Stoffwechselstörungen zurückzuführen sind. Dabei spielt die Unterversorgung der Pflanzen mit Mangan bzw. die unzureichende Aufnahme dieses Elements durch die Pflanzen die primäre Rolle. Ursache dafür waren falsche Herkunftswahl, Rückstände von Glyphosat und anderen Herbiziden in Verbindung mit zu niedrigen pH-Werten in Böden, eine unzureichende Bodendurchlüftung und eine reduzierte mikrobielle Aktivität in den betroffenen Böden. Deshalb muss versucht werden, den pH-Wert ins Optimum für die Nordmannstannen (pH 5,5–5,8) zu bringen, eine Durchlüftung der Standorte anzustreben, auf ruhenden Flächen ausreichend organische Substanzen einzubringen, bei unzureichender Mn-, Fe- und B-Versorgung den Mangel durch Verabreichung von Mn- und Fe-Chelaten sowie von Borax wieder auszugleichen sowie ausschließlich sauer wirkende Düngemittel einzusetzen. Die Nährstoffgehalte der Nadeln müssen regelmäßig überprüft werden. Auf sL- und L-Standorten mit hohen pH-Werten sollten nur die Herkünfte 387.01-G, 380.01-T, 163.96-TL, 165.96-S, 216.96-N, 259.98-WN und 94.95/93-K aus Höhenlagen unter 1.300 m.ü.NN angebaut werden, da nur diese die extremen Bedingungen derartiger Standorte mit Werten über pH 6,2 kompensieren können.

---

Prof. Dr. Jürgen Matschke war langjähriger Leiter des Versuchszentrums im Gartenbauzentrum Westfalen-Lippe und beschäftigt sich seit vielen Jahren mit der Züchtung und Produktion von Weihnachtsbäumen. [juergenmatschke@t-online.de](mailto:juergenmatschke@t-online.de)

# Wälder und Holzprodukte als Kohlenstoffspeicher

Eine Betrachtung zur Klimaschutzleistung der Wälder in Bayern

Daniel Klein und Christoph Schulz

Wälder leisten sowohl auf globaler als auch auf nationaler Ebene einen wichtigen Beitrag zum Klimaschutz, indem sie durch den Aufbau von Biomasse und durch die Anreicherung von organischem Material im Boden der Atmosphäre aktiv Kohlendioxid entziehen. Dies ist unbestritten. Die Wälder in Bayern haben im Laufe der letzten Jahrzehnte Biomasse und damit Kohlenstoffvorräte aufgebaut. Allgemein ist bekannt, dass Bayerns Wälder im nationalen und internationalen Vergleich relativ hohe Holzvorräte und folglich hohe Kohlenstoffvorräte halten. Doch welchen Beitrag leisten unsere Wälder genau? Diese Frage will das Projekt »Die Kohlenstoffbilanz der bayerischen Forst- und Holzwirtschaft« beantworten.

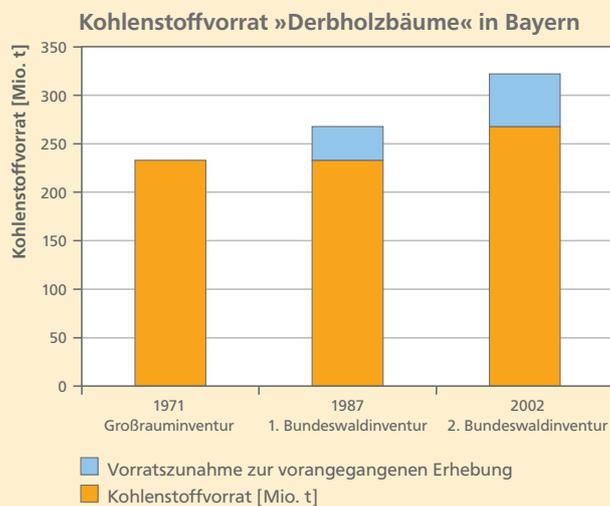


Abbildung 1: Die Entwicklung des Kohlenstoffspeichers in Bayern in der Biomasse der Bäume ab 7 cm BHD zwischen 1971 und 2002

Aktuell speichern die Wälder unserer Erde circa 653 Milliarden Tonnen Kohlenstoff (C) in allen Kompartimenten inklusive des Mineralbodens (FAO 2010). Dies entspricht in etwa einer Menge von 2.400 Milliarden Tonnen Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>), da durch die Bindung einer Tonne Kohlenstoff 3,67 Tonnen CO<sub>2</sub> der Atmosphäre entzogen werden. Stellt man dem Gesamtspeicher *Wald* die jährlichen weltweiten energiebedingten Emissionen gegenüber (ca. 32 Mrd. Tonnen CO<sub>2</sub> im Jahr 2005), so zeigt sich die enorme Bedeutung der Wälder, da sie in etwa die energiebedingten Emissionsmengen von 75 Jahren speichern. Die Kohlenstoff-Hot-Spots der Erde liegen dabei in Südamerika (188 Mrd. Tonnen C), insbesondere in den tropischen Zonen sowie in Russland (128 Mrd. Tonnen C), wobei hier der Speicher *Boden* (besonders die Permafrostböden Sibiriens) eine noch wichtigere Rolle spielt als in anderen Regionen der Erde. Die besondere Bedeutung der Wälder zum Klimaschutz ist bereits seit langem bekannt und wird zunehmend einer breiten Öffentlichkeit in unserer Gesellschaft bewusst.

Dies zeigt auch eine Umfrage des Bundeslandwirtschaftsministeriums (BMELV 2011), bei der 78 Prozent der Befragten angaben, dass Wald entscheidend für das Weltklima sei. Weniger bekannt in der Öffentlichkeit sind hingegen Größe und Umfang der Leistung der Wälder zum Klimaschutz.

## Großrauminventuren als wichtigste Datenbasis

Auch die Wälder Bayerns binden signifikante Mengen an Kohlenstoff. Um den genauen Speicher unserer Wälder zu ermitteln, ist es entscheidend, alle Kompartimente des Waldökosystems zu betrachten. Dies sind vor allem die *Derbholzbäume*, die *Verjüngung*, das *Totholz* sowie der *Boden*. Anhand nationaler Inventuren ist das möglich. So dient die Bundeswaldinventur (BWI) als Grundlage zur Bestimmung der Kompartimente *Derbholzbiomasse*, *Verjüngung* und *Totholz*. Anhand der Einzelbauminformationen (Baumart, Höhe, Durchmesser) kann für jeden Baum mittels Biomassefunktionen oder Expansionsfaktoren (u.a. aus Zell 2008) dessen oberirdische und unterirdische Biomasse berechnet werden. Die Umrechnung in Kohlenstoff und anschließende Hochrechnung auf die Gesamtwaldfläche Bayerns liefert dann großflächige Informationen zum Kohlenstoffspeicher unserer Wälder in deren Baumbiomasse. Auch beinhaltet die BWI die Ausgangsdaten für die *Verjüngung* und das *Totholz*. Unter Hinzunahme der Informationen aus der Bodenzustandserhebung wird der Kohlenstoffspeicher *Boden* abgeleitet. Die Summe aller Pools ermöglicht schließlich eine vollständige Betrachtung des Kohlenstoffspeichers im Ökosystem Wald für Bayern. Anhand von Arbeiten aus der Vergangenheit, für Bayern insbesondere der Arbeit von Böswald (1996), kann die Entwicklung des Kohlenstoffspeichers in den letzten Jahrzehnten abgeleitet werden.

## Der aktuelle Kohlenstoffspeicher Wald in Bayern

Im Jahr 2002 betrug der gesamte Kohlenstoffspeicher der *lebenden Dendromasse* (alle Bäume ab einem BHD von 7 cm) inklusive der Wurzelbiomasse rund 322 Millionen Tonnen. Dies ent-

## Kohlenstoffspeicher Wald und Holzprodukte in Bayern

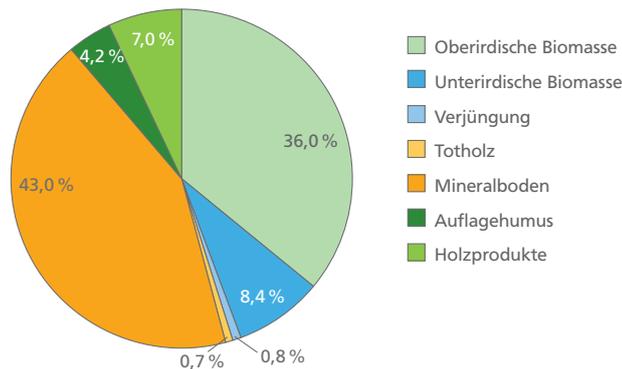


Abbildung 2: Die Verteilung des Kohlenstoffspeichers Wald und Holzprodukte in Bayern in die verschiedenen Kompartimente

spricht einem Vorrat von 133 Tonnen pro Hektar. Mit 232 Millionen Tonnen C ist der hauptsächlichste Anteil im Nadelholz gebunden (72 %), 90 Millionen Tonnen speichert das Laubholz (28 %). Die Fichte besitzt mit circa 153 Millionen Tonnen bzw. 47 Prozent an der Gesamtspeicherung den höchsten Anteil. Kiefer und Buche binden 19 bzw. 15 Prozent des Gesamtspeichers. Eine untergeordnete Rolle spielen alle anderen Baumarten mit einem Anteil von jeweils maximal sechs Prozent.

Von der gesamten Kohlenstoffbindung des stockenden Bestandes Bayerns sind etwa 81 Prozent in der oberirdischen und 19 Prozent in der unterirdischen Biomasse gebunden. Dies wurde anhand von allometrischen Funktionen bzw. mittels *r/s-ratios* (Verhältnis Wurzelbiomasse zu oberirdischer Biomasse) von Dieter und Elsasser (2002) oder Offenthaler und Hochbichler (2006) bestimmt.

In der *Verjüngung* wird der Kohlenstoffspeicher auf rund 5,5 Millionen Tonnen bzw. 2,3 Tonnen pro Hektar geschätzt. Dies entspricht nur etwa 1,7 Prozent der Menge, die in der Biomasse der *Derbholzbäume* gebunden ist. Die Datenbasis für die *Verjüngung* ist relativ ungenau (für die *Verjüngungspflanzen* wurden im Rahmen der *BWI* lediglich Baumart, Anzahl und Höhenklasse erhoben). Am geringen Anteil der *Verjüngung* an der Gesamt-Kohlenstoffspeicherung ändert dies jedoch nichts.

Im *Totholz* wurde eine Gesamtkohlenstoffspeicherung von rund 4,9 Millionen Tonnen ermittelt, was einer Menge von knapp zwei Tonnen pro Hektar entspricht. Mit 3,8 Millionen Tonnen ist der überwiegende Teil als Nadelholz gebunden (77 %), das Laubholz hingegen hält 23 Prozent des *Totholzes*. Fast die Hälfte des *Totholzes* ist im Stadium mit beginnender Zersetzung gebunden (44 %). Im Vergleich zur *Dendromasse* ist der Anteil des *Totholzes* an der Gesamtspeicherung gering und bindet etwa 1,5 Prozent der Mengen der *Dendromasse* ohne *Verjüngung*.

Einschlägige Literatur beschreibt den *Boden* als einen der wichtigsten Kohlenstoffspeicher im Wald. Diese Aussage kann auch für die Wälder Bayerns getroffen werden. So binden Bayerns Böden bis zu einer Bodentiefe von maximal 150 Zentimetern inklusive des *Auflagehumus* rund 141 Tonnen pro Hektar bei Betrachtung des Mittelwertes (siehe auch Schubert 2010). Umgerechnet auf die Gesamtwaldfläche Bayerns ent-

spricht dies einem Vorrat von rund 342 Millionen Tonnen. Damit liegt der Bodenkohlenstoffvorrat sogar etwas über dem Vorrat der *Baumbiomasse*.

Der *Gesamtspeicher Wald* beträgt rund 675 Millionen Tonnen bzw. durchschnittlich 277,8 Tonnen Kohlenstoff pro Hektar (Tabelle 1). Drückt man diesen Vorrat in  $\text{CO}_2$ -Einheiten aus, so läge dieser bei circa 2.480 Millionen Tonnen. Durch den Vergleich mit den energiebedingten Emissionen (durchschnittlich 88,9 Mio. Tonnen  $\text{CO}_2$  pro Jahr zwischen 1990 und 2002 in Bayern (StMUG 2009)) kann die Relevanz unserer Wälder für den Klimaschutz dargestellt werden: So hat unser Wald im Laufe der Zeit etwa die 28-fache Menge der  $\text{CO}_2$ -Jahresemissionen gespeichert.

## Entwicklung des Kohlenstoffspeichers Wald in Bayern

Der Kohlenstoffspeicher in Wirtschaftswäldern ist nicht statisch, sondern befindet sich in einem steten dynamischen Prozess, indem er bei einer Nutzung, die den Zuwachs überschreitet, als Kohlenstoffquelle fungiert oder als Kohlenstoffsenke wirkt, wenn weniger genutzt wird als nachwächst. Ob ein Wald eine Kohlenstoffquelle oder -senke darstellt, hängt letztlich vom Betrachtungszeitraum bzw. vom Zeitpunkt ab. Bewirtschaftete Wälder gleichermaßen wie unbewirtschaftete Wälder werden zu einem bestimmten Zeitpunkt ein Vorratsmaximum erreichen, was sich bei Wirtschaftswäldern aus den jeweiligen Bewirtschaftungsvorgaben der Waldbesitzer ergibt. Ab dann wird der durchschnittliche Vorrat – bei Betrachtung von größeren Waldflächen – je nach Zielausrichtung gehalten oder wieder auf ein bestimmtes Maß reduziert. In Abbildung 1 ist die Entwicklung des Kohlenstoffspeichers *Baumbiomasse* in Bayern der letzten drei Jahrzehnte anhand der drei landesweiten Waldinventuren der Jahre 1971, 1987 und 2002 dargestellt. Die Daten für 1971 und 1987 wurden aus Böswald (1996) übernommen und auf Grund methodischer Unterschiede leicht modifiziert. Demnach erhöhte sich der Kohlenstoffspeicher zwischen 1971 und 1987 von 233,0 auf 267,7 Millionen Tonnen. Dies entspricht einem durchschnittlichen (interpolierten) Zuwachs von 2,2 Millionen Tonnen Kohlenstoff auf 322,2 Millionen Tonnen ein noch höherer Vorratsaufbau festgestellt werden, der durchschnittlich bei 3,6 Millionen Tonnen Kohlenstoff pro Jahr lag. So wird ersichtlich, dass Bayerns Wälder in den letzten Jahrzehnten als Kohlenstoffsenke fungierten, da mehr Kohlenstoff durch Zuwachs aufgenommen als durch Nutzung dem Wald entzogen wurde. Man kann davon ausgehen, dass zu Anfang des 21. Jahrhunderts die höchste Kohlenstoffbindung der jüngsten Vergangenheit, wahrscheinlich sogar seit einem Jahrhundert, zu verzeichnen war. Diese These unterstützt auch Borchert (2007), der beschreibt, dass sich die Altersverteilung von zumeist jungen Beständen zu Beginn des letzten Jahrhunderts hin zu vermehrt älteren Beständen zu Anfang des 21. Jahrhunderts gewandelt hat und somit auch die Vorräte kontinuierlich gestiegen sind. Wie sich dieser Speicher aktuell entwickelt, werden die Ergebnisse zur *BWI*<sub>3</sub> zeigen, die seit 2011 durchgeführt

wird. Erste Hinweise auf die jüngere Entwicklung kann die bundesweite Inventurstudie 2008 geben, nach der die Kohlenstoffvorräte in Deutschland zwischen 2002 und 2008 weitaus weniger gestiegen sind als zwischen 1987 und 2002 (Oehmichen et al. 2011). Für diesen Anstieg zeigen sich insbesondere die neuen Bundesländer verantwortlich. In den alten Bundesländern blieb der Vorrat weitgehend stabil. Diese Ergebnisse deuten darauf hin, dass in Bayern aktuell mit keiner weiteren Vorratserhöhung zu rechnen ist.

Ein Vergleich der Auswertungen zur Bodenzustandserhebung (1987 und 2006) zeigt mögliche Veränderungen im Bodenkohlenstoff für Bayern, auch wenn methodische Unterschiede zwischen den beiden Inventuren nur eingeschränkte Vergleiche zulassen. Demzufolge haben sich die Speicher *Boden* und *Auflage* zumindest nicht verringert (Kölling und Schubert 2010). Für das Totholz gibt es noch keine Vergleichswerte, da dieses erstmals in der BWI<sub>2</sub> umfassend erhoben wurde. Ein Vergleich mit Böswald (1996), der den Kohlenstoffspeicher im Totholz für 1987 zumindest grob schätzt, zeigt, dass sich auch das Totholz zwischen 1987 (4,8 Mio. Tonnen C) und 2002 wohl zumindest nicht verringert hat.

## Der Kohlenstoffspeicher Holzprodukte

Um für 2002 eine vollständige Betrachtung des Kohlenstoffspeichers für die Forst- und Holzwirtschaft zu ermöglichen, wurde über die Systemgrenzen des Waldökosystems hinaus auch die aktuelle Speicherung der Holzprodukte geschätzt. Da die Datenlage für dieses Segment sehr unübersichtlich und die Palette an Holzprodukten sehr weitreichend ist, wurde anhand verschiedener Datenquellen (Statistisches Landesamt, Informationen von Verbänden u.a.) der Kohlenstoffvorrat ab-

### Bayern wird immer walddreicher

Die Waldfläche in Bayern ist im vergangenen Jahr weiter gewachsen. 2010 wurden rund 547 Hektar Wald neu aufgeforstet, dagegen stehen 341 Hektar, die gerodet wurden. Die landesweite Zunahme um insgesamt 205 Hektar entspricht etwa der Fläche von 285 Fußballfeldern.

Bereits seit 30 Jahren in Folge steigt damit die Waldfläche im Freistaat entgegen dem weltweiten Abwärtstrend an. In diesem Zeitraum wuchs sie um mehr als 16.000 Hektar – eine Fläche, die doppelt so groß ist wie der Chiemsee. Die Zahlen belegen die erfolgreiche Umsetzung einer wesentlichen Vorgabe der bayerischen Forstpolitik: den Erhalt und die Mehrung der Waldfläche. Mit rund 2,5 Millionen Hektar ist der Freistaat das walddreichste Bundesland.

Besonders erfreulich ist die Waldflächenzunahme in der bevölkerungsreichen Region München sowie in der Industrieregion Mittelfranken. Gerade dort erbringen die Wälder durch ihre vielfältigen Schutz- und Erholungsfunktionen wichtige Gemeinwohlleistungen. red

Weitere Informationen können im Internet unter [www.forst.bayern.de](http://www.forst.bayern.de) abgerufen werden.

Tabelle 1: Der Kohlenstoffvorrat in den Wäldern Bayerns (Gesamtwaldfläche und pro ha) aufgeteilt in Kompartimente

Kompartiment	C-Vorrat [Mio. t]	C-Vorrat [t/ha]
Wald, gesamt	675,0	277,8
oberirdische Biomasse	261,5	107,6
unterirdische Biomasse	60,7	25,0
Verjüngung	5,5	2,3
Totholz	4,9	2,0
Auflagehumus	30,3	12,5
Mineralboden	312,1	128,4
Holzprodukte	50,5	–
gesamt	725,5	–

geleitet. Holzprodukte wirken sich zwar positiv auf das Klima aus, indem sie die Speicherung des Kohlenstoffs, der im Wald gebunden war, um die spezifische Nutzungsdauer des Produktes verlängern, jedoch spielen die Substitutionseffekte des Holzes (Material- und Energiesubstitution) langfristig eine weit aus bedeutendere Rolle (Schulz und Klein, S. 51–53 in diesem Heft). Alle Produktsegmente zusammengefasst speichern die in Bayern im Gebrauch befindlichen Holzprodukte etwa 50,5 Millionen Tonnen Kohlenstoff. Dieser Gesamtspeicher verteilt sich auf die Kategorien Wohngebäude, Nichtwohngebäude, Möbel-Haushalt-Einrichtung, Halbfabrikate, Verpackungen sowie Papier und Pappe. Den höchsten Anteil hält dabei mit circa 27,4 Millionen Tonnen bzw. 55 Prozent am Gesamtspeicher der Bereich der Wohngebäude.

Über Holzeinschlagsmengen sowie die Zuordnung in Produktkategorien in Anlehnung an die Clusteranalyse Bayern konnte in Bayern für den Zeitraum 2003 bis 2008 eine Nettoerhöhung (Eintrag minus Austrag aus dem Speicher) des Holzproduktespeichers von circa 1,3 Millionen Tonnen Kohlenstoff pro Jahr ermittelt werden.

## Zusammenfassung

Nimmt man die Holzprodukte zum Speicher Wald hinzu, so erweitert sich der Gesamtspeicher auf 725,5 Millionen Tonnen (Tabelle 1). Bei der Betrachtung der Verteilung auf die unterschiedlichen Kompartimente wird deutlich, dass die Holzprodukte auch als Speicher mit lediglich sieben Prozent zwar eine Rolle spielen, die direkte Speicherung im Wald aber weit aus bedeutender ist (Abbildung 2). Jedoch ist der Holzproduktespeicher wohl der Speicher, der in naher Zukunft am schnellsten zu beeinflussen ist.

Geht man von den oben dargestellten 3,6 Millionen Tonnen Kohlenstoff (bzw. 13,2 Mio. Tonnen CO<sub>2</sub>-Einheiten) aus, die im Wald zwischen 1987 und 2002 durchschnittlich jedes Jahr in der Baubiomasse zugewachsen sind, so hat alleine dieser Vorratsaufbau dazu beigetragen, 15 Prozent der Jahres-

emissionen in Bayern wieder zu kompensieren (Bezugswert: 88,9 Mio. Tonnen CO<sub>2</sub>-Emissionen pro Jahr). Auf Grund der hohen Vorräte und nicht zuletzt auch auf Grund der hohen Nachfrage nach Holz aus unseren heimischen Wäldern ist jedoch absehbar, dass die Senkenfunktion der Wälder in Bayern in Zukunft an ihre Grenzen stoßen wird. Umso wichtiger ist es, auch die Holzprodukte in die Gesamtbewertung mit einzubeziehen und auch in Zukunft effizient mit der Ressource Holz umzugehen. Insbesondere die heute bereits vielfach geforderte Kaskadennutzung sollte dafür als Instrument dienen.

## Literatur

BMELV (2011): *Die Mehrheit der Deutschen sieht den Wald als entscheidenden Faktor für den Klimaschutz*. Pressemitteilung Nr. 40, 2 S.

Borchert, H. (2007): *Veränderungen des Waldes in Bayern in den letzten 100 Jahren*. LWF Wissen 58, S. 42–49

Bösward, K. (1996): *Zur Bedeutung des Waldes und der Forstwirtschaft im Kohlenstoffhaushalt, eine Analyse am Beispiel des Bundeslandes Bayerns*. Schriftenreihe der Forstwissenschaftlichen Fakultät der Universität München und der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft, Forstliche Forschungsberichte Nr. 159, München, 147 S.

Dieter, M.; Elsasser, P. (2002): *Carbon Stocks and Carbon Stock Changes in the Tree Biomass of German's Forests*. Forstwissenschaftliches Centralblatt 121, S. 195–210

FAO (2010): *Global Forest Resources Assessment 2010*. Main report. FAO Forestry paper 163, 340 S.

Oehmichen, K.; Demant, B.; Dunger, K.; Grüneberg, E.; Hennig, P.; Krohner, 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.

Kölling, C; Schubert, A. (2010): *Was hat sich zwischen den Jahren 2008 und 1987 getan?* LWF aktuell 78, S. 36

Offenthaler, I.; Hochbichler, E. (2006): *Estimation of root biomass of Austrian forest tree species*. Austrian Journal of Forest Science 1/2, S. 65–86

Schubert, A. (2010): *Organisch gebundener Kohlenstoff im Waldboden*. LWF aktuell 78, S. 11–14

StMUG (2009): *Klimaprogramm Bayern 2020*. Bayerisches Ministerium für Umwelt und Gesundheit, 48 S.

Zell, J. (2008): *Methoden für die Ermittlung, Modellierung und Prognose der Kohlenstoffspeicherung in Wäldern auf Grundlage permanenter Großrauminventuren*. Inaugural-Dissertation zur Erlangung der Doktorwürde für Forst- und Umweltwissenschaften der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, 152 S.

---

Daniel Klein ist Mitarbeiter in der Abteilung »Boden und Klima« der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft und bearbeitet das Projekt »Die Kohlenstoffbilanz der bayerischen Forst- und Holzwirtschaft (KLIP22)«. Christoph Schulz ist Mitarbeiter in der Abteilung »Waldbesitz, Beratung, Forstpolitik« und leitet das Projekt KLIP22. [Daniel.Klein@lwf.bayern.de](mailto:Daniel.Klein@lwf.bayern.de), [Christoph.Schulz@lwf.bayern.de](mailto:Christoph.Schulz@lwf.bayern.de)

## Bundesregierung beschließt »Waldstrategie 2020«



Foto: G. Georgiew, Fotolia.com

Der Wald in Deutschland wird nachhaltig genutzt.

Der Wald leistet einen wertvollen Beitrag für Klima, Umwelt, Wirtschaft und Gesellschaft. Ebenso vielfältig gestalten sich auch die Anforderungen an den Wald – er ist Naherholungsgebiet, Arbeitgeber, Naturraum und Rohstofflieferant zugleich.

Zudem stellen die Folgen des Klimawandels Waldbesitzer und Forstwirtschaft vor zusätzliche Herausforderungen. Mit der Waldstrategie 2020 verabschiedete die Bundesregierung eine Strategie für den Natur- und Wirtschaftsraum Wald. Das Ziel ist es, eine ausgewogene und tragfähige Balance zwischen den steigenden und teilweise konkurrierenden Ansprüchen der Gesellschaft an den Wald und seiner nachhaltigen Leistungsfähigkeit zu finden.

In neun Handlungsfeldern (Klimaschutz, Bodenschutz, Erholung, Forschung, Eigentum, Rohstoffe, Biodiversität, Waldbau und Jagd) werden bestehende Herausforderungen und Chancen benannt sowie mögliche Zielkonflikte analysiert. Dabei wurde in vielen Bereichen weiterer Forschungs- und Informationsbedarf identifiziert. Die Waldstrategie soll einen wichtigen Beitrag dazu leisten, dass Politik und Gesellschaft die vielfältigen Leistungen einer nachhaltigen, multifunktionalen Forstwirtschaft verstehen und anerkennen.

Wälder sind Rückzugsraum für viele Tier- und Pflanzenarten und beliebter Erholungsort für die Menschen. Gleichzeitig liefern sie Deutschlands bedeutendsten nachwachsenden Rohstoff Holz und sind damit Grundlage für 1,2 Millionen Arbeitsplätze in der Forst- und Holzwirtschaft. Die heimischen Wälder werden nach dem anerkannten Prinzip einer nachhaltigen, multifunktionalen Forstwirtschaft bewirtschaftet, bei dem Nutz-, Schutz- und Erholungsfunktionen gleichermaßen berücksichtigt werden. Wachsende Ansprüche an den Wald dürfen nicht dazu führen, dass der Dreiklang aus ökologischen, ökonomischen und sozialem Nutzen aus dem Gleichgewicht gerät. Nur so lassen sich die vielfältigen Funktionen des Ökosystems Wald und die anerkannten Leistungen nachhaltiger Forstwirtschaft in Deutschland auch in Zukunft erhalten.

bmelv

Die Waldstrategie gibt es im Internet unter:

[www.bmelv.de/waldstrategie2020](http://www.bmelv.de/waldstrategie2020)

# Möglichkeiten und Grenzen der Auswertbarkeit der BWI<sub>3</sub> in Bayern

Inventurdesign begrenzt Größe der Auswertungseinheiten

Hans-Joachim Klemmt und Michael Neubert

**Die Bundeswaldinventur ist ein Inventurverfahren, das die Waldverhältnisse in sehr großen Räumen beschreibt. Immer wieder aber wird der Wunsch laut, die BWI-Daten auch für kleinere Raumeinheiten auszuwerten. Allerdings sollten für statistisch sichere Auswertungen in Abhängigkeit vom jeweiligen Zielparameter bestimmte Flächengrößen nicht unterschritten werden.**

»Die Bundeswaldinventur erfasst die großräumigen Waldverhältnisse und forstlichen Produktionsmöglichkeiten in Deutschland in allen Ländern und Eigentumsarten nach dem gleichen Verfahren« (vTI 2008). Gemäß gesetzlicher Grundlage aus dem Bundeswaldgesetz (§ 41a BWaldG) führen die jeweiligen Bundesländer die Messarbeiten in den Wäldern eigenverantwortlich durch. In Bayern sind aktuell 20 speziell geschulte Mitarbeiter der Bayerischen Forstverwaltung bis Ende 2012 mit den Inventurarbeiten befasst. Die Ergebnisse haben eine große Bedeutung für die gesamte Forst- und Holzwirtschaft in Deutschland und Bayern. Im Zusammenhang mit den erwarteten Ergebnissen wird häufig die Frage gestellt, wie genau diese Inventur auf verschiedenen Ebenen Aussagen treffen kann. Dieser Artikel soll dazu beitragen, die Möglichkeiten und Grenzen der Bundeswaldinventur für Waldbesitzer verschiedener Größenordnungen in Bayern aufzuzeigen.

## Kurzbeschreibung des Verfahrens

Inventurtheoretisch handelt es sich bei der Bundeswaldinventur (BWI<sub>3</sub>) um eine systematische, einstufige Klumpenstichprobe mit regional unterschiedlicher Stichprobendichte. In Bayern werden im Rahmen der BWI<sub>3</sub> an circa 7.800 Stichprobenpunkten Messarbeiten durchgeführt (Abbildung 1). Die Stichprobenpunkte sind in den Regierungsbezirken Mittelfranken und Schwaben in einem Abstand von 2,83\*2,83 Kilometern angeordnet, in den übrigen Regierungsbezirken liegen die Stichprobenpunkte in einem 4\*4 km Raster vor. An den Stichprobenpunkten werden Probebäume mit Hilfe sogenannter Winkelzählproben ausgewählt beziehungsweise werden diverse Messarbeiten in Probekreisen verschiedener Größenordnung durchgeführt.

Aus den Stichprobendaten werden mittels Hochrechnungen über verschiedene Ebenen Schätzwerte für die Grundgesamtheit ermittelt. Die Stichprobe wird dabei als Zufallsauswahl betrachtet, wobei die systematische Anordnung der Trakte vernachlässigt wird. Als Maß für die Zuverlässigkeit der Schätzwerte werden Varianzen berechnet, aus denen wiederum der sogenannte Stichprobenfehler abgeleitet werden kann. Dieser Stichprobenfehler errechnet sich aus dem Quotienten der Standardabweichung der Stichprobenelemente und der Wurzel aus der Anzahl der Stichprobenelemente. Der

Inventurpunkte der Bundeswaldinventur 3

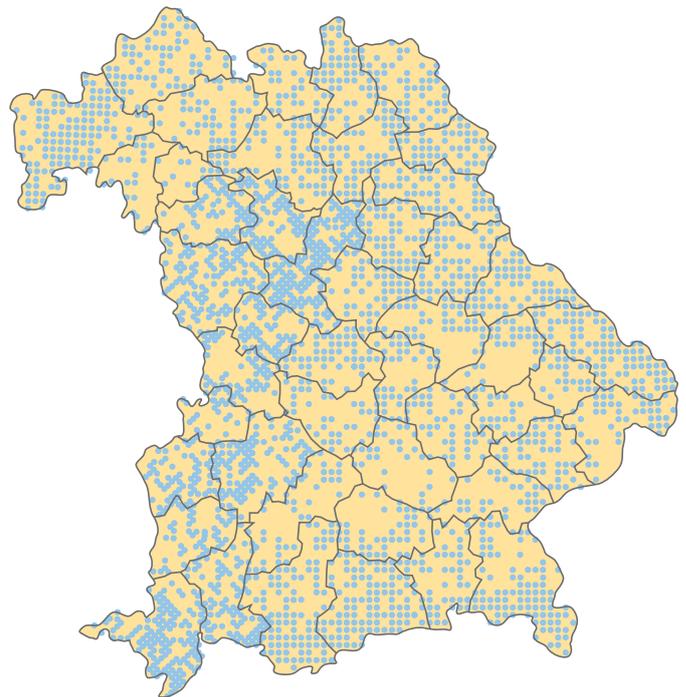


Abbildung 1: Verteilung der Stichprobenpunkte (Waldtrakte) der BWI<sub>3</sub> über Bayern nach AELF-Bereichen. An jedem dargestellten Punkt befinden sich ein bis vier Inventurpunkte (Waldtraktecken).

Stichprobenfehler hängt damit einerseits von der Variabilität eines betrachteten Zielmerkmals und andererseits von der Stichprobengröße ab. Grundsätzlich interessieren bei den Auswertungen zur Bundeswaldinventur besonders folgende Zielmerkmale (BMELV 2011b):

- (1.) Zuwachs je Hektar
- (2.) Vorrat je Hektar
- (3.) Fläche
- (4.) Zuwachs absolut
- (5.) Vorrat absolut
- (6.) Nutzung je Hektar
- (7.) Nutzung absolut
- (8.) Veränderung Vorrat je Hektar
- (9.) Veränderung Vorrat absolut
- (10.) Veränderung Fläche

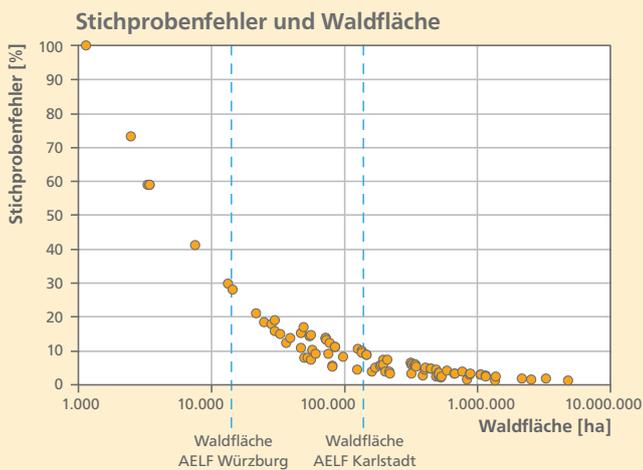


Abbildung 2: Zusammenhang zwischen Stichtabfehler und dem Zielmerkmal Waldfläche. Zusätzlich eingezeichnet sind die Waldflächen der AELFs Karlstadt und Würzburg (nicht maßstabsgerecht).

Da diese Zielmerkmale von Haus aus eine unterschiedliche Variabilität aufweisen, unterscheiden sich auch deren Stichtabfehler, auch bei der Betrachtung der gleichen Auswertungseinheiten. Bei gleicher Größe der Auswertungseinheiten steigt der Stichtabfehler von Zielmerkmal 1 bis 10.

Bei der Bundeswaldinventur wird im Regelfall der einfache Stichtabfehler angewendet. Der wahre Wert der untersuchten Grundgesamtheit liegt mit einer Wahrscheinlichkeit von 68 Prozent (=Vertrauensbereich) innerhalb einer Spanne von  $\pm$  des einfachen Stichtabfehlers um den mit der Stichprobe ermittelten Schätzwert.

Ein konkretes Beispiel soll diese theoretischen Aussagen noch einmal erläutern: Im Rahmen der Auswertung zur  $BWI_2$  wurde über alle Besitzarten und alle Inventurpunkte in Bayern ein Gesamtvorrat (nur Hauptbestand bzw. Plenterwald) von 396 Kubikmeter Holz pro Hektar ( $m^3/ha$ ) ermittelt, wobei der relative Stichtabfehler 1,0 Prozent betrug. Das heißt für die  $BWI_2$  konnte mit einer Wahrscheinlichkeit von 68 Prozent ermittelt werden, dass der mittlere Vorrat in Bayerns Wäldern in einem Bereich zwischen 392 und 400  $m^3/ha$  Holz lag.

### Auf welcher Ebene lassen sich sichere Aussagen treffen?

#### a) Landes- und Regierungsbezirksebene

Grundsätzlich liefert die Bundeswaldinventur konzeptionsbedingt sehr genaue Ergebnisse für großräumige Auswertungseinheiten. Der Stichtabenumfang hat dabei maßgeblichen Einfluss auf die Genauigkeit der Ergebnisse. Die Genauigkeit der Ergebnisse wird durch den Stichtabfehler angegeben. Abbildung 2 zeigt am Beispiel der Waldflächenermittlung die

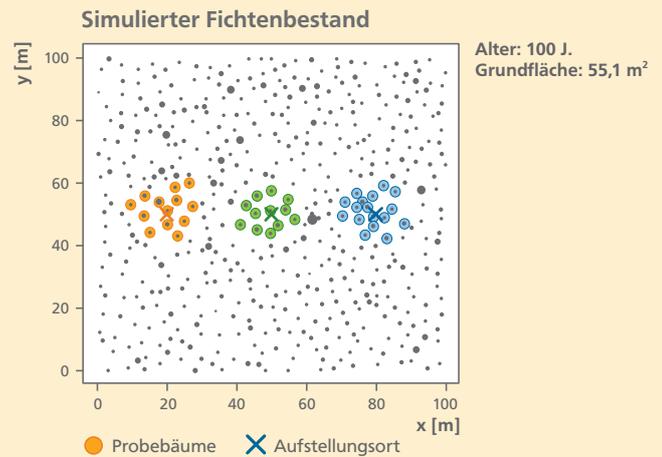


Abbildung 3: Simulierter Fichtenbestand mit  $55,1 m^2/ha$  Grundfläche. Farblich unterschiedlich dargestellt sind drei Aufstellungen und die von dort ausgewählten Probabäume mit einer Winkelzählprobe mit Zählfaktor 4.

Abhängigkeit des relativen Stichtabfehlers von der betrachteten Waldfläche. Danach beträgt der einfache, relative Stichtabfehler für die gesamte Waldfläche der Bundesrepublik Deutschland etwa 0,7 Prozent, für eine betrachtete Waldfläche von einer Million Hektar circa drei Prozent und für eine betrachtete Waldfläche von 100.000 Hektar circa zehn Prozent (Polley et al. 2004). Grundsätzlich sind daher sowohl auf Landesebene als auch auf Regierungsbezirksebene sehr genaue Ergebnisse – auch bei weitergehender Differenzierung zum Beispiel nach Waldbesitzarten – zu erwarten. Auch eine statistisch gesicherte Quantifizierung der Veränderungen der wesentlichen Zielmerkmale ist auf Landesebene und Regierungsbezirksebene im Regelfall möglich.

#### b) Ämter für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten

Grundsätzlich sinkt die Anzahl der verfügbaren Stichtabelemente bei einer weitergehenden räumlichen oder sachlichen Differenzierung zum Beispiel bei einer Betrachtung der Vorratsverhältnisse in verschiedenen Waldregionen nach Waldbesitzarten. Von Seiten der Forstpraxis wird bereits heute nachgefragt, ob gesicherte Aussagen für einzelne Ämter für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (ÄELF) möglich sein werden. In Abbildung 2 sind hierzu die Waldflächen des waldflächenreichsten ÄELF Karlstadt mit 402  $BWI_3$ -Inventurpunkten und des sehr waldflächenarmen ÄELF Würzburg mit 52 Inventurpunkten eingetragen. Aus dieser Darstellung wird in Verbindung mit den vorhergehenden Aussagen deutlich, dass zwar für einzelne Zielmerkmale der größeren ÄELF statistisch gesicherte Aussagen möglich sein werden, dass aber im Regelfall die Stichtabgröße für die meisten ÄELF-Bereiche in Bayern keine gesicherten Aussagen für die wesentlichen Zielmerkmale der  $BWI_3$  ermöglichen werden. Da aber der Stichtabfehler als Maß für die Güte der Inventurergebnisse

se nicht nur von der Stichprobengröße, sondern auch von der Variabilität der betrachteten Zielgröße abhängt, prüft derzeit die Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (LWF), ob eine geeignete Stratifizierung der Stichprobenpunkte, zum Beispiel nach gleichartigen Wuchsbedingungen, die Variabilität des Zielmerkmals in der Stichprobe reduziert, so dass gegebenenfalls durch die Zusammenfassung von Inventurpunkten angrenzender Amtsbereiche mit gleichartigen Wuchsbedingungen fundierte Aussagen für einzelne Amtsbereiche möglich werden. Über diese Ergebnisse wird gesondert berichtet.

### c) Waldbesitzer

Die Bundeswaldinventur ist nicht konzipiert als Inventur auf Bestandesebene. Die Aufnahmetrupps im Gelände werden allerdings gelegentlich mit Fragen konfrontiert, wie die Ergebnisse der Auswertungen eines Inventurpunktes mit den konkreten Waldverhältnissen des zugrunde liegenden Waldbestandes zusammenpassen. Ein Beispiel soll dies erläutern: Abbildung 3 zeigt einen ein Hektar großen Fichtenreinbestand mit einer Stammzahl von 509 Fichten und einem Mitteldurchmesser von 38,6 Zentimetern beziehungsweise einer mittleren Höhe von 33,3 Metern. Die Ausgangsdaten entsprechen in etwa den Werten nach der Ertragstafel von Assmann/Franz (1963) (Fichte, Oberhöhenbonität 36, Mittleres Ertragsniveau). Die Stammverteilung sowie die Einzelbaumdaten wurden generiert mit BWinPro 7.0 (TreeGroSS 2011). Der betrachtete Bestand besitzt eine Grundfläche von 55,1 m<sup>2</sup>/ha und hat einen Vorrat von 880 m<sup>3</sup> Holz. Betrachtet werden soll exemplarisch das Zielmerkmal *Grundfläche*, welches in der forstlichen Praxis als Maß für die Dichte von Beständen Anwendung findet. Die drei Kreuze simulieren die Mittelpunkte von BWI<sub>3</sub>-Inventurpunkten, die jeweils um 30 Meter von West nach Ost versetzt in diesem Bestand liegen. Die farbigen Markierungen um die Stammpositionen markieren die Probestämme, die bei Anwendung der Winkelzählprobe mit Zählfaktor 4 für die Stichprobe ausgewählt worden wären. Demnach variiert bereits in diesem vergleichsweise homogenen Bestand die Anzahl der Probestämme zwischen 12 und 17 bzw. die dadurch repräsentierte Grundfläche zwischen 48 und 68 m<sup>2</sup>/ha. Dieses kleine Beispiel zeigt, dass es selbst bei vergleichsweise homogenen Bestandesverhältnissen nicht möglich ist, aus den hochgerechneten Werten auf Inventurpunktebene Rückschlüsse auf die Bestandesverhältnisse im konkreten Bestand zu ziehen. Um auf Bestandesebene mit diesem Verfahren gesicherte Aussagen treffen zu können, wären in Abhängigkeit von den gewählten Sicherungsgrenzen sowie der gewählten Irrtumswahrscheinlichkeit etwa zehn bis 18 Inventurpunktaufnahmen nach dem Verfahren der BWI notwendig (Kramer und Akca 1995).

## Resümee

Die Bundeswaldinventur ist konzipiert als Inventur, die genaue Aussagen für großflächige Auswertungseinheiten ermöglicht. Für Bayern sind auf Landesebene sowie auf Regierungsbezirksebene auch bei weitergehender Stratifizierung, zum Beispiel nach Waldbesitzarten, sehr genaue Ergebnisse zu erwarten. Auf Ebene der Ämter für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten werden nur in Einzelfällen für einzelne Zielparame-ter statistisch gesicherte Aussagen möglich sein. Aktuell prüft die LWF weitergehende Stratifizierungsmöglichkeiten, um den Ämtern einen maximalen Informationsgewinn der aufwendigen Felddaufnahmen zu ermöglichen. Für den einzelnen Waldbesitzer, in dessen Waldungen Inventurpunkte fallen, sind mit dem angewendeten Verfahren keine Aussagen auf Bestandesebene möglich.

## Literatur

- Assmann, E.; Franz, F. (1963): *Vorläufige Fichten-Ertragstafel für Bayern. In: Hilfsstafeln für die Forsteinrichtung – zusammengestellt für den Gebrauch in der Bayerischen Staatsforstverwaltung*. Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (Hrsg.), 334 S.
- BayStMELF (2010): *Bayerischer Agrarbericht 2010 – Kurzfassung*. Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (Hrsg.), 95 S.
- BMELV (2011a): *Aufnahmeanweisung für die dritte Bundeswaldinventur – BWI3*. Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz. 2. Auflage, Mai 2011, Bonn und Berlin, 111 S.
- BMELV (2011b): *Stichprobenfehler*. Internetangebot des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz zur BWI2; <http://www.bundeswaldinventur.de/enid/6a1816914efc458d9cd1ed544f54d686,0/67.html>, abgerufen am 29.08.2011
- Kramer, H; Akca, A. (1995): *Leitfaden zur Waldmesslehre*. J.D. Sauerländer's Verlag – Frankfurt am Main, 3. Auflage. 266 S.
- Polley, H.; Hennig, P.; Schwitzgebel, F. (2004): *Ergebnisse und Methoden der zweiten Bundeswaldinventur – Holzvorrat, Holzzuwachs, Holznutzung*. Vortrag an der Universität Göttingen vom 16.04.2004, Folienunterlagen, 15 S.
- TreeGroSS (2011): *Forest Simulation BWinPro 7.0 (Beta 0.8 Version)*. <http://www.treegross.sourceforge.net>. © Prof. Dr. Jürgen Nagel, Forest Research Station of Lower Saxony, Grätzelstr. 2, 37079 Göttingen
- vTI (2008): *Die zweite Bundeswaldinventur – BWI2. Inventur- und Auswertungsmethoden*. Arbeitsbericht des Johann-Heinrich-von-Thünen-Instituts Eberswalde. 85 S.
- 
- Dr. Hans-Joachim Klemmt ist Landesinventurleiter für die BWI<sub>3</sub> in Bayern, Michael Neubert ist Mitarbeiter des BWI<sub>3</sub>-Teams an der Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft.  
[Hans-Joachim.Klemmt@lwf.bayern.de](mailto:Hans-Joachim.Klemmt@lwf.bayern.de)

---

Die Grundlage für Abbildung 2 wurde dankenswerterweise bereitgestellt durch das Johann-Heinrich-von-Thünen-Institut, Abt. Waldökologie und Waldinventur in Eberswalde (Frank Schwitzgebel).

# Katastrophe oder Chance?

## Schneelawinen und Biodiversität im Bergmischwald

Anton Fischer, Hagen Fischer und Ulrike Lehnert

Schneelawinen sind im Bergmischwald ein ungewöhnliches Störungs-Ereignis. Am Königssee trat dieses Ereignis 1986 oberhalb von St. Bartholomä im Nationalpark Berchtesgaden ein. Noch ungewöhnlicher als die großflächige Lawine im Bergmischwald selbst war, dass der Waldbestand nicht völlig zerstört wurde: stattdessen wurden die Bäume durch die abgehenden Schneemasen zu Boden »gebeugt« und lebten in dieser – für Bäume sehr ungewöhnlichen Haltung – weiter. Neue Lawinenabgänge folgten. So entstand ein »Freilandlabor« zur Untersuchung der Reaktionen von Wald auf eine Abfolge verschieden intensiver und verschieden lange zurückliegender Lawinen-Störungen, und zwar – da im Nationalpark gelegen – ohne unmittelbaren Eingriff des Menschen.



Foto A. Fischer

Abbildung 1: Bergmischwaldbestand drei Jahre nach dem Lawinenabgang

Am 18. Januar 1986 lösten sich von der Ostwand des Kleinen Watzmann große Schneemengen, liefen auf etwa 4,4 Hektar Fläche durch die Bergmischwaldzone und kamen erst in 610 Metern ü. NN, kurz vor den Ufern des Königssees, zum Stehen. Sind Schneebretter und Schneelawinen in der Nadelwaldstufe im Hochgebirge durchaus üblich, so kommen großflächige Lawinenabgänge in der Bergmischwaldzone doch nur selten vor. So ungewöhnlich wie das Ereignis selbst war auch seine unmittelbare Wirkung auf den Baumbestand: Die dort dominierenden, etwa 50-jährigen Bäume, meist Buchen, wurden nicht etwa entwurzelt oder gebrochen, sondern ihre Kronen wurden zu Boden gebeugt, die Bäume aber lebten in ihrer neuen, baum-untypischen »Haltung« weiter (Abbildung 1).



Foto: U. Lehnert

Abbildung 2: Aufrecht stehende Äste wachsen zu neuen »Bäumen« heran und bilden mittlerweile (2010) bis zu 15 Meter hohe Bestände.

### Wie lässt sich die Waldentwicklung erfassen und analysieren?

Im Sommer 1989 wurden hangparallele, den Lawinenverlauf kreuzende Transekte in 610, 700 und 740 Meter ü. NN angelegt, bestehend jeweils aus 10 x 10 Meter großen Dauerflächen, die vom ungestörten Wald über die Lawinenbahn möglichst wieder bis in den ungestörten Wald verlaufen. In den Jahren 1989, 1994 und 1999 fanden detaillierte Analysen der Pflanzenartenzusammensetzung statt.

Im Februar 1999, wenige Monate vor der geplanten dritten Vegetationsaufnahme, ereignete sich auf einer Fläche von fünf Hektar ein neues Lawinenereignis. Diese Lawine überschüttete Teile des ersten Lawinenstrichs. Zusätzlich wurde der südlich angrenzende, etwa 200-jährige Referenzbestand großflächig zerstört. Mit der Erhebung 1999 bestand damit die



Foto: U. Lehnert

Abbildung 3: Einige Buchen bewurzeln sich sekundär.

Möglichkeit, die Folgen der Störung auf solchen Flächen zu verfolgen, deren Artenzusammensetzung *vorher* bereits detailliert bekannt war. 2009 fand ein weiterer Lawinenabgang statt.

Nach der neuerlichen Erhebung 2010 überblicken wir nunmehr zwei Jahrzehnte einer sehr vielfältigen Waldentwicklung auf dieser Lawinenbahn.

**Die Überraschung: kaum Änderung der Artenzusammensetzung unter »gebeugten« Bäumen**

Die Schneelawine von 1986 veränderte das Landschaftsbild dramatisch. Von weit her war und ist die klaffende Lücke im Wald zu sehen. Aber die Zusammensetzung der Pflanzenarten, gerade auch der Arten der Bodenvegetation, änderte sich kaum. Die Buchen lebten weiter, nur waren ihre Baumkronen dichter an den Boden gedrückt (Abbildung 1). Die nun nach oben gerichteten Äste wuchsen als »Stämme« senkrecht in die Höhe und bilden heute einen etwa 15 Meter hohen »Jungwald« (Abbildung 2); teilweise bewurzelten sich bodennahe Stammbereiche sogar sekundär (Abbildung 3).

Da die Stämme nur vereinzelt entwurzelt waren, gab es auch kaum ausgehebelte Wurzelteller und damit nur wenig offenen Mineralboden, auf dem neue Arten hätten keimen können. Und da es nach wie vor ein dichtes Kronendach gab, blieben Mikroklima und Strahlungshaushalt weiterhin die eines Waldes. Während also auf Landschaftsebene eine massive Änderung der Waldstruktur eintrat, blieben die kleinstandörtlichen Bedingungen und damit die Artenkombination insgesamt fast unverändert. Nachdem dagegen die Lawine des Jahres 1999 die Bäume des Altbestandes entwurzelt und großteils zu Tal gerissen hatte, sah das Bild ganz anders aus: Eine Baumschicht fehlte hier und es gab viele aufgerissene Bodenpartien, auf denen sich Pflanzenarten neu ansamen konnten. In den Folgejahren bestimmten Gräser und Schlagflurarten die Artenzusammensetzung.

Lawinenbahnen und Transekte

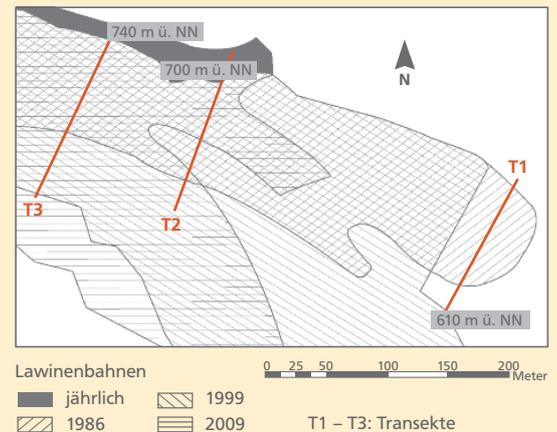


Abbildung 4: Die Lawinenbahnen und die daraus hervorgehenden Flächen unterschiedlicher Bestandsentwicklung

**Ein Jahr im Rotwildrevier**

Störungsempfindlich, misstrauisch, sensibel – gleichermaßen aber auch robust, anpassungsfähig und faszinierend: All diese Attribute rücken das Rotwild immer wieder in den Fokus der Wildbiologie, Jagdpraxis und Hege. Auch jagdpolitisch ist das Rotwild seit jeher ein Zankapfel.

Dieses Buch begleitet den Leser Monat für Monat durch ein »Rotwildjahr« im Revier und vermittelt, leicht verständlich aufbereitet, tiefgreifende Erkenntnisse über unsere größte heimische Schalenwildart.

Peter Burkhardt ist freier Journalist. Der passionierte Jäger und Schalenwildexperte betreut selbst ein Rotwildrevier im niedersächsischen Wendland.

red



Peter Burkhardt  
**Ein Jahr im Rotwildrevier**  
**Jagdpraxis und Hege**  
 Verlag Müller Rüschlikon  
 Umfang: 160 Seiten, 80  
 Abbildungen  
 Format: 170 x 210 mm  
 Bindung: broschiert  
 ISBN: 978-3-275-01792-8  
 Preis: 19,95 Euro

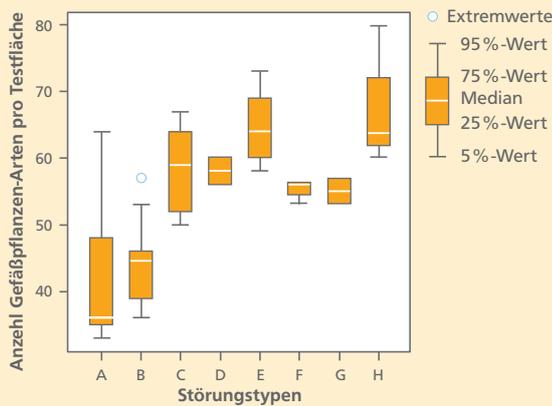


Abbildung 5: Die Artenvielfalt (Gefäßpflanzen) in den acht Störungstypen

### »Störung schafft Vielfalt«

Die Serie von Lawinen, die auf unterschiedlich alte Entwicklungsstadien des Bergmischwaldes trafen (Abbildung 4), schuf auf engem Raum nicht nur ein Mosaik an unterschiedlichen Waldstrukturen, sondern auch ein Mosaik von verschiedenen Waldbestand-Entwicklungslinien. Auf den insgesamt 46 Dauerbeobachtungsflächen konnten wir acht verschiedene Störungstypen und anschließende Sukzessionspfade unterscheiden.

Der Ausgangswald und der »gebeugte« Wald haben in etwa gleiche Artenzahlen (A und B in Abbildung 5). Alle anderen Störungstypen sind durch signifikant höhere Artenzahlen gekennzeichnet (C bis H in Abbildung 5).

Diese Vielfalt an Strukturen, Arten und Entwicklungswegen bleibt an dieser Stelle nur erhalten, solange entsprechende Störungen weiterhin wirken. Alte Luftbilder weisen darauf hin, dass der zunächst betroffene, damals etwa 50-jährige Buchenwald wohl seinerseits eine Regeneration nach einem früheren Lawinenabgang darstellte. Allerdings ist über diesen früheren Lawinenabgang nichts bekannt.

Störung schafft Vielfalt – das zeigt die Lawinenbahn von St. Bartholomä deutlich. Das heißt aber nicht, dass die Artenzahl pro Fläche stets und für alle Gruppen von Lebewesen ansteigen muss, wie der »gebeugte« Buchenwald zeigt. Um die Arten- und Standortvielfalt in Wäldern auf einem hohen natürlichen Maß zu halten, müssen solche Störungen akzeptiert und zugelassen werden. Das fällt leicht in einem Nationalpark, kann aber nicht flächig auf alle Wälder übertragen werden. Doch selbst in Zeiten eines verstärkten Nutzungsdrucks auf Wälder und auf ihr Holz ist »Störungen« ein angemessener Raum zu geben, um die Nagoya-Ziele zum Schutz der Biodiversität zu erreichen. Den Waldbewirtschafter »stören« sie, zum Erhalt der natürlichen Vielfalt sind sie aber essentiell.

Prof. Dr. Anton Fischer leitet das Fachgebiet Geobotanik der TU München im Department für Ökologie und Ökosystemmanagement des Wissenschaftszentrums Weißenstephan.

*a.fischer@wzw.tum.de*

Dr. Hagen S. Fischer ist Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Fachgebiet Geobotanik. Ulrike Lehnert bearbeitete das Forschungsprojekt am Fachgebiet Geobotanik sowohl 1999 im Rahmen ihrer Diplomarbeit als auch bei der Erhebung 2010.

### Hüeterbueb und Heitisträhl

Die Nutzung des Waldes in der Schweiz hat sich in den letzten 200 Jahren grundlegend verändert. Noch um 1800 waren im Wald die Ziegenweide und die Gewinnung von Viehfutter, Streu und Beeren ebenso wichtig wie die Holzproduktion. Erst im Verlauf des 19. und 20. Jahrhunderts verloren diese agrarischen und familienwirtschaftlichen Nutzungen an Bedeutung oder wurden gar aufgegeben.

In den traditionellen Formen der Waldnutzung kommen das gesammelte Wissen und die akkumulierten Erfahrungen ganzer Generationen zum Ausdruck. Dieser Erfahrungsschatz droht zu verschwinden, denn das Wissen von »Hüeterbueben« und die Umstände der Verwendung des »Heitisträhls« wurden kaum dokumentiert, obschon sie aus kulturhistorischer und ökologischer Sicht von großem Interesse sind.

Dem Buch beigelegt ist ein Dokumentarfilm von Rahel Grunder auf DVD. Darin werden in sechs Kurzfilmen wichtige Arten der traditionellen Waldnutzung vorgestellt, Gespräche mit Zeitzeugen und historisches Bild- und Filmmaterial ermöglichen Einblicke in die Vielfalt alter Formen der Waldnutzung in der Schweiz. Die DVD kann auch separat über die WSL bezogen werden.

red



Martin Stuber und Matthias Bürgi  
**Hüeterbueb und Heitisträhl**  
 Traditionelle Formen der Waldnutzung in der Schweiz 1800 bis 2000  
 Haupt Verlag, Bern  
 Bristol-Schriftenreihe 30  
 302 Seiten + DVD  
 120 Abbildungen  
 kartoniert, 17 x 24 cm  
**ISBN: 978-3-258-07693-5**  
**Preis: 38 Euro**

# Stilllegung ist nicht nachhaltig

Artikelserie der LWF beleuchtet die vielfältigen Aspekte der Waldnutzung

Stefan Nüßlein

Die Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft beginnt mit dieser Ausgabe von LWF aktuell eine neue Serie zur nachhaltigen Waldnutzung. Die Betonung liegt auf »Nutzung«. Die Nutzung der Wälder für vielfältige Zwecke prägt unsere Landschaften seit frühesten Zeiten, die Menschen leben seit jeher mit, in und von ihren Wäldern. Die Nachhaltigkeit als vorsorgendes Grundprinzip der Nutzung wurde bekanntlich in der Forstwirtschaft erfunden. Zertifikate wie PEFC dokumentieren seine umfassende Auslegung und Beachtung. Warum also thematisieren, was doch seit Jahrhunderten selbstverständlich ist?



Foto: HAF

Abbildung 1: Die pflegende Hand des Waldbesitzers befördert den Aufbau stabiler, klima- und funktionsgerechter Wälder.

Die Forstwirtschaft in Mitteleuropa zeichnet sich besonders dadurch aus, dass sie die verschiedenen Waldfunktionen bestmöglich integriert. Zunächst sind unsere Wälder Rohstofflieferanten. Die Holznutzung ist nicht nur legitimes Eigentümerinteresse, sie hat auch enorme volkswirtschaftliche Bedeutung. Vielen ist diese Bedeutung erst durch die Clusterstudien der jüngeren Zeit bewusst geworden. Der Wald ist bei Beachtung der Nachhaltigkeit eine unerschöpfliche Rohstoffquelle (Nutzfunktion). Hinzu kommen aber auch noch weitere Funktionen, die im Interesse von Gesellschaft und Gemeinwohl beachtet werden müssen und lokal auch besondere Bedeutung besitzen können: die sogenannten Schutz- und Erholungsfunktionen des Waldes.

Selten muss/sollte die Erfüllung dieser Gemeinwohlfunktionen, zu denen auch der Erhalt der Biodiversität zählt, die Nutzung gänzlich ausschließen – und wenn doch, dann örtlich begrenzt, an klaren Kriterien festgemacht, auf das Notwendige beschränkt und gegebenenfalls entgolten. *Integration der Funktionen statt Segregation, das ist im dicht*

*besiedelten Mitteleuropa das Modell der nachhaltigen Forstwirtschaft. Die vielgestaltigen Wälder, an denen wir uns erfreuen, sind ihr Produkt. Die Ergebnisse der Waldinventuren bestätigen dieses Erfolgsmodell.*

## Der Blick auf den Wald muss weiter werden

In der öffentlichen Diskussion wird die Rolle des Waldes demgegenüber seit einiger Zeit verengt betrachtet. Es werden Forderungen erhoben, Wälder mit pauschalen Ansätzen aus der Nutzung zu nehmen und künftig sich selbst zu überlassen. Vermeintliches Ziel ist der Erhalt der Biodiversität. Doch diese konnte trotz, oder vielleicht gerade wegen einer jahrhundertelangen Nutzung in einem beispielhaften Umfang erhalten werden. Läge bei dieser Ausgangssituation der Ausschluss der Rohstofffunktion also wirklich im gesellschaftlichen Interesse? Welchen Nutzen bringt die Bewirtschaftung und Pflege der Wälder über das rein Betriebliche hinaus? Wäre Stilllegung nachhaltig?

Auf Fragen wie diese sollen in dieser Artikelserie in LWF aktuell einige Schlaglichter aus der Wissenschaft geworfen werden. Es werden Aspekte der Nutzung aufgezeigt, die trotz großer Bedeutung, im Diskurs leicht untergehen. Die Beiträge werden Fakten in die laufende Diskussion einbringen und den teilweise auf die Frage »Nutzung oder Stilllegung« reduzierten Blickwinkel wieder erweitern. Die Anforderungen an den Wald sind nicht eindimensional. Der Wald kann mehr! Und er muss auch immer wieder neue Herausforderungen bestehen: Klimaveränderungen und Demografie machen vor dem Wald nicht halt und auch die Energiewende führt an der Verwendung nachwachsender Rohstoffe nicht vorbei.

Vizepräsident Dr. Stefan Nüßlein ist stellvertretender Leiter der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft.  
[Stefan.Nuesslein@lwf.bayern.de](mailto:Stefan.Nuesslein@lwf.bayern.de)

# Wald nutzen heißt Klimaschutz maximieren

LWF vergleicht verschiedene Nutzungsstrategien unter Klimaschutzaspekten

Christoph Schulz und Daniel Klein

Die Bedeutung des Waldes für den Klimaschutz liegt in seiner Fähigkeit, das Treibhausgas Kohlendioxid aus der Atmosphäre zu binden. Bei einer nachhaltigen Waldnutzung wird Kohlenstoff in verschiedenen Speichern im Wald sowie in Holzprodukten gebunden. Mit der Nutzung von Holz findet eine weitere Entlastung der Atmosphäre über Material- und Energiesubstitution statt. Über Art und Intensität der Nutzung werden die Größe der verschiedenen Speicher und die Substitutionseffekte beeinflusst. Modellierungen für Bayern zeigen, dass ein leichter Vorratsaufbau verbunden mit einer Holznutzung in Form von langlebigen Produkten mit späterer energetischer Nutzung aus kohlenstoffökologischer Sicht die beste Lösung darstellt. Es wird auch deutlich, dass der Betrachtungszeitraum für den Vergleich verschiedener Systeme eine große Rolle spielt. Auch Nutzungsverzicht erbringt eine Klimaschutzleistung – diese ist aber niedriger als bei einer nachhaltigen Nutzung und sie ist endlich.

Die Klimaschutzleistung des Forst-Holz-Komplexes setzt sich aus Kohlenstoffspeicherung und Substitutionseffekten zusammen: Die maßgeblichen Speicher sind die lebende ober- und unterirdische Biomasse, Totholz, Streuauflage und Boden sowie die Holzprodukte. Solange diese Speicher sich in der Summe vergrößern, wird der Atmosphäre Kohlendioxid entzogen und damit eine Klimaschutzleistung erzielt. Dass das in Bayern der Fall ist, zeigen die Ergebnisse von Klein und Schulz (S. 40–43 in diesem Heft). Die Speicherung erfolgt vor allem in der lebenden Biomasse im Wald und im Speicher der Holzprodukte.

## Substitution

Substitutionseffekte sind an die Verwendung von Holz gebunden: Materialsubstitution bedeutet, dass CO<sub>2</sub>-Emissionen vermieden werden, indem Holz energieintensiv hergestellte Materialien wie zum Beispiel Aluminium ersetzt. Im besten Fall kann durch Recycling des Holzes in mehreren Produkten eine wiederholte Materialsubstitution stattfinden (Kaskadennutzung). Die Klimawirkung der Materialsubstitution wird erfasst, indem für die existierenden Holzprodukte jene CO<sub>2</sub>-Emissionen abgeschätzt werden, die entstanden wären, wenn die Produkte aus anderen Materialien hätten hergestellt werden müssen. Die Klimabilanzen konkurrierender Nicht-Holzprodukte sind fast immer höher (siehe z.B. Albrecht et al. 2008), schwanken je nach Material stark und sind auch nicht für jedes Produkt bekannt. Für die Materialsubstitution wurde ein mittlerer, konservativer Wert von 0,7 Tonnen Kohlendioxid pro Kubikmeter (t CO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>) verwendet (Hofer et al 2007). Andere Untersuchungen weisen teilweise deutlich höhere Substitutionsfaktoren auf (z.B. Rüter 2011), was zeigt, dass in diesem Bereich noch Unsicherheiten herrschen.

Über Einschlagsmengen sowie die Zuordnung der Holz-mengen in Produktkategorien in Anlehnung an die Clusteranalyse Bayern und den oben erwähnten Faktor konnten für Bayern die Materialsubstitutionseffekte im Zeitraum zwischen 2003 und 2008 geschätzt werden. 8,6 Millionen Tonnen CO<sub>2</sub>

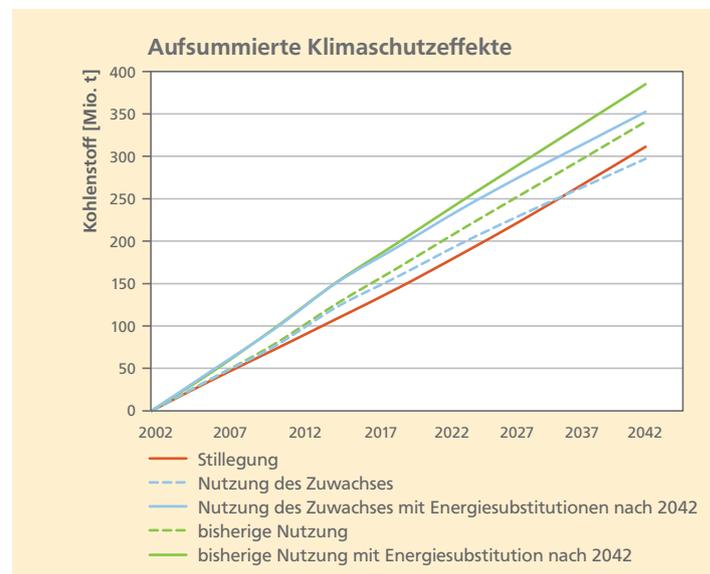


Abbildung 1: Die Entwicklung des gesamten Klimaschutzeffektes (Mio. t C) bei unterschiedlichen Entwicklungsszenarien bis 2042. Bei den durchgezogenen Linien wird die energetische Nutzung von langlebigen Holzprodukten nach 2042 berücksichtigt.

(bzw. 2,3 Mio. t C bei einem Umrechnungsfaktor von 3,67) wurden durch die Verwendung von Holz pro Jahr vermieden.

Energiesubstitution entsteht, wenn Holz durch energetische Nutzung den Verbrauch fossiler Brennstoffe ersetzt. Da der Heizwert fossiler Brennstoffe höher ist als bei Holz, muss für die gleiche energetische Leistung mehr Kohlenstoff aus Holz verbraucht werden als bei fossilen Brennstoffen. Der Faktor für die Entlastung der Atmosphäre durch Energiesubstitution mit Holz liegt deshalb bei 0,67 t C/m<sup>3</sup> (Köhl 2011). Für die Zeit von 2003 bis 2008 lag die Energiesubstitution in Bayern bei 4,0 Millionen Tonnen CO<sub>2</sub> je Jahr.

In der Summe bewirken die Substitutionseffekte durch die Verwendung von Holz eine Entlastung der Atmosphäre um 12,6 Millionen Tonnen CO<sub>2</sub> pro Jahr. 2005 lag beispielsweise

die jährliche energiebedingte Emissionsrate in Bayern bei 80,8 Millionen Tonnen CO<sub>2</sub> (StMUG 2009). Ohne Substitutionseffekte hätte sich die Emissionsrate pro Jahr auf 93,4 Millionen Tonnen CO<sub>2</sub> erhöht. Dies wäre ein Anstieg um circa 15 Prozent. Die Substitutionseffekte sind keinem zeitlichen Verfall unterworfen, sie sind dauerhaft wirksam, solange fossile Brennstoffe vermieden werden.

## Einfluss der Bewirtschaftung

Durch die Bewirtschaftungsform werden Speicherwirkung und Substitutionseffekte beeinflusst. Wenn beispielsweise die Nutzung des Waldes intensiviert wird (Vorratsabbau), verringert sich der Kohlenstoffspeicher der lebenden Biomasse im Wald, während sich der in Holzprodukten gespeicherte Kohlenstoff erhöht. Mit den größeren zur Verfügung stehenden Holzmenge steigen dann auch Material- und Energiesubstitution. Dem gegenüber steht eine Extensivierung der Nutzung, bei der die Vorräte im Wald steigen und damit die Kohlenstoffspeicherung in lebender Biomasse und im Totholz erhöht wird, dafür aber weniger oder kein Kohlenstoff in den Holzproduktespeicher überführt wird und deshalb auch geringere oder keine Effekte der Material- oder Energiesubstitution erfolgen.

Die gesamte Klimaschutzbilanz ist bei den verschiedenen Nutzungsformen keineswegs gleich: Der Holzzuwachs und damit die Bindung von Kohlenstoff in der lebenden Biomasse variiert mit der Eingriffsstärke. Die mittlere Verweildauer des Kohlenstoffs in lebender Biomasse, Totholz und verschiedenen Holzprodukten unterscheidet sich. Die Substitutionseffekte sind an die geernteten Holzmenge, die Verteilung auf Holzprodukte mit unterschiedlicher Lebensdauer und die Wiederverwendung von Holzprodukten gekoppelt.

## Energiewende treibt Bau von Fertighäusern an

Die Hersteller von Holzfertighäusern haben im ersten Halbjahr 2011 deutlich mehr Häuser verkauft als im Vorjahreszeitraum. Zugleich ist der Anteil an besonders energiesparsamen Effizienzhäusern weiter gestiegen.

Von Januar bis Juni 2011 wurden 7.330 Baugenehmigungen für Ein- und Zweifamilienhäuser in Fertigbauweise erteilt. Das entspricht einem Zuwachs von 27 Prozent gegenüber dem ersten Halbjahr 2010. Wie eine Erhebung des Bundesverbandes Deutscher Fertigbau e.V. (BDF) unter seinen Mitgliedsunternehmen ergab, melden acht von zehn Fertighaus-Herstellern ein steigendes Auftragsvolumen.

Nach Ansicht des BDF profitiert die Fertigbauweise von der Energiewende, weil die Fertighaus-Hersteller die gegenwärtig starke Nachfrage nach besonders energieeffizienten und mit erneuerbaren Energien versorgten Eigenheimen bedienen können. Der Anteil staatlich geförderter Effizienzhäuser in Holzfertigbauweise stieg auch 2011 weiter an. So werden inzwischen 86 Prozent der Fertighäuser in den Standards »Effizienzhaus 70« oder »Effizienzhaus 55« gebaut, sieben Prozent sogar als extrem sparsames »Effizienzhaus 40«, das kaum noch Heizenergie benötigt. red

Für den im Boden gespeicherten Kohlenstoff, ein sehr großer und träger Speicher, kann davon ausgegangen werden, dass verschiedene naturnahe Bewirtschaftungssysteme zu keinen gravierenden Unterschieden führen.

## Zukünftige Entwicklungen unterschiedlicher Nutzungsvarianten

Um eine Vorstellung von der Auswirkung verschiedener Nutzungssysteme auf die Klimabilanz zu erhalten, bietet es sich an, mit vorhandenen Daten aus der Bundeswaldinventur (BWI) für bayerische Wuchsbedingungen die zukünftige Entwicklung exemplarisch zu modellieren. Wie in anderen Bundesländern (z.B. Profft 2007; Wördehoff et al. 2011) wurde für einen längeren, hier 40-jährigen Zeitraum (2002 bis 2042) die Entwicklung der Kohlenstoffspeicher und der Substitutionseffekte für folgende drei Nutzungsvarianten gerechnet:

- bisherige Nutzung (Vorratsaufbau bei Laubholz, leichter Vorratsabbau bei Fichte)
- Nutzung des gesamten Zuwachses (verstärkte Holzernte)
- Stilllegung (keine Holzernte, deutlicher Vorratsaufbau, deutliche Zunahme des Totholzes)

Die Modellierung kann nicht alle oben genannten Änderungen erfassen. So werden für alle Nutzungsvarianten die gleichen Holzzuwächse unterstellt, obwohl davon auszugehen ist, dass bei Stilllegung auf Grund der zunehmend höheren Konkurrenz das Wachstum der einzelnen Bäume geringer ist als zum Beispiel bei einer intensiven Bewirtschaftung. Das steigende Kalamitätsrisiko mit steigenden Vorräten ist unberücksichtigt, die Verteilung auf die Holzprodukte unterliegt keiner Veränderung (Verwendungsschlüssel gemäß Clusterstudie Bayern) und es findet keine mehrfache stoffliche Nutzung, sondern lediglich eine energetische Nutzung zum Ende der Nutzungsdauer statt.

Abbildung 1 zeigt die Entwicklung der aufsummierten Klimaschutzeffekte aus jährlicher Bindung und Material- und Energiesubstitution bis 2042 (rote und gestrichelte Linien). Dabei wird kein Ausgangsspeicher berücksichtigt, weshalb alle Kurven bei null Tonnen Kohlenstoff beginnen. Den jährlichen Eintragungsmengen werden jährliche Austragsmengen gegenübergestellt, die je nach Produktkategorie und je nach Nutzungsdauer der Produkte variieren. Alle Nutzungsformen zeigen über diesen Zeitraum einen ähnlichen, weitestgehend linearen Anstieg mit durchschnittlichen jährlichen Steigerungen von 8,5 (bisherige Nutzung), 7,4 (Nutzung des gesamten Zuwachses) und 7,8 Millionen Tonnen Kohlenstoff (Stilllegung). Die Stilllegung überholt am Ende des Zeitraumes noch die Variante Nutzung des gesamten Zuwachses, weil der Biomassezuwachs bei Stilllegung höher ist als die summierten Effekte der Holznutzung. Wie oben erwähnt, wird für beide Fälle derselbe Zuwachs unterstellt. In der Realität dürfte der Zuwachs im 40-jährigen Zeitraum bei Stilllegung tendenziell abnehmen, bei Nutzung des gesamten Zuwachses hingegen zunehmen.

## Betrachtungszeitraum

Bei dieser Betrachtung bleibt bislang allerdings eine entscheidende Klimaschutzleistung nicht berücksichtigt, die nur entstehen kann, wenn Holz genutzt wird: Jedes Holzprodukt wird am Ende seiner Lebensdauer energetisch genutzt. Beim größten Teil der langlebigen Holzprodukte liegt dieser Zeitpunkt jedoch außerhalb des Modellierungszeitraumes von 40 Jahren und wird nicht als Klimaschutzleistung bilanziert. Wenn diese zukünftige Energiesubstitution auf den Zeitpunkt ihrer Bildung angerechnet wird (nämlich dann, wenn das Holz genutzt wird), entsteht der ebenfalls in Abbildung 1 gezeigte Verlauf: Die beiden Varianten *bisherige Nutzung* und *Nutzung des gesamten Zuwachses* (durchgezogene Linien) zeigen eine jährliche Klimaschutzleistung von 9,6 bzw. 8,8 Millionen Tonnen Kohlenstoff und liegen deutlich über der Variante Stilllegung mit 7,8 t C/Jahr (rote Linie). Über den 40-jährigen Zeitraum sind die Substitutionseffekte der entscheidende Unterschied zur Stilllegung.

Für den Vergleich von Nutzungsvarianten und Stilllegung hat der Betrachtungszeitraum grundsätzlich eine große Bedeutung. In der Abbildung zeigt sich, dass auch eine Stilllegung zumindest über 40 Jahre noch einen steten Klimaschutzeffekt hat. Zu irgendeinem späteren Zeitpunkt wird ein Vorratsmaximum erreicht, das sich aus Mortalität, der natürlichen Konkurrenz zwischen den einzelnen Bäumen und dem verfügbaren Raum ergibt. Ab diesem Zeitpunkt halten sich Kohlenstoffaufnahme und -freisetzung weitestgehend die Waage, womit die Klimawirkung des Waldes verloren geht.

Auch in einem nachhaltig genutzten Wald wird nach Erreichen eines optimalen Vorrates keine weitere Kohlenstoffspeicherung im Wald erfolgen. Durch die Nutzung werden aber weiterhin konstant Klimaschutzleistungen durch Kohlenstoffspeicherung in Holzprodukten sowie insbesondere durch Material- und Energiesubstitution erbracht. Es ist zu bedenken, dass auf sehr lange Sicht auch der Holzproduktespeicher irgendwann einen Sättigungspunkt erreichen kann und die genutzten Mengen dann lediglich den bereits vorhandenen Speicher aufrecht erhalten. Dann tragen im Unterschied zur Stilllegung aber immer noch die konstanten Substitutionseffekte zum Klimaschutz bei.

Eine Modellierung der BWI-Daten für weitere 40 Jahre ergab, dass die Stilllegung am Ende dieses Zeitraumes, also nach insgesamt circa 80 Jahren, die Tendenz einer abnehmenden Klimaschutzleistung aufwies. Dieser späte Wendepunkt gilt jedoch für einen Nutzungsverzicht bei durchschnittlichen bayerischen Bestandes- und Altersverhältnissen, wie sie sich aus den BWI-Daten ergeben. Da ein Nutzungsverzicht in aller Regel für reifere Wälder diskutiert wird, wäre bei Betrachtung von Einzelfällen schon früher mit rückläufigen Klimaschutzleistungen zu rechnen.

## Nutzung versus Stilllegung

Über einen begrenzten Zeitraum haben Stilllegung wie Nutzungsvarianten positive Klimaschutzbilanzen, wobei die Nutzung höhere Leistungen erzielt und diese dauerhaft erbringt. Langfristig verliert der stillgelegte Wald seine Klimawirkung. Je größer die stillgelegte Fläche, desto stärker wird sich das auf den Beitrag der Forst- und Holzwirtschaft zum Klimaschutz auswirken.

Aus rein kohlenstoffökologischer Sicht stellt eine nachhaltige Bewirtschaftung mit leichtem Vorratsaufbau und einer Holz-Kaskadennutzung mit abschließender energetischer Nutzung den Königsweg dar.

## Literatur

- Albrecht, S.; Rüter, S.; Welling, J.; Knauf, M.; Mantau, U.; Braune, A.; Baitz, M.; Weimar, H.; Sörgel, S.; Kreissig, J.; Deimling, J.; Hellwig, S. (2008): *Ökologische Potentiale durch Holznutzung gezielt fördern*. BMBF Förderschwerpunkt Nachhaltige Waldwirtschaft Endbericht. 295 S.
- Hofer, P.; Taverna, R.; Werner, F.; Kaufmann, E.; Thürig, E. (2007): *CO<sub>2</sub> Effekte der Schweizer Forst- und Holzwirtschaft*. Szenarien zukünftiger Beiträge zum Klimaschutz
- Köhl, M.; Frühwald, A.; Kenter, B.; Olschofsky, K.; Köhler, R.; Köthke, M.; Rüter, S.; Pretzsch, H.; Rötzer, T.; Makeschin, F.; Abiy M.; Dieter, M. (2009): *Potential und Dynamik der Kohlenstoffspeicherung in Wald und Holz: Beitrag des deutschen Forst- und Holzsektors zum Klimaschutz*. vTI Agriculture and Forestry Research Sonderheft 327. S.103–109
- Profft, I.; Arenhövel, W.; Seiler, M. (2007): *Wald & Holz-Potential für den Klimaschutz in Thüringen*. In: Mitteilungen der Thüringer Landesanstalt für Wald, Jagd und Fischerei (29). S.42–65
- Rüter, S. (2011): *Welchen Beitrag leisten Holzprodukte zur CO<sub>2</sub>-Bilanz?* AFZ-Der Wald 15, S.15–18
- StMUG (2009): *Klimaprogramm Bayern 2020*. Bayerisches Ministerium für Umwelt und Gesundheit. 48 S.
- Wördehoff, R.; Spellmann, H.; Evers, J.; Nagel, J. (2011): *Kohlenstoffstudie Forst- und Holz Niedersachsen*. Beiträge aus der Nordwestdeutschen Forstlichen Versuchsanstalt Band 6. 92 S.

Christoph Schulz ist Mitarbeiter in der Abteilung »Waldbesitz, Beratung, Forstpolitik« und leitet das Projekt »Die Kohlenstoffbilanz der bayerischen Forst- und Holzwirtschaft (KLIP 22)«. Daniel Klein ist Mitarbeiter in der Abteilung »Boden und Klima« der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft und bearbeitet dieses Projekt. [Christoph.Schulz@lwf.bayern.de](mailto:Christoph.Schulz@lwf.bayern.de), [Daniel.Klein@lwf.bayern.de](mailto:Daniel.Klein@lwf.bayern.de)

## Fazit

Nachhaltige Forstwirtschaft mit langfristiger, mehrfacher Holzverwendung und abschließender energetischer Nutzung ist das Beste, was wir machen können, wenn wir das Klima schützen wollen. Durch Stilllegung von Wald wird die Atmosphäre geringer und für limitierte Zeit entlastet.

## Nachrichten

Nachrichten

## Nachrichten

Nachrichten

**Zecken-Erkrankungen nehmen 2011 deutlich zu**

Bereits vor Ablauf der Zeckensaison steht fest: 2011 gibt es viele Zecken und besonders viele FSME-Erkrankungen. Allein in Bayern und Baden-Württemberg überstiegen bis Ende August dieses Jahres die FSME-Erkrankungen mit 290 Fällen die des gesamten Vorjahres (170) um 70 Prozent.

Wie das Bayerische Landesamt für Gesundheit und Lebensmittelsicherheit (LGL) mitteilt, könne es im Herbst dieses Jahres durchaus noch zu einem zweiten Höhepunkt der Erkrankungszahlen kommen. Das hängt vor allem davon ab, wie aktiv die Zecken sind und wie viel Zeit die Menschen im Freien verbringen. Das LGL macht auch darauf aufmerksam, dass Zecken nicht nur im ländlichen Raum, sondern auch in städtischen Parkanlagen häufig vorzufinden sind. Zum Schutz vor zeckenübertragenen Erkrankungen rät das LGL, den Körper nach einem Besuch in Grünanlagen ebenso wie nach einem Aufenthalt im Wald sorgfältig nach Zecken abzusuchen. Vorhandene Zecken sollten immer möglichst frühzeitig entfernt werden. Damit die Zecken gar nicht erst an den Körper gelangen, empfiehlt das LGL beim Aufenthalt in Park oder Wald geschlossene Kleidung zu tragen.

Welchen Einfluss der Klimawandel auf das Vorkommen von Zecken und zeckenübertragenen Erkrankungen ausübt, untersucht das LGL federführend in einem Verbund mit anderen Forschungseinrichtungen in der bayernweiten VICCI-Studie (*Vector-borne Infectious Diseases in Climate Change Investigations*). red

**BaySF mit DFSZ-Zertifikat ausgezeichnet**

Die Forsttechnik der Bayerischen Staatsforsten erfüllt die Qualitätsstandards des Deutschen Forst Service Zertifikats (DFSZ), das vom Verband der Agrargewerblichen Wirtschaft e.V. (VdAW) vergeben wird. Im Rahmen eines umfassenden Audits wurde die Forsttechnik in den Bereichen Fällung und Aufarbeitung, Rückung, Lagerung und Wegebau überprüft. In allen Feldern konnte die in Bodenwöhr ansässige Forsttechnik der Bayerischen Staatsforsten überzeugen.

Die Überprüfung bestätigte, dass die Bayerischen Staatsforsten ihr Kerngeschäft, die Holzernte, auf hohem fachlichen Niveau durchführen. Das beinhaltet aber nicht nur eine professionelle und saubere Ernte und Bereitstellung von Holz, sondern gleichzeitig auch eine den Boden und Bestand schonende Arbeit. So wurde während des Audits beispielsweise kontrolliert, ob ausreichende Schutzmaßnahmen vorliegen, sollte es einmal zum Austreten von Hydrauliköl kommen. Für Bruno Starke, den Leiter der Forsttechnik, ist das Zertifikat

Bestätigung für die professionelle und sorgfältige Waldarbeit als essentielle Grundlage einer naturnahen Forstwirtschaft, wie sie bei den Bayerischen Staatsforsten praktiziert wird.

Die Forsttechnik der Bayerischen Staatsforsten ist der erste deutsche Staatsforstbetrieb, der dieses von PEFC anerkannte Deutsche Forst Service Zertifikat erhält. BaySF

**Die 100 schönsten Geotope Bayerns**

Foto: Nationalpark Berchtesgaden

Die Liste der hundert schönsten Geo-Wunder in Bayern ist komplett. Zum Abschluss des europaweit einmaligen Umweltbildungsprojekts »Bayerns schönste Geotope« wurde der »Watzmann mit Eiskapelle« am Königssee als 100. Geotop mit dem Gütesiegel ausgezeichnet. Als »Bayerns schönste Geotope« werden Objekte wegen ihrer Schönheit, Seltenheit, Eigenart oder ihrem hohen wissenschaftlichen Wert bezeichnet. Sie sollen für die Öffentlichkeit leicht zugänglich sein, denn diese Stellen gestatten, wie durch ein Fenster, einen Blick weit zurück in die Erdgeschichte Bayerns.

Der Watzmann entstand vor rund 220 Millionen Jahren, als sich der Meeresspiegel absenkte und fossile Ablagerungen ansammelten. Diese wurden später bei der Alpenbildung durch enorme Kräfte in die Höhe gehoben. Unterhalb der Watzmann-Ostwand liegt die »Eiskapelle«. Diese Eishöhle ist Teil des tiefst gelegenen dauerhaften Firneisvorkommens im deutschen Alpenraum.

Zum Abschluss des Naturschutzprojekts wurde auch der Bildband »Hundert Meisterwerke – Die schönsten Geotope Bayerns« herausgegeben. Das Buch des Landesamtes für Umwelt (LfU) enthält Beschreibungen sowie detaillierte Grafiken und Wanderkarten zu den einzelnen Geo-Wundern. Der Bildband »Hundert Meisterwerke« ist unter [www.bestellen.bayern.de](http://www.bestellen.bayern.de) und im Buchhandel erhältlich. LfU

## Projekt-Abschluss WINALP in Wildbad Kreuth

Die Bergwälder der Nordalpen übernehmen wichtige Aufgaben für Mensch und Umwelt. Jedoch fehlten Forstpraktikern, Waldbesitzern und Forstbetrieben bisher flächendeckende Standortinformationen, auf deren Grundlage sie den Klimawandel berücksichtigen und den Wald optimal bewirtschaften können. Das EU-Forschungsprojekt WINALP (Waldinformationssystem Nordalpen) hat diese Lücke geschlossen: Für alle Waldflächen der Bayerischen und Nordtiroler Kalkalpen sowie für ein Pilotgebiet im Salzburger Land liegen ab sofort digitale Waldtypenkarten im Maßstab 1:25.000 vor, welche die in den Bergwäldern herrschenden Umweltbedingungen dokumentieren. Auf dieser Basis können Waldbesitzer und Forstbetriebe heute schon die Risiken von morgen einplanen und den Bergwald für das nächste Jahrhundert entsprechend gestalten.

Das Projekt wurde aus Mitteln des Europäischen Fonds für Regionale Entwicklung (EFRE) im Programm INTERREG IV A gefördert. Im WINALP fand ein intensiver grenzüberschreitender Austausch statt. Gemeinsam mit erfolgreichen Vorgängern hat dieses EU-Projekt erreicht, dass heute von Südtirol bis Bayern vergleichbare Geographische Informationssysteme und Waldtypenkarten existieren. red

Weitere Hintergrundinformationen zum EU-Projekt WINALP können unter [www.winalp.info](http://www.winalp.info) abgerufen werden. Bildmaterial zur WINALP-Abschlussveranstaltung sind auf der Seite der Bayerischen Forschungsallianz unter [www.bayfor.org/winalp-pressemitteilung](http://www.bayfor.org/winalp-pressemitteilung) einzusehen.

## »Zentrum Nachhaltigkeit Wald« im Steigerwald

Das im Steigerwald geplante »Zentrum-Nachhaltigkeit-Wald« wird in der unterfränkischen Gemeinde Oberschwarzach errichtet. Im Ortsteil Handthal, ein beliebtes regionales Ausflugsziel, entsteht bis 2013 ein bundesweites Vorzeigeprojekt zum Thema nachhaltige Waldbewirtschaftung, das wertvolle Entwicklungsimpulse für die gesamte Region leisten wird. Geplant ist ein attraktives Informations- und Erlebniszentrum mit spannenden Angeboten, die den Wert und die Notwendigkeit nachhaltiger Forstwirtschaft vermitteln. Das benachbarte oberfränkische Ebrach mit seiner bekannten Zisterzienser-Abtei wird über ergänzende Projekte eng in das Gesamtkonzept eingebunden. Dort wird als Besuchermagnet etwa ein innovativer Baumwipfelpfad verwirklicht. Damit die gesamte Region Steigerwald von der Initiative profitieren kann, wird derzeit im Rahmen der EU-Gemeinschaftsinitiative Leader ein Netzwerkprojekt vorbereitet, das die Umsetzung weiterer Vorhaben ermöglichen soll.

Bereits jetzt haben drei Landkreise und acht Kommunen erklärt, sich in dem zu gründenden Trägerverein zu engagieren. Auch die Bayerischen Staatsforsten und die Forstverwaltung werden sich beteiligen. Insgesamt wird eine breit aufgestellte Kooperation aus Kommunen, regionalen Akteuren und Förderern erwartet. red

## Nächste Ausgabe: Jungbestandspflege

Im Rahmen des Klimaprogramms »Bayern 2020« bearbeitet seit Oktober 2008 die Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft das Forschungsprojekt »Waldbaukonzepte für Risikogebiete«. Ziel dieses Projektes sind waldbauliche Bewirtschaftungs- und Pflegekonzepte, mit deren Hilfe Forstleute und Waldbesitzer die Waldbestände an die sich rasch ändernden Klimabedingungen besser anpassen können. In diesem Zusammenhang hat das zuständige Projektteam gemeinsam mit der »KLIP7-Steuerungsgruppe« im Jahr 2010 eine neuartige, praxiserprobte Vorgehen zur Pflege von Jungbeständen entwickelt. Dabei steht neben der Qualitätssicherung in Laubholzdickungen die Steuerung der Baumartenanteile in Mischbeständen unter Berücksichtigung der spezifischen Wuchsdynamik der einzelnen Baumarten im Fokus. Das erarbeitete Vorgehen und die dafür zusammengestellten Inhalte und Beratungshilfsmittel wurden von speziell geschulten Waldbautrainern in zielgruppenorientierten Fortbildungen den Beratungsförstern der Forstverwaltung vermittelt.

In unserer nächsten Ausgabe von LWF aktuell widmen wir uns intensiv diesem Fortbildungsprodukt. Unter anderem stellen wir waldbauliche, ertragskundliche, forsttechnische, naturschutzrelevante und waldschutzfachliche Inhalte und Informationen rund um das Thema »Pflege von Jungbeständen« vor. red

## Impressum

**LWF aktuell – Magazin der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft im Zentrum Wald-Forst-Holz Weihenstephan**

LWF aktuell erscheint sechsmal jährlich zuzüglich Sonderausgaben. Erscheinungsdatum der vorliegenden Ausgabe: 7. November 2011  
Namentlich gezeichnete Beiträge geben nicht unbedingt die Meinung des Herausgebers wieder.

### Herausgeber:

Olaf Schmidt für die Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft  
Prof. Dr. Anton Fischer für das Zentrum Wald-Forst-Holz Weihenstephan  
Hans-Carl-von-Carlowitz-Platz 1, 85354 Freising  
Telefon: 0 81 61 | 71-4881, Telefax: 0 81 61 | 71-4971  
[www.lwf.bayern.de](http://www.lwf.bayern.de) und [www.forstzentrum.de](http://www.forstzentrum.de)  
[redaktion@lwf.bayern.de](mailto:redaktion@lwf.bayern.de)

**Chefredakteur:** Michael Mößnang V.i.S.d.P.

**Redaktion:** Michael Mößnang, Anja Hentzschell-Zimmermann, Florian Mergler (Waldforschung aktuell)

**Gestaltung:** Christine Hopf

**Layout:** Grafikstudio 8, Langenbach

**Druck:** Humbach und Nemazal, Pfaffenhofen

**Auflage:** 2.500 Stück

**Papier:** aus nachhaltiger Forstwirtschaft

**Bezugspreis:** EUR 5,- zzgl. Versand

für Mitglieder des Zentrums Wald-Forst-Holz Weihenstephan e.V. kostenlos

Mitgliedsbeiträge: Studenten EUR 10,- / Privatpersonen EUR 30,- /

Vereine, Verbände, Firmen, Institute EUR 60,-

ISSN 1435-4098

Alle Rechte vorbehalten. Nachdruck, auch auszugsweise, erwünscht, aber nur nach Rücksprache mit dem Herausgeber (schriftliche Genehmigung). Wir bitten um Quellenangabe und Überlassung von Belegexemplaren.

# Ausgezeichnet

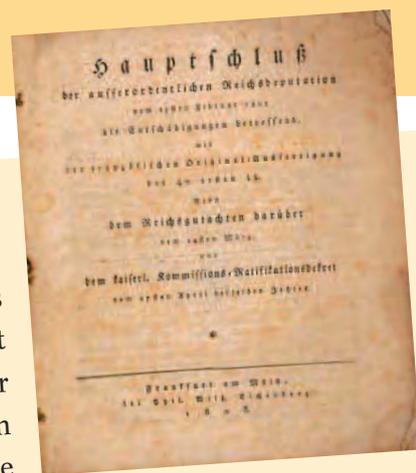
Erlesenes aus alten Quellen

## Die Geburtsstunde des Privatwaldes

Ausschlaggebend für die Entstehung des Privatwaldes war der Reichsdeputationshauptschluss und die damit verbundene Säkularisation von 1803. Damals wurde der gesamte kirchliche Besitz vom Staat übernommen – auch die Wälder. Auf diesen Flächen lasteten jedoch uralte Rechte der ländlichen Bevölkerung. Um die staatlichen Waldflächen frei von Rechten zu erhalten, wurden die Rechte der Bauern in Wald abgelöst. Damit entstanden viele kleine rechtfreie Parzellen bäuerlichen Waldes, und es verblieb ein großes Stück rechtfreier Wald im Eigentum des Staates. Diese groß angelegte Ablösung von Rechten wird auch als Purifikation bezeichnet. Auf diese Weise entstand das Gros des bäuerlichen Privatwaldeigentums.

Ein Rechtler erhielt für ein Klafter Holzrecht etwa 1,5 Tagwerk Wald. Allerdings war die aus den Holzrechten abgeleitete Fläche oft größer als der tatsächlich vorhandene Wald. Bei der Purifikation des Kollegiatstiftes Habach im Landkreis Weilheim hätte die Abfindung 1.490 Tagwerk betragen, das Stift besaß jedoch nur 1.180 Tagwerk. Letztlich einigte man sich darauf, dass 90 Prozent des Stiftswaldes an die Rechtler verteilt wurden und zehn Prozent in Staatsbesitz übergangen.

Foto: Titelseite des Reichsdeputationshauptschlusses aus dem Jahr 1803



Quelle: Wikipedia

hamberger