

Anpassung der Wälder an den Klimawandel

Was Klimahüllen uns verschweigen

Von Andreas Bolte, Pierre Ibisch, Annette Menzel und Andreas Rothe

Nicht nur das Klima selbst, sondern auch die Diskussion über eine Anpassungsfähigkeit unserer Wälder an den Klimawandel heizt sich zunehmend auf. Schon werden Fichte und Kiefer „als vom Aussterben bedroht“ und Buche als Verlustbaumart angesehen [21]. Eine Versachlichung der öffentlichkeitswirksamen Diskussion über die Zukunft der Wälder in Deutschland ist geboten. Unsere derzeitige Vorstellung zur Reaktion heimischer Waldbaumarten auf den Klimawandel wird stark durch „Klimahüllen“ geprägt, die anhand langjähriger Temperatur- und Niederschlagsmittel gebildet werden [17]. Den Schöpfern dieser Klimahüllen gebührt die Anerkennung, die bisher nur auf Basis von gutachtlichen Einschätzungen geführten Diskussionen mit einem wissenschaftlichen Verfahren untermauert zu haben. Aber reicht das Verfahren in dieser bisher einfachen Form aus, um darauf die waldbaulichen Planungen zur Anpassung der Wälder an den Klimawandel aufzubauen?

Die Klimahüllenanalyse – ein Verfahren ohne Schwächen?

Die Methodik der bioklimatischen Hüllen („climate envelopes“, bzw. „bioclimatic envelopes“) entstand Anfang der 1980er-Jahre zur Abschätzung der Verbreitung von Pflanzenarten [8]. Die Klimahüllen bauen auf dem Konzept der „ökologischen Nischen“ auf, die das Vorkommen von Arten in Abhängigkeit von verschiedenen Umweltfaktoren beschreiben. Frühzeitig wurden die Klimahüllen auch auf forstliche Herkunftsversuche angewendet: BOOTH et al. [7] entwickelten bioklimatische Analysen, um die ökologische Variabilität von Arten zu ermitteln. Komplexe bioklimatische Hüllen (im Folgenden vereinfacht auch „Klimahüllen“ genannt) berücksichtigen eine größere Zahl von Klimaparametern, also nicht unbedingt nur jährliche oder monatliche Mittelwerte oder Summen von

Temperatur und Niederschlag (vgl. [16]). Dabei können die rein auf klimatischen Größen aufbauenden Klimahüllen als Sonderform von „Ökohüllen“ betrachtet werden, die eingesetzt werden, um die Verbreitung von Pflanzenarten in Abhängigkeit von Standortfaktoren wie z.B. Wasserhaushalt, Temperatur, Licht oder Bodenazidität darzustellen (z.B. ELLENBERG-Ökogramme [12]). International wird die Aussagekraft der Klimahüllen-Analysen schon seit einigen Jahren diskutiert und es gibt mittlerweile eine umfangreiche Literatur zu diesem Thema [20]. Nach wie vor stellt aber die Klimahüllen-Analyse ein zentrales Instrument zur Beurteilung der Auswirkungen von Klimänderungen auf die Biodiversität dar.

In Deutschland werden zusehends einfache Klimahüllen unserer Waldbaumarten als Beurteilungsgrundlage für die Anpassungsfähigkeit einzelner Arten an den laufenden Klimawandel verwendet [17, 18]. Dreh- und Angelpunkt der Klimahüllenanalyse ist dabei die statische Projektion der heutigen Klimahüllen der Baumarten in eine Zukunft mit geänderten Klimabedingungen nach den Szenarien der Klimaforschung. Eine sinnvolle Interpretation der Klimahüllen erfordert jedoch die Kenntnis der wesentlichen Grundannahmen dieses vereinfachenden Verfahrens und der damit verbundenen Unsicherheiten. Um vorschnellen und vielleicht falschen Schlüssen zur Anpassungsfähigkeit einzelner Wald-

baumarten vorzubeugen, sollen hier wichtige Grundannahmen des Klimahüllenverfahrens genannt und diskutiert werden.

Entscheiden Jahresniederschlag und Jahresmitteltemperatur über die Baumartenverteilung?

Die Baumartenverteilung wird von einer vielschichtigen Wechselwirkung aus abiotischen und z. T. auch biotischen Faktoren bestimmt. Die Beschränkung auf Jahresmitteltemperatur und Jahresniederschlag vernachlässigt z.B. den Einfluss des Bodens auf das Wasserangebot und behandelt einen Sandboden mit geringer Wasserhaltekapazität genauso wie einen Lössboden mit doppelter oder dreifacher Wasserspeicherung. Weitere Einflussfaktoren wie Grundwasser oder Spätfrostgefahr, die sich in den letzten Jahrzehnten bereits nachweislich geändert hat [19, 23], werden ebensowenig berücksichtigt. Selbst in den Gebieten, in denen klimatische Größen die Baumartenverbreitung steuern, ist die Verwendung von Jahresdurchschnittswerten fraglich, da beispielsweise für mediterrane Arten die Winterkälte der limitierende Faktor ist und andererseits für mitteleuropäische Arten oftmals Witterungsextreme wie Hitze und Trockenheit entscheidend für die Verbreitung sind [6]. Diese Witterungsextreme werden in Zukunft weiter an Bedeutung gewinnen, da mit der Klimaerwärmung auch die Häufigkeit von Extremereignissen ansteigt [26]. Ein weiteres Problem bei der Verwendung von Jahresmittelwerten der Lufttemperatur ist, dass eine große Spannweite zwischen Sommer- und Wintertemperatur in stärker kontinental getönten Klimabereichen durch Mittelung nivelliert wird.

Bestimmt das Vorkommen einer Baumart in der natürlichen Waldgesellschaft ihre Vitalität unter geänderten Klimabedingungen?

Die bisher im Wald verwendeten Klimahüllen basieren auf der heutigen natürlichen Verbreitung (= Areale) der Baumarten

Prof. Dr. A. Bolte leitet das Institut für Waldökologie und Waldinventuren des Johann Heinrich v. Thünen-Instituts, Bundesinstitut für Ländliche Räume, Wald und Fischerei (vTI) in Eberswalde. Prof. Dr. P. Ibisch vertritt das Fach Naturschutz am Fachbereich für Wald und Umwelt der Fachhochschule Eberswalde. Prof. Dr. A. Menzel leitet das Fachgebiet Öklimatologie am Wissenschaftszentrum Weihenstephan für Ernährung, Landnutzung und Umwelt der Technischen Universität München. Prof. Dr. A. Rothe vertritt die Fächer Nachhaltigsicherung, Ökologie der Waldbäume und Standortslehre an der Fachhochschule Weihenstephan.

Andreas Bolte
Andreas.Bolte@vti.bund.de

ten, die z. B. aus der Karte der natürlichen Vegetation Europas abgeleitet werden [4]. Dabei wird nicht berücksichtigt, dass viele Baumarten weit über die Grenze ihres natürlichen Verbreitungsgebietes angebau wurden („synanthrope“ Vorkommen) und dort auch vital sind. Ein Beispiel ist der Anbau der Fichte in Großbritannien, wo die Klimaverhältnisse deutlich von ihrem natürlichen Verbreitungsgebiet abweichen. Grundsätzlich ist anzumerken, dass viele Baumarten bei ausreichender Durchlüftung und Drainage des Bodens auch mit höheren Jahresniederschlägen zurechtkommen könnten – Verhältnisse, die es zurzeit in Mitteleuropa nicht gibt.

Bei der natürlichen Verbreitung spielen neben der standörtlichen Eignung die Konkurrenzverhältnisse eine entscheidende Rolle. Das bekannteste Beispiel hierfür ist die Kiefer, die sehr anpassungsfähig ist und praktisch alle waldfähigen Standorte besiedeln kann. Auch die praktischen Erfahrungen zeigen, dass die Kiefer (oftmals nach künstlicher Begründung) auf vielen trockenen und warmen Standorten vital ist. Aufgrund ihrer geringen Konkurrenz-

kraft kommt sie jedoch in Mitteleuropa natürlicherweise nur auf Extremstandorten vor, die für die konkurrenzstärkeren Baumarten wie Buche nicht geeignet sind. Es ist jedoch zu erwarten, dass sich mit der prognostizierten Klimaänderung auch die Konkurrenzsituation zwischen den Baumarten verschieben wird. Klimahüllen, die auf der natürlichen Waldgesellschaft basieren, sind deshalb insbesondere bei konkurrenzschwachen Baumarten wie Kiefer zur Beurteilung der zukünftigen Anbaueignung nur bedingt aussagekräftig.

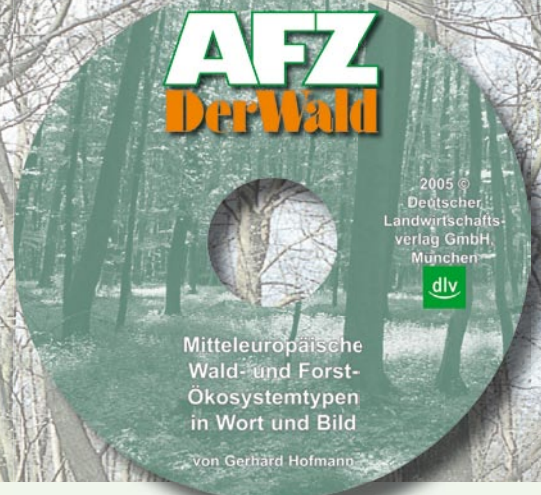
Ist die natürliche Verbreitung im Gleichgewicht mit den Limitierungsfaktoren, und ist die Verbreitungsgrenze klar definierbar?

Die natürlichen Verbreitungsgrenzen von vielen Baumarten sind nicht unmittelbar bestimmbar. Grund hierfür ist die menschliche Überprägung, die zu einer starken Erweiterung oder Einengung der Baumartenverbreitung geführt hat. So decken

unterschiedliche Annahmen der Buchenverbreitungsgrenze in Polen einen Bereich mit einer Ost-West-Ausdehnung von etwa 150 km ab [5]. Die starke menschliche Überprägung der heutigen Baumartenverteilung bedeutet auch, dass die natürliche Waldgesellschaft nur indirekt über verschiedene Hinweise wie Pollenanalysen oder der Vegetationsdynamik in Naturwaldresten abgeleitet werden kann. Die Karte der natürlichen Waldgesellschaft stellt damit quasi ein Expertensystem dar, das zwangsläufig mit Unsicherheiten verbunden ist. Werden natürliche Verbreitungsgrenzen mangels anderer Informationen aus Klimaparametern abgeleitet, ist die Gefahr eines Zirkelschlusses gegeben. Zudem erschweren die lokale und regionale Anpassung von Populationen einer Baumart und die Herausbildung von Herkünften eine pauschale Bewertung des gesamten Verbreitungsgebietes im Hinblick auf ihre klimatische Anpassung. Zur Fehleinschätzung kann auch die Tatsache beitragen, dass vielerorts nicht-authochthones und ggf. weniger gut angepasstes Pflanzmaterial zur Verwendung kam. ▶

Mitteleuropäische Wald- und Forst-Ökosystemtypen

91 verschiedene Ökosysteme beschreibt die CD-ROM „Mitteleuropäische Wald- und Forst-Ökosystemtypen in Wort und Bild“. Sie ist auf jedem PC zu lesen und kann nach verwendeten Begriffen durchsucht werden.



Berücksichtigte Ökosysteme	Zahl
Weichholz-Auenwald	1
Schwarzerlenwälder	9
Moorbirkenwälder	4
Eschenwälder	3
Feldulmenwälder	2
Ahornwälder	4
Sommerlindenwälder	1
Buchenwälder	23
Hainbuchenwälder	6
Eichenwälder	6
Kiefernwälder und -forsten	20
Fichtenwälder und -forsten	12

Ja, schicken Sie mir die **CD Mitteleuropäische Wald- und Forstökosysteme** zum Stückpreis von 15,- €* , (Mengenrabatte auf Anfrage)

Name/Vorname

Straße/Hausnummer

PLZ/Ort

Telefon/E-Mail

Ich bin damit einverstanden, dass Sie mich über neue Produkte und Dienstleistungen per Telefon, E-Mail, Telefax oder SMS informieren (ggf. streichen). Mir ist bekannt, dass ich diese Einwilligung jederzeit widerrufen kann.

Datum/Unterschrift

Der Deutsche Landwirtschaftsverlag verarbeitet meine Daten in maschinenlesbarer Form. Die Daten werden vom Verlag genutzt, um mich mit den bestellten Produkten zu versorgen.

Deutscher Landwirtschaftsverlag, Leserservice AFZ-DerWald
 Lothstr. 29, 80797 München, Tel. 08912705-459, Fax 089-12705-586, tobias.velt@dlv.de
 Geschäftsführer: Amos Kotte, Bernd Kuhrmeier • Registergericht Hannover HRB 59744

*) zzgl. 3,45 € Versandkosten Inland, ab 50,- € Bestellwert versandkostenfrei. Abopreis inkl. Porto/Versand.

Müssen Baumartenvorkommen auf klimatischen Extremstandorten nicht berücksichtigt werden?

Die Klimahüllen nach KÖLLING [17] betrachten Grenzen der natürlichen Baumartenverbreitung als Grenzen hinsichtlich Niederschlagssumme und Mitteltemperatur.

Literaturhinweise:

[1] ARAÚJO, M. B.; LUOTO, M. (2007): The importance of biotic interactions for modelling species distributions under climate change. *Global Ecology and Biogeography* 16, S. 743-753. [2] AUSTIN, M. P. (2002): Spatial prediction of species distribution: An interface between ecological theory and species distribution. *Ecol. Modelling* 157, S. 101-181. [3] BEAUMONT, L. J.; PITMAN, A. J.; POULSEN, M.; HUGHES, L. (2007): Where will species go? Incorporating new advances in climate modelling into projections of species distributions. *Global Change Biology* 13 (7), S. 1368-1385. [4] BOHN, U.; NEUHÄUSL, R. unter Mitarbeit von HETTWER, C.; GÖLLUB, G.; WEBER, H. (2000/2003): Karte der natürlichen Vegetation Europas/Map of the Natural Vegetation of Europe. Maßstab/Scale 1 : 2 500 000. Teil 1: Erläuterungstext mit CD-ROM; Teil 2: Legende; Teil 3: Karten. Münster (Landwirtschaftsverlag). [5] BOLTE, A.; CZAJKOWSKI, T.; KOMPA, T. (2007): The north-eastern distribution range of European beech – a review. *Forestry* 80, S. 413-429. [6] BOLTE, A.; IBISCH, P. L. (2007): Neun Thesen zu Klimawandel, Waldbau und Naturschutz. *AFZ-DerWald*, 62. Jg., Nr. 11, S. 572-576. [7] BOOTH, T. H.; SEARLE, S. D.; BOLAND, D. J. (1989): Bioclimatic analysis to assist provenance selection for trials. *New Forests* 3 (3), S. 225-234. [8] BOX, E. O. (1981): Macroclimate and plant forms: an introduction to predictive modeling in phytogeography. *Tasks for Vegetation Science*. Dr. W. Junk BV Publ., The Hague, 258 S. [9] CANADELL, J. G.; KIRSCHBAUM, M.U.F.; KURZ, W. A.; SANZ, M.-J.; SCHLAMADINGER, B.; YAMAGATA, Y. (2007): Factoring out natural and indirect effects on terrestrial carbon sources and sinks. *Environmental Science & Policy* 10(4), S. 370-384. [10] DAVIS, A. J.; JENKISON, L. S.; LAWTON, J. H.; SHORROCKS, B.; WOOD, S. (1998): Making mistakes when predicting shifts in species range in response to global warming. *Nature* 391, S. 783-786. [11] DORMANN, C. F. (2007): Promising the future? Global change projections of species distributions. *Basic Appl. Ecol.* 8, S. 387-397. [12] ELLENBERG, H. (1996): *Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen in ökologischer, dynamischer und historischer Sicht*. 5. Auflage. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart. [13] GERSTENGABE, F.-W.; BADECK, F.; HATTERMANN, F.; KRYSANOV, V.; LAHMER, W.; LASCH, P.; STOCK, M.; SUCKOW, F.; WECHSUNG, F.; WERNER, P. C. (2003): Studie zur klimatischen Entwicklung im Land Brandenburg bis 2055 und deren Auswirkungen auf den Wasserhaushalt, die Forst- und Landwirtschaft sowie Ableitung erster Perspektiven. *PIK Report* 83. [14] HIJMANS, R. J.; GRAHAM, C. H. (2006): The ability of climate envelope models to predict the effect of climate change on species distributions. *Global Change Biology* 12 (12), S. 2272-2281. [15] IPCC (2007): *Climate Change 2007: The physical science basis. Summary for policymakers*. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. WMO, Geneva. [16] IVERSON, L. R.; PRASAD, A. M.; MATTHEWS, S. N.; PETERS, M. (2008): Estimating potential habitat for 134 eastern US tree species under six climate scenarios. *Forest Ecol. Managem.* 254, S. 390-406. [17] KÖLLING, C. (2007): Klimahüllen für 27 Baumarten. *AFZ-DerWald* 62. Jg. Nr. 23, S. 1242-1245. [18] KÖLLING, C.; ZIMMERMANN, L. (2007): Die Anfälligkeit der Wälder Deutschlands gegenüber Klimawandel. *Gefahrstoff-Reinhaltdung der Luft* 67 (6), S. 259-268. [19] MENZEL, A.; JAKOBI, G.; AHAS, R.; SCHEIFINGER, H.; ESTRELLA, N. (2003): Variations of the climatological growing season (1951-2000) in Germany compared with other countries. *Int J Climatology* 23, S. 793-812. [20] PEARSON, R. G.; DAWSON, T. P. (2003): Predicting the impacts of climate change on the distribution of species: are bioclimate envelope models useful? *Global Ecology and Biogeography* 12 (5): 361-371. [21] PREIS, G. (2007): Der Wald kann sich nur langsam anpassen. *Schwarzwälder Bote* 173, 241 (18.10.2007), S. 7. [22] RAUPACH, M. R.; MARLAND G.; CIAIS, P.; LE QUÉRE, C.; CANADELL, J. G.; KLEPPER, G.; FIELD, C. B. (2007) Global and regional drivers of accelerating CO₂ emissions. *PNAS* 104 (24), S. 10288-10293 [23] SCHEIFINGER, H.; MENZEL, A.; KOCH, E.; PETER, C. (2003): Trends of spring time frost events and phenological dates in Central Europe. *Theor App Climatol* 74, S. 41-51. [24] SPEKAT, A.; ENKE, W.; KREIENKAMP, F. (2007): Neuentwicklung von regional hoch aufgelösten Wetterlagen für Deutschland und Bereitstellung regionaler Klimaszenarios auf der Basis von globalen Klimasimulationen mit dem Regionalisierungsmodell WETTREG auf der Basis von globalen Klimasimulationen mit ECHAM5/MPI-OM T63L31 2010 bis 2100 für die SRES-Szenarios B1, A1B und A2. Umweltbundesamt, Dessau. [25] STOCK, M. (2007): Akteure im Wald und ihre Gemeinwohlleistungen – brauchen wir sie im Klimawandel? *Eberswalder Forstl. Schriften*. XXXIII, 14-20. [26] TRÖMEL, S.; SCHÖNWIESE, C.-D. (2007): Probability change of extreme precipitation observed from 1901 to 2000 in Germany. *Theor. Appl. Climatol.* 87: 29-39.

Aus Gründen der Übersichtlichkeit wurde bei den Klimahüllen für Waldbaumarten jedoch lediglich die Spanne der 95 % häufigsten Klimawerte dargestellt. Es ist jedoch anzunehmen, dass gerade die Extremvorkommen wichtige Hinweise auf die Anpassungsfähigkeit der Baumart liefern und für die Anbaueignung unter sich ändernden Klimabedingungen von besonderer Bedeutung sind. Deshalb sollte gerade diesen „Ausreißern“ und den dort vorkommenden Herkünften besondere Beachtung geschenkt werden.

Können die Klimahüllen in die Zukunft „versetzt“ werden?

Das Kernstück der Klimahüllenanalyse ist die Überlagerung der Klimahülle einzelner Baumarten mit zukünftigen Klimahüllen der Waldstandorte nach Angaben ausgewählter Klimamodelle und Szenarien. Diese statische Fortschreibung (Extrapolation) des Verhaltens einzelner Baumarten gegenüber den klimatischen Bedingungen ist allerdings nur gültig, wenn unter anderem folgende Annahmen zutreffen:

- 1) Die regionale und lokale Ausprägung des zukünftigen Klimas entspricht heute an bestimmten Orten beobachtbaren Klimabedingungen (z.B. bzgl. der Häufigkeit und dem Ausmaß von Extremen).
- 2) Die heute bestimmenden Umweltfaktoren bleiben auch nach dem Klimawandel allein limitierend; es kommt auch zu keiner neuen Wechselwirkung (Interaktion) mit anderen ggf. noch unbekanntem Faktoren.
- 3) Die Konkurrenzverhältnisse zwischen den Baumarten ändern sich nicht.
- 4) Es kommt zu keinerlei Anpassung der Baumarten an den Klimawandel.

Die ersten beiden Annahmen sind unter zwei Gesichtspunkten infrage zu stellen. Zum einen basieren die Angaben über

mögliche unterschiedliche Ausprägungen des Klimawandels in verschiedenen Höhenlagen und Regionen nur auf so genannten regionalen Szenarien, die über statistische Verfahren oder „genestete“ Modelle aus den Rechnungen der globalen Klimamodelle abgeleitet werden. Mit diesem Nachteil sind allerdings alle Abschätzungen der Auswirkungen des prognostizierten Klimawandels auf die Baumarten belastet – nicht nur die Klimahüllen. Weitaus problematischer ist die Tatsache, dass der Zusammenhang zwischen Mittelwerten und Häufigkeit und Ausmaß von Extremwerten konstant bleibt, was sehr unwahrscheinlich ist, denn gerade die Erhöhung der klimatischen Variabilität, gekoppelt mit mehr Witterungsextremen, wird vom neuen IPCC Report (Bericht des Internationalen Klimarates Intergovernmental Panel on Climate Change) als sehr wahrscheinlich bis nahezu sicher angesehen [15]. Zum anderen werden Umweltfaktoren mit neuer Relevanz für die Verbreitung der Baumarten wie z.B. eine verlängerte Vegetationsperiode und eine erhöhte Wintertemperatur, verkürzte Frostperioden, geändertes Spät- und Frühfrostregime und deren Zusammenwirken mit biotischen Faktoren wie Schädlingsbefall und das Auftreten neuer Krankheiten nicht berücksichtigt [1, 2, 6]. Dabei ist auch zu erwarten, dass sich die Konkurrenz- und Dominanzverhältnisse durch Klimawandel insbesondere am Rand der Artenverbreitung, an dem eine Baumart auf zunehmend besser angepasste Konkurrenzarten trifft, verschieben wird. Diese Verschiebung der Konkurrenzverhältnisse wird bei den bisherigen Modellen zur Pflanzenverbreitung unzureichend berücksichtigt [10, 11]. Damit hätten aber die zukünftigen Klimahüllen nicht die gleiche Form und Ausdehnung wie heute. Zusätzlich wird

Wald und Klima in Baden-Württemberg

Die Ausgabe 1/2008 der Zeitschrift „FVA-Einblick“ der Forstlichen Versuchsanstalt Baden-Württemberg gibt auf 64 Seiten einen Überblick über den Kenntnisstand zu den Themen

- **Klimawandel erkennen:** 4. IPCC-Sachstandsbericht, Klimaszenarien und ihre Auswirkung,
- **Sturmrisiko besser verstehen:** Risiko und Klimawandel, Stürme über Europa, einzelbaumspezifisches Sturmschadensmodell,
- **Folgegefahren abschätzen lernen:** Trockenstressrisiko, Forstinsekten, boreal-montane Vogelarten,
- **Waldbau überdenken und anpassen:** Waldbau und Klima – was tun?, Baumarteneignung als Grundlage für die waldbauliche Planung, Waldbauliche Handlungsmöglichkeiten,
- **Zur Abmilderung beitragen:** Wald im CO₂-Haushalt, Abmilderung durch Forstwirtschaft?

Die Pdf-Datei der Broschüre kann kostenlos heruntergeladen werden unter www.fva-bw.de/publikationen/einblick/einblick200801_i.pdf



ausgeschlossen, dass sich die Baumarten durch Gestaltänderung (z.B. Änderung des Spross-Wurzelverhältnisses) sowie auf Ebene der Populationen durch die Selektion besser geeigneter Individuen mit nachfolgender Veränderung der Häufigkeit bestimmter Merkmalsträger (Allele) an die neuen Klimabedingungen anpassen können. Die Vorstellung, dass der Wald von heute auf ein Klima von morgen trifft, unterschätzt unter Umständen die laufende Dynamik permanenter Anpassung unserer Baumarten.

Kennen wir das Klima von morgen?

Die Projektion der Klimahüllen in die Zukunft basiert auf Szenarien zur zukünftigen Klimaentwicklung. Diese Szenarien umreißen verschiedene Möglichkeiten des Klimawandels in Abhängigkeit vom Erfolg der Verringerung des Ausstoßes an Treibhausgasen. Dadurch ergibt sich zwangsläufig eine große Unsicherheit, da wir über die zukünftige Entwicklung der Treibhausgas-Emissionen noch im Dunkeln tappen.

Die Verwendung des so genannten B1-Szenarios des IPCC wie von KÖLLING [17] ist mit einer Erhöhung der mittleren globalen Durchschnittstemperatur von 1,8° C bis Ende des Jahrhunderts „konservativ“ (d.h. zurückhaltend im Hinblick auf das Risiko) und setzt erhebliche Erfolge bei der Reduktion der Treibhausgase voraus. Andere sind weniger optimistisch und rechnen mit dem A1B-Szenario [13], was zu einem 2,8° C höheren mittleren Temperaturanstieg führen soll [15]. Die derzeitigen Emissionsraten liegen jedoch noch über den ungünstigsten Annahmen, welche den IPCC-Szenarien zugrunde liegen. Rückkopplungseffekte, wie etwa der Rückgang der Senkenwirkung von marinen und terrestrischen Ökosystemen, könnten zusätzlich zu einer bisher nicht modellierten Verschärfung der Problematik führen [9, 22]. Neben der „richtigen“ Szenarienauswahl gibt es auch Probleme mit der Genauigkeit von regionalen Vorhersagen insbesondere beim Niederschlag. So wird z.B. je nach Modell für Ostdeutschland eine Erhöhung oder Verminderung der Niederschläge berechnet [25]. Für eine trockene Region wie Brandenburg kann dieser Unterschied aber entscheidend sein im Hinblick auf eine angepasste Baumartenwahl – ein Rückgang der Niederschläge um 50 mm hat bei einem Jahresdurchschnitt von 500 mm selbstverständlich eine andere Relevanz als bei 1 000 mm. Insgesamt bedeutet dies, dass die prognostizierten Klimaänderungen insbesondere auf regionaler Ebene eine weite Spanne aufwei-

sen. Da bereits vergleichsweise geringe Unterschiede große Auswirkungen auf die Baumartenverteilung haben können, muss die Bewertung der Klimaänderung unter Berücksichtigung der Modellannahmen und -unsicherheiten erfolgen.

Folgerungen

Einfache Klimahüllen sind für eine erste Beurteilung der regionalen Auswirkungen des Klimawandels auf Baumarten durchaus nützlich. Im Gegensatz zu vielen rein gutachtlichen Abschätzungen basieren sie auch auf harten, nachvollziehbaren Fakten. Für eine Ableitung von Anpassungsmaßnahmen der Waldbewirtschaftung besitzen sie in der jetzigen Form aber noch Schwächen und sollten auf keinen Fall unkritisch von Politik und Praxis verwendet werden. Aus wissenschaftlicher Sicht ist es sinnvoll, dass bestehende Verfahren weiterzuentwickeln. Hierbei bieten sich folgende Ansätze an:

- Berücksichtigung der realen Baumartenverbreitung (aus terrestrischen Aufnahmen oder Fernerkundung) anstelle der potenziellen natürlichen Vegetation,
- Einbeziehung von weiteren standortkundlichen Angaben, insbesondere die Wasserspeicherkapazität der Böden (vgl. [16]),
- Ermittlung und Einbeziehung der Anpassungsfähigkeit einzelner Baumarten (und Herkünfte) an Extremereignisse, auch durch experimentelle Ansätze und Auswertung von Herkunftsversuchen,
- Berücksichtigung verschiedener Emissionsszenarien unter Einbeziehung der ungünstigsten Entwicklung nach so genannten ‚worst-case‘-Szenarien und Berücksichtigung der internen Klimamodellvariabilität [3],
- Verwendung und Vergleich verschiedener Klimahüllen-Modelle mit weiteren Klimagrößen (vgl. [14]),
- Berücksichtigung von Wachstum und Vitalität der Baumarten (z.B. aus terrestrischen Inventuren) innerhalb ihres Verbreitungsgebietes.

Unabhängig von der wissenschaftlichen Diskussion über die zukünftige Waldzusammensetzung muss der vielerorts bereits laufende Waldumbau in Richtung standortgerechte Mischbestände zügig weitergeführt werden. Angesichts der bestehenden Unsicherheiten sowohl über Geschwindigkeit und Stärke der Klimaänderung als auch über die zukünftige Baumarteneignung ist dabei eine Risikostreuung durch eine breite, auf den Einzelstandort abgestimmte Baumartenpalette anzuraten. ◀



Mit dieser Kombination haben Sie Ihre Fachzeitschrift jederzeit zugriffsbereit auf Ihrem Rechner:

- Die **Jahrgangsgespann-CD** enthält alle Hefte eines AFZ-DerWald-Jahrgangs sowie das Jahresinhaltsverzeichnis als Adobe-Pdf-Dateien.
- Die **AFZ-DerWald-DVD** enthält alle Hefte sowie die Jahresinhaltsverzeichnisse der Jahrgänge 2000 bis 2007 als Adobe-Pdf-Dateien.
- **ALV**, eine Microsoft-Access-Datenbank für Windows-Betriebssysteme, ermöglicht das Suchen von Beiträgen nach Schlagworten, Autoren, Teilen der Überschrift oder Ziffern der Oxford-Klassifizierung. Das jährliche Update ist kostenlos.



Ich bestelle hiermit

- die **AFZ-DerWald Jahrgangsgespann-CD** als Einzelplatz-Lizenz
- zum **Abonnement-Vorzugspreis** von **25,00 €/Stück** (bitte Kunden-Nr. einfügen)
- zum **Preis für Nichtabonnenten** von **75,00 €/Stück**
- 2000 2001 2002 2003 2004 2005 2006 2007
-
- die neue **AFZ-DerWald-DVD der Jahrgänge 2000 bis 2007**
- zum **Abonnement-Vorzugspreis** von **100,00 €/Stück** (bitte Kunden-Nr. einfügen)
- zum **Preis für Nichtabonnenten** von **200,00 €/Stück**
- die **AFZ-Literatur-Verwaltung** als Einzelplatz-Lizenz für Windows-Betriebssysteme (bis AFZ-DerWald Nr. 24/2007) zum **Preis von 30,00 €/Stück**

(zzgl. 3,45 € Versandkosten, ab 50 € Versandkostenfrei)

Der Deutsche Landwirtschaftsverlag GmbH verarbeitet meine Daten in maschinenlesbarer Form. Die Daten werden vom Verlag genutzt, um mich mit den bestellten Produkten zu versorgen.

Name / Vorname/ Institution _____

Straße _____

PLZ, Ort _____

Meine **AFZ-DerWald-Kunden-Nummer** _____

Meine Zahlungsweise: Rechnung Bankeinzug

Konto-Nr. _____ BLZ _____

Geldinstitut _____

Ich bin damit einverstanden, dass Sie mich über neue Produkte und Dienstleistungen per Telefon, E-Mail, Telefax oder SMS informieren (ggf. streichen). Mir ist bekannt, dass ich diese Einwilligung jederzeit widerrufen kann.

Datum _____ Unterschrift _____

Der Deutsche Landwirtschaftsverlag verarbeitet meine Daten in maschinenlesbarer Form. Die Daten werden vom Verlag genutzt, um mich mit den bestellten Produkten zu versorgen.

An den Deutschen Landwirtschaftsverlag GmbH, Lothstr. 29, 80797 München

Geschäftsführer: A. Kotte, B. Kuhmeier, H. Müller • Registergericht Hannover HRB 59744