

# 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.

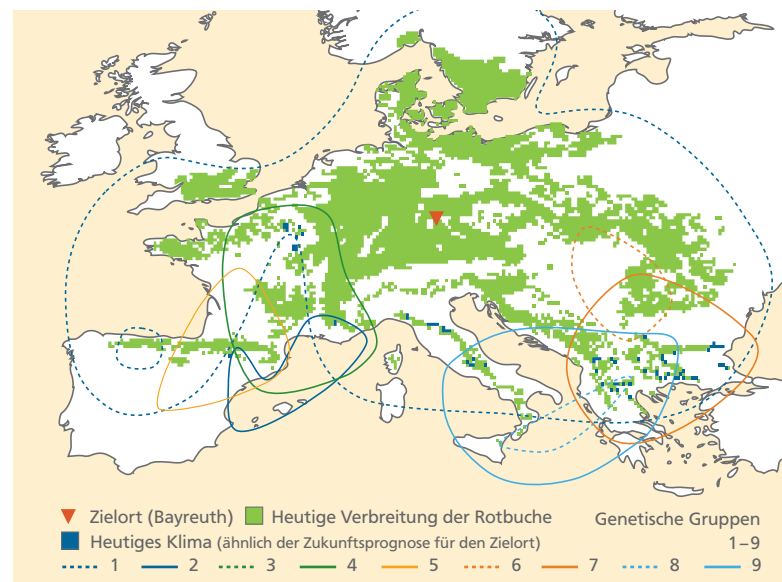


Abbildung 1: Gegenwärtige Verbreitung der Rotbuche (grün, EUFORGEN 2009) und durch Linien hervorgehobene genetisch unterschiedliche Regionen auf Grund von Isoenzymen (nach Magri et al. 2006). Die dunkelblauen Pixel verdeutlichen Regionen innerhalb dieser Verbreitung, in denen schon heute ähnliche Klimaverhältnisse 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-



Fotos: J. Kreyling

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

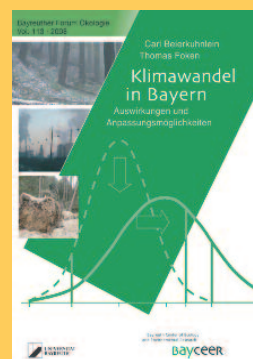
**Studie zum Klimawandel in Bayern**

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, gerhard.huber@asp.bayern.de, monika.konnert@asp.bayern.de, daniel.thiel@uni-bayreuth.de, camilla.wellstein@uni-bayreuth.de, carl.beierkuhnlein@uni-bayreuth.de