

5.11 Wälder im Klimawandel: Die Forstwirtschaft muss sich anpassen

CHRISTIAN KÖLLING

Zusammenfassung: Wälder im Klimawandel – Die Forstwirtschaft muss sich anpassen: *Natürliche und bewirtschaftete Wälder sind gleichermaßen stark an das gegenwärtige regionale Klima angepasst und daher sehr anfällig für jede Form von Klimawandel. Die Anfälligkeit hängt von der Position der vorhandenen Baumarten in ihren jeweiligen ökologischen Nischen ab. Die stärksten Auswirkungen werden an den warm-trockenen Nischenrändern erwartet. In Mitteleuropa sind die dort häufig angebauten Baumarten nordischer oder alpiner Herkunft besonders anfällig für erhöhte Temperaturen. Die Forstwirtschaft ist mit dem Austausch dieser gefährdeten Spezies gegenüber besser angepassten herausgefordert. Allerdings kann ein Übergang zu angepassten Wäldern im Zuge des klimagerechten Waldumbaus nur dann erfolgreich sein, wenn sich der Klimawandel im Rahmen der mäßigen Emissionsszenarien bewegt. Die Anpassungsfähigkeit der Wälder und der Forstwirtschaft wird mit einem Temperaturanstieg von mehr als 2 °C überfordert.*

Summary: Forests under the influence of climate change – Chances and limitations of adaptation in forestry - *Natural and managed forests alike are highly adapted to the present regional climate and therefore susceptible to climate change. Their particular vulnerability depends on the position of tree species in their respective ecological niches. The strongest effects are expected on the warm-dry margins. In Central Europe the planted Nordic and alpine tree species are most vulnerable to elevated temperatures. Forestry is challenged with the replacement of these vulnerable species with better adapted ones. However, a transition towards climate-oriented forests can only be expected to be successful within the frame of modest emission scenarios. The adaptability of forests and forestry is overstrained with an increase of temperatures in excess of 2 °C.*

Forstwirtschaft findet unter freiem Himmel statt

Kaum ein anderer Wirtschaftszweig ist so natur- und umweltgebunden wie die Forstwirtschaft. Klima und Boden sind hier Produktionsfaktoren und bestimmen Möglichkeiten und Grenzen der forstwirtschaftlichen Bodennutzung. Anders als in Landwirtschaft und Gartenbau werden die standörtlichen Produktionsfaktoren Klima und Boden zumindest in der traditionellen mitteleuropäischen Forstwirtschaft kaum aktiv beeinflusst. Dies lohnt sich nur in bestimmten Formen der Plantagenwirtschaft mit hohen Renditen, wie sie in Mitteleuropa kaum üblich sind. Die Anpassung an das »Eiserne Gesetz des Örtlichen« hat deshalb in der hiesigen Forstwirtschaft eine lange Tradition. Wälder werden an die standörtlichen Bedingungen angepasst, und nicht umgekehrt die Umweltfaktoren zugunsten der Bäume verbessert. Im Grunde orientiert man sich damit an den natürlichen Wäldern, denn auch diese sind ein Muster der spontanen Anpassung an die verschiedenen Umweltbedingungen.

Das natürliche Waldkleid Europas (Abb. 5.11-1) ist das Produkt einer Jahrtausende währenden Anpassung an die herrschenden Klimabedingungen. So entspricht die Abfolge der Vegetationsgürtel von den borealen Fichtenwäldern im Norden über die Buchenwälder der gemäßigten Breiten hin zu den Eichenwäldern des Mittelmeerklimas genau dem Gradienten der von Norden nach Süden im Mittel zunehmenden Temperaturen. Ohne das Wirken des Menschen würde sich in jedem Klima eine charakteristische Waldzusammensetzung mit den entsprechenden Baumarten als Gleichgewichts-

zustand etablieren. Ändern sich die Klimabedingungen, wie dies am Ende der letzten Eiszeit und in der Zeit danach der Fall war, wandelt sich in einer spontanen Anpassungsreaktion auch die Baumartenzusammensetzung der Wälder.

Auch die einzelnen Baumarten zeigen charakteristische Anpassungen an das Klima. So kommt die Fichte im kühl-trockenen Klima des Nordes und im kühl-feuchten Klima der Hochgebirge vor. Die Europäische Lärche siedelt nur im kühl-feuchten Hochgebirgsklima, die Flaumeiche bevorzugt das warm-trockene Mittelmeerklima und die Rotbuche ein gemäßigtes mitteleuropäisches Klima. In Abb. 5.11-2 sind in einem Diagramm, dessen Achsen aus Jahrestemperatur und Jahresniederschlag gebildet werden, die Bereiche dargestellt, in denen sich 95% der natürlichen Vorkommen der jeweiligen Baumarten befinden. Diese Klimahüllen (Bioclimate Envelopes) genannten modellierten »Wohlfühlbereiche« der Baumarten sind ein wichtiger Bestandteil ihrer ökologischen Nischen (KÖLLING et al. 2007, KÖLLING & ZIMMERMANN 2007). Selbstverständlich gibt es noch weitere Einflussgrößen auf das Gedeihen der Baumarten, z.B. die Stärke des Winterfrostes oder die Bodeneigenschaften, insbesondere die Fähigkeit, Wasser zu speichern. Mittlerweile gibt es eine Vielzahl von Anwendungen komplexer Artverbreitungsmodelle auf die Klimawandelproblematik. Allen gemeinsam ist die Verknüpfung von Baumartenvorkommen mit den Klimabedingungen, unter denen sie vorkommen (SYKES et al. 1996, GUISSAN & ZIMMERMANN 2000, FALK & MELLERT 2011, FALK & HEMPELMANN 2014, HANEWINKEL et al. 2013, 2014).

Natürliche Wälder würden sich spontan dem Klimawandel anpassen

Aus der zwischen- und nacheiszeitlichen Waldentwicklung wissen wir, dass die Baumarten bei Klimaerwärmung polwärts und die Berge hinauf wandern. Sie folgen damit mehr oder weniger schnell vollständig der Verlagerung ihrer ökologischen Nische. Umgekehrt haben sie sich bei Abkühlung stets in ihre südlichen oder tiefergelegenen Refugien zurückgezogen.

Der gegenwärtig stattfindende Klimawandel stellt demgegenüber jedoch einen völlig neuen Zustand dar: zum einen findet er in einem Tempo statt, das um Größenordnungen schneller als die Erwärmung nach der Eiszeit ist. Zum anderen trifft er auf fragmentierte Landschaften, in denen die Wanderung der Baumarten immer wieder durch waldfreie, anderweitig genutzte Landstriche behindert wird. Zu guter letzt hat der Mensch die natürliche Baumartenzusammensetzung der Wälder stark verändert und Baumarten z.T. weit außerhalb ihrer angestammten Areale und Klimabedingungen angebaut. Die spontane allmähliche Waldanpassung nach den Eiszeiten kann daher kein unmittelbares Vorbild für die Anpassung der Wälder im raschen

Klimawandel unserer Zeit sein, wenngleich man die notwendigen Arealveränderungen der Baumarten nach Klimawandel recht gut modellieren kann. Würde man dem Klimawandel in der Forstwirtschaft tatenlos zusehen, so würde ein nicht unbeträchtlicher Teil der Wälder nach und nach in ungünstige Umweltbedingungen hineinwachsen. Da die Möglichkeiten der Aus- und Zuwanderung stark begrenzt sind, würde sich ein Gleichgewichtsferner, instabiler Zustand einstellen und eine Selektion auf die bestangepassten Baumarten stattfinden. Für eine längere Übergangszeit würde dies Siechtum, Ab- und regionales Aussterben der nicht angepassten Baumarten bedeuten.

Wirtschaftswälder können durch forstwirtschaftliche Maßnahmen an den Klimawandel angepasst werden

Will man die Entwicklung unserer Wälder nicht, wie oben geschildert, dem »Gesetz des Dschungels« überlassen, sondern durch forstwirtschaftliche Maßnahmen in eine erwünschte Richtung steuern, so gibt es dazu gute Möglichkeiten. Etwa 95% der Wälder Deutschlands sind Wirtschaftswälder (BMELV 2005), nur ein kleiner

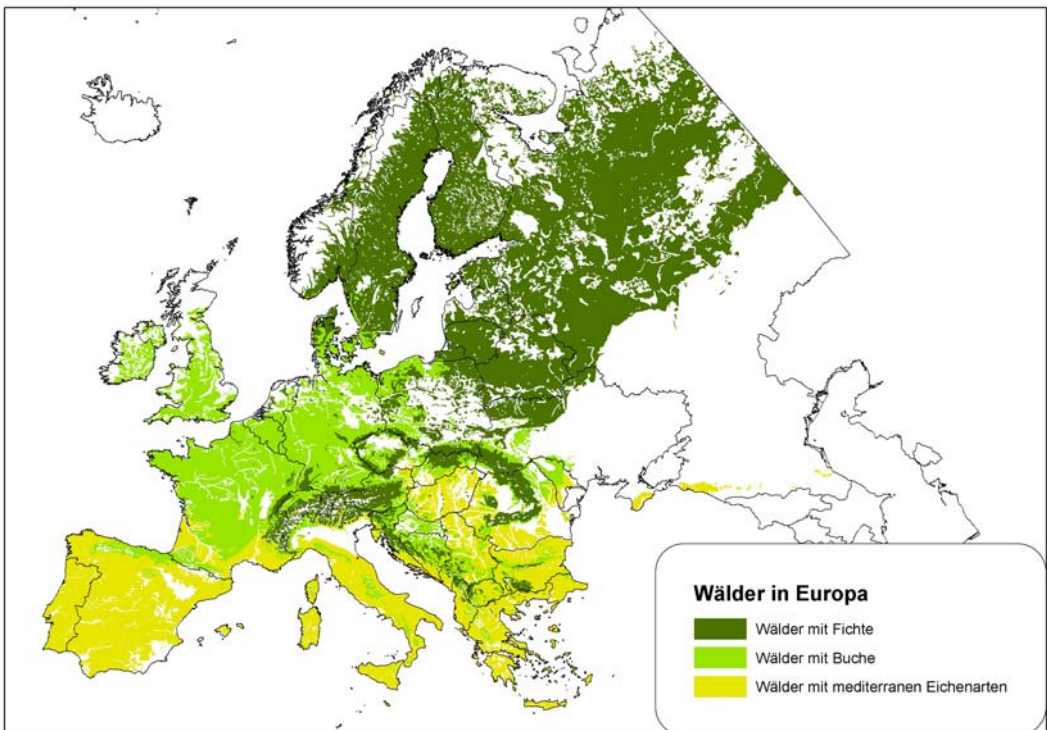


Abb. 5.11-1: Natürliche Waldtypen in Europa (nach BOHN et al. 2003).

Teil der Wälder, z.B. in Reservaten, bleibt sich selbst überlassen. So kann man in bewirtschafteten Wäldern die Ausbreitungsbarrieren zwischen den Waldgebieten durch Pflanzung oder Saat überwinden. Auf die gleiche Weise kann man in der Forstwirtschaft auch mit einem hohen Tempo des Klimawandels Schritt halten, in dem man die nicht mehr möglichen Wanderbewegungen durch Maßnahmen der künstlichen Verjüngung (Pflanzung oder Saat) ersetzt. Ebenso gibt es Möglichkeiten, in den Konkurrenzkampf der Baumarten untereinander einzugreifen und schwächere, aber künftig angepasste Baumarten zuungunsten derzeit stärkerer, aber künftig weniger gut angepasster Spezies begünstigen. Insgesamt sind also gute Voraussetzungen für eine erfolgreiche aktive forstwirtschaftliche Anpassung der Baumartenzusammensetzung an veränderte Klimabedingungen gegeben.

Weil Bäume langlebige Organismen sind, die selbst in unseren intensiver bewirtschafteten Wäldern mindestens 80 Jahre, zum Teil aber wesentlich älter werden, tut sich jedoch ein nicht zu unterschätzendes Anpassungsproblem auf. Manches Baumindividuum erfährt am eigenen Leibe den gesamten Klimawandel

von den noch kühlen Temperaturen der Jetztzeit bis zu den wärmeren Verhältnissen am Ende unseres Jahrhunderts. Die Umtriebszeiten genannten Rotationen unserer Baumbestände sind genauso lang, zum Teil wesentlich länger als die Laufzeit der gängigen Klimaszenarien! Anders als bei konstanten Klimabedingungen müssen die Baumarten an mehrere aufeinander folgende Klimatypen in gleichem Maße angepasst sein. Die Anforderungen an die Klimateignung sind demnach gewaltig, die Wahl der richtigen Baumart wird zur zentralen Planungsentscheidung über die Wälder der Zukunft.

Die Baumarten sind unterschiedlich anfällig gegenüber dem Klimawandel

Nicht alle Baumarten sind gleich anfällig gegenüber den Wirkungen des Klimawandels. Blicken wir nochmals auf das Diagramm in *Abb. 5.11-2*, so wird offenkundig, dass unter den mitteleuropäischen Klimabedingungen, die in etwa mit der Klimahülle der Rot-Buche im zentralen Bereich des Diagramms identisch sind, vor allem die boreal und im Gebirgsraum beheimateten Baumarten unter dem Klimawandel zu leiden ha-

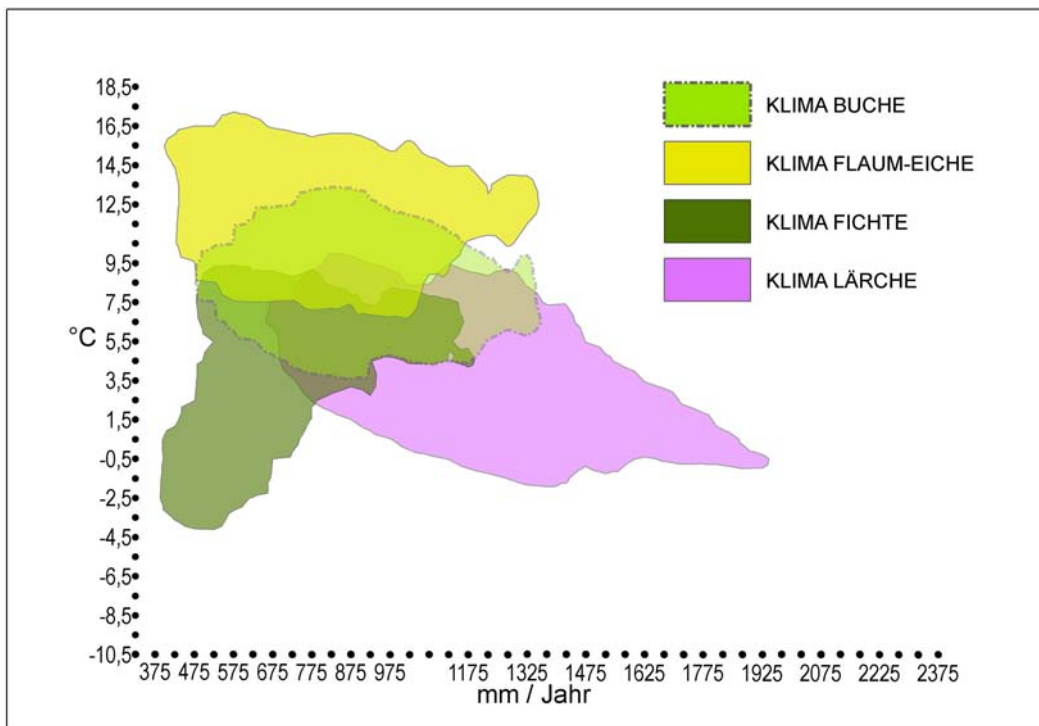


Abb. 5.11-2: 95%-Klimahüllen einer boreal-alpischen Baumart (Fichte), einer alpischen Baumart (Europäische Lärche), einer submediterranen Baumart (Flaum-Eiche) und einer mitteleuropäischen Baumart (Rot-Buche). Nach KÖLLING & ZIMMERMANN (2007).

ben werden, wenn die Entwicklung, wie mehrheitlich angenommen, in Richtung auf ein wärmeres und im Durchschnitt trockeneres Klima läuft. Die Baumarten, die sich schon jetzt im oberen (und linken) Teil des Diagramms aufhalten, werden die Gewinner des Wandels in Mitteleuropa sein, die Baumarten im unteren (und rechten) Teil des Diagramms werden sich unter den neuen Klimabedingungen in Mitteleuropa bald nicht mehr wohlfühlen.

In Abb. 5.11-3 ist dieser Sachverhalt für die Baumart Fichte und die Waldfläche Deutschlands detailliert dargestellt. Gemäß ihrer Herkunft aus den borealen und Gebirgsregionen zeigt die Fichte zum gegenwärtigen Klima in Deutschland nur teilweise Übereinstimmung. In einigen Regionen Deutschlands ist es schon jetzt für den Fichtenanbau zu warm, während die kühlen und feuchten Gebirgsregionen gegenwärtig noch gut für den Fichtenanbau geeignet sind. Tatsächlich sind weite Bereiche der deutschen Mittelgebirge mit Fichtenforsten bestanden. Zukünftig aber wird die Übereinstimmung der Klimahülle der Fichte mit dem dann wärmeren und trockeneren Klima Deutschlands im Klimawandel immer kleiner. Das zukünftig herrschende Klima

wird auf einem Großteil der Fläche den Fichtenanbau nicht mehr zulassen. Tatsächlich beobachten wir in den vergangenen Jahrzehnten eine zunehmende Intensität des Borkenkäferfraßes an der Fichte. Das empfindliche Gleichgewicht zwischen Parasiten- und Wirtspopulation ist stark klimaabhängig und verschiebt sich bei der Fichte zur Zeit zugunsten des bestandsbedrohenden Schädling Borkenkäfer. In einigen Regionen ist die Anbaufläche der Fichte aufgrund des Borkenkäferbefalls bereits deutlich zurückgegangen (AMMER et al. 2006).

Klimagerechter Waldumbau ist der Wechsel zu weniger anfälligen Baumarten

Für zahlreiche Regionen in Deutschland gilt: neue Bäume braucht das Land! Unglückseligerweise wird über die Hälfte der Waldfläche Deutschlands von den hochanfälligen Baumarten Fichte, Kiefer und Lärche eingenommen. Als Baumarten des hohen Nordens oder der Hochgebirge sind sie aus ökonomischen Motiven auch in wärmeren Regionen jenseits der natürlichen Verbreitungsgrenzen angebaut worden. Dabei ist man oft bis an die Grenzen des Machbaren gegangen, weil das

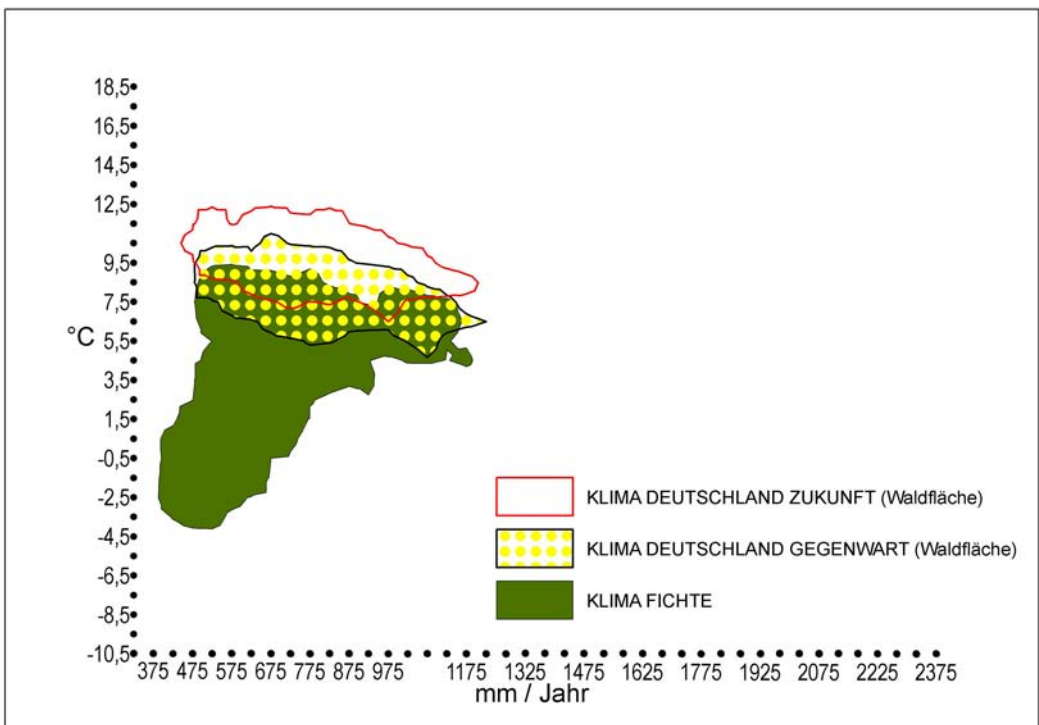


Abb. 5.11-3: 95%-Klimahüllen der Fichte, des gegenwärtigen (HJLMANS et al. 2005) und eines zukünftigen Klimas (Szenario B1, regionales Klimamodell WETTREG, SPEKAT et al. 2007) in Deutschland. Nach KÖLLING & ZIMMERMANN (2007).

Wachstum der Bäume unter wärmeren Bedingungen zumeist wesentlich besser ist als in den kühlen natürlichen Arealen. Mit jedem Grad Erwärmung verschieben sich nun die Anbaugrenzen dieser Baumarten. Je mehr dieser Grenzverläufe eine Waldregion ihr Eigen nennt, desto größer sind die Auswirkungen des Klimawandels auf die Forstwirtschaft.

Viele einheimische Baumarten mit einer natürlichen Anpassung an den mitteleuropäischen Klimatyp hingegen erweisen sich als deutlich weniger anfällig. So zeigt die Klimahülle der Buche sowohl zum gegenwärtigen als auch zum zukünftigen Klima Deutschlands eine gute Übereinstimmung. Zahlreiche andere mitteleuropäische Baumarten verhalten sich ähnlich. Problematischer ist hingegen zur Zeit noch der Anbau der südeuropäischen Baumarten wie Flaum-Eiche oder Esskastanie. Diese sind an die gegenwärtig bei uns noch herrschenden kühleren Bedingungen nicht gut angepasst und leiden unter den bei uns vorkommenden Winterfrösten. Erst wenn der Klimawandel so weit fortgeschritten ist, dass die Mehrzahl der Winter frostfrei ist, wird der Anbau dieser Baumarten Erfolg versprechend.

Außereuropäische wärmeangepasste Baumarten werden oft als Alternativen diskutiert. Prinzipiell sollte man den Kreis möglicher Kandidaten nicht von vornherein auf europäische Baumarten beschränken. Die Erfahrungen in der Geschichte der Forstwirtschaft haben aber gezeigt, dass der Erfolg von Anbauten fremdländischer Baumarten erst nach einer längeren Bewährungszeit sicher beurteilt werden kann (ENGELMARK et al. 2001, KÖLLING 2013). Gleiches gilt für Züchtungen. Wegen der langen Generationszeiträume der Bäume ist die Züchtung selbst, aber auch die folgende Überprüfung ein langwieriges Geschäft. Außerdem könnte die bewusste Einengung des Genoms auf bestimmte Eigenschaften mit einem Verlust an breiter Anpassungsfähigkeit verbunden sein.

Im klimagerechten Waldumbau ersetzt man anfällige Baumarten durch weniger anfällige. Ist ein Bestand entereif, so steht ohnehin die Entscheidung über die Baumartengarnitur des Folgebestands an. Schwieriger ist die Situation bei mittelalten und jungen Beständen. Hier wäre es nicht immer richtig, die Jahrzehnte bis zur regulären Ernte abzuwarten und Schäden am Bestand in Kauf zu nehmen. Man leitet deshalb zum Teil auch in diesen Beständen vorzeitig den Baumartenwechsel ein, indem man die neuen Baumarten im Schutz des Vorbestands nach und nach unterpflanzt. Im Falle eintretender Schäden sind dann die neuen Baumarten zumindest in Keimzellen schon vorhanden und der Start in die neue Waldgeneration fällt erheblich leichter. Bei der Langlebigkeit der Baumindividuen und der Rasanz der Klima-

entwicklung ist rasches Handeln angesagt. Bereits im Jahr 2004 wurde in Bayern die Initiative »Waldumbau-programm Klimawandel im Staatswald« gestartet (SÜD-DEUTSCHE ZEITUNG 2004). Seither werden in Bayern beim klimagerechten Waldumbau jährlich erhebliche Förder-summen für die Anpassung der Wälder verausgabt.

Der klimagerechte Waldumbau benötigt gute Planungsgrundlagen

Die Kapazitäten und Finanzquellen in der Forstwirtschaft reichen bei weitem nicht aus, die gesamte mit anfälligen Baumarten bestockte Fläche umzubauen. Schwerpunkte müssen gebildet werden. Hier hilft die Betrachtung des gegenwärtig herrschenden Klimas. In den schon jetzt warmen und trockenen Regionen Deutschlands (Abb. 5.11-4) sollten die dort vorhandenen Fichten, Kiefern und Lärchenbestände besonders sorgfältig auf ihre Angepasstheit an die künftigen schwierigeren Bedingungen überprüft werden (KÖLLING & AMMER 2006).

Für die Planung des klimagerechten Waldumbaus sind zwei Elemente dringend erforderlich

Zum einen benötigt man bessere Informationen über die Klimaansprüche der Baumarten. Die oben erwähnten Klimahüllen sind ein erster, aber bei weitem noch nicht ausreichender Ansatz, die Baumartenansprüche adäquat zu beschreiben. Der »Wohlfühlbereich« einer Baumart muss sehr genau bekannt sein, bevor man eine Spezies dem Abenteuer Klimawandel aussetzt. Die oben bereits genannten Nischen- und Artverbreitungsmodelle sind weiter zu entwickeln und um eine Ertrags- und Überlebenskomponente zu erweitern (Abb. 5.11-4).

Das zweite Utensil für den Waldumbau sind Planungskarten, auf denen alle für das Gedeihen der Bauarten relevanten Umwelt- und Klimafaktoren für die Gegenwart und die Zukunft verzeichnet sind. Nur dann ist es nämlich möglich, die Baumartenansprüche mit dem vorhandenen und zukünftig möglichen Angebot an Umweltressourcen zu vergleichen. Nur so wird man zu einer für die Zukunft tragfähigen Planungsentscheidung kommen. Die vorhandenen forstlichen Standortskarten wurden durch ein Standortinformationssystem mit Klimakomponente zu erweitert (BECK et al. 2013).

Wann sind die Grenzen der Anpassung erreicht?

Schon ein moderater Klimawandel mit »nur« 2 °C Temperaturerhöhung, wie im Beispiel aus Abb. 5.11-3 angenommen, stellt die Forstwirtschaft vor eine große

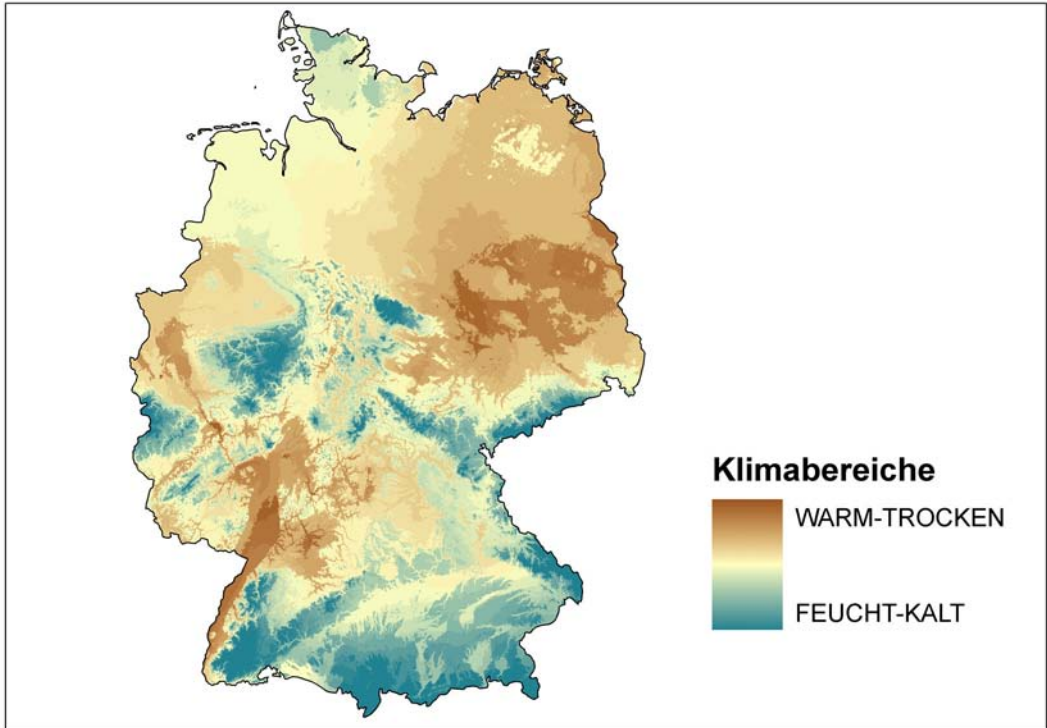


Abb. 5.11-4: Klimabereiche in Deutschland (1. Hauptkomponente der Verteilung von Jahresdurchschnittstemperatur und Jahresniederschlagssumme).

Herausforderung. Die anfälligsten Baumarten werden in vielen Regionen bereits diese gering erscheinende Differenz nicht überstehen. Für die weniger anfälligen Baumarten hingegen bestehen gute Chancen, dass sie mit 2 °C Temperaturerhöhung leidlich zurechtkommen werden. Die Herausforderung an die Forstwirtschaft ist groß genug und es bedarf selbst unter günstigen Rahmenbedingungen gewaltiger Anstrengungen, die Wälder in einem annehmbaren Zustand an das nächste Jahrtausend zu übergeben (BOLTE & IBISCH 2007).

Jedes weitere Grad Erwärmung verschärft die Situation in einer nicht-linearen Weise. Bei einer Erhöhung um 3 oder gar 4 °C entstehen im Gebiet Deutschlands jede Menge so genannter nicht-analoger Klimatypen, d.h. Klimakombinationen, die es bislang innerhalb der Grenzen Deutschlands niemals gab (KÖLLING & ZIMMERMANN 2014). Wie die Forstwirtschaft mit derartigen Klimasprüngen umzugehen hätte, kann man sich nur schwer ausmalen. Umso wichtiger ist vor diesem Hintergrund ein Beharren auf durchgreifenden klimapolitischen Maßnahmen, damit der Klimawandel auf ein für die Forstwirtschaft erträgliches Maß beschränkt bleibt. Nur dann werden die Grenzen der Anpassungsfähigkeit nicht überschritten und der klimagerechte

Waldumbau kann mit einiger Erfolgsaussicht zu einem guten Ende geführt werden. Indes treten Probleme in der Verwirklichung des Waldumbaus auf, wenn in der Folge einiger Jahre mit günstiger kühlerer Witterung oder aufgrund allgemein schwindenden Interesses am Klimawandel die Einsicht in die Notwendigkeit der Anpassung zurückgeht. Neben der rein fachlichen Seite des Problems geraten dann Fragen der Risikopsychologie und der Forstpolitik in das Blickfeld (WINKEL et al. 2011, VON DETTEN & FABER 2013). Klimawandelanpassung in der Forstwirtschaft benötigt eben sowohl einen langen Atem als auch neue, über die Tradition hinaus gehende Konzepte.

Literatur

- AMMER, C., DULLY, I., FAISST, G., IMMLER, T., KÖLLING, C., MARX, N., HOLLAND-MORITZ, H., SEIDL, G., SEITZ, R., TRIEBENBACHER, C., WOLF, M. & T. WOLFERSTETTER (2006): Hinweise zur waldbaulichen Behandlung von Borkenkäferkalamitätsflächen in Mittelfranken. LWF Wissen 54, 1-60.
- BECK, J. & C. KÖLLING (2013): Das bayerische Standortinformationssystem - Das neue Standortinformationssystem mit seinen zahlreichen Themenkarten ist ein wichtiges Hilfsmittel für die Beratung der Waldbe-

- sitzer. LWF-aktuell 94, 4-7.
- BMELV [Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz] (2005): Die zweite Bundeswaldinventur. Der Inventurbericht. 1-231.
- BOHN, U., NEUHÄUSL, R., UNTER MITARBEIT VON HETTWER, C., GOLLUB, G. & H. WEBER (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. Landwirtschaftsverlag, Münster.
- BOLTE, A. & P. L. IBISCH (2007): Neun Thesen zu Klimawandel, Waldbau und Waldnaturschutz. Allg. Forstz./Der Wald 62, 572-576.
- ENGELMARK, O., SJÖBERG, K., ANDERSSON, B., ROSVALL, O., AGREN, G. E., BAKER, W. L., BARKLUND, P., BJÖRKMAN, C., DESPAIN, D. G., ELFVING, B., ENNOS, R. A., KARLMAN, M., KNECHT, M. F., KNIGHT, D. H., LEDGARD, N. J., LINDELÖW, A., NILSSON, C., PETERKEN, G. F., SÖRLINA, S. & M. T. SYKES (2001): Ecological effects and management aspects of an exotic tree species: the case of lodgepole pine in Sweden. *Forest Ecology and Management* 141, 3-13.
- FALK, W. & N. HEMPELMANN (2014): Species favourability shift in Europe due to climate change - a case study for *Fagus sylvatica* L. and *Picea abies* [L.] Karst. based on an ensemble of climate models. In: *Journal of Climatology*, in press.
- FALK, W. & K. H. MELLERT (2011): Species distribution models as a tool for forest management planning under climate change: risk evaluation of *Abies alba* in Bavaria. *Journal of Vegetation Science* 22(4), 621-634.
- GUISAN, A. & N. E. ZIMMERMANN (2000): Predictive habitat distribution models in ecology. *Ecological Modelling* 135, 147-186.
- HANEWINKEL M., CULLMANN, D. A., SCHELHAAS, M.-J., NABUURS, G.-J. & N. E. ZIMMERMANN (2013): Climate change may cause severe loss in the economic value of european forest land. *Nature Clim. Change*, 3(3):203-207.
- HANEWINKEL M., CULLMANN, D. A., MICHIELS, H.-G. & G. KÄNDLER (2014): Converting probabilistic tree species range shift projections into meaningful classes for management. *Journal of Environmental Management*, 134(0):153-165.
- HIJMANS, R. J., CAMERON, S. E., PARRA, J. L., JONES, P. G. & A. JARVIS (2005): Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas.. *Int. J. Climatology* 25, 1965-1978 (<http://www.worldclim.org>).
- KÖLLING, C. (2013): Nichtheimische Baumarten – Alternativen im klimagerechten Waldumbau? Von der Herkulesaufgabe, die richtigen Baumarten zu finden. LWF aktuell 96, 4-11.
- KÖLLING, C. & C. AMMER (2006): Waldumbau unter den Vorzeichen des Klimawandels Zahlen der Bundeswaldinventur zeigen Anpassungsschwerpunkte. *Allg. Forstz./Der Wald* 61, 1086-1089.
- KÖLLING, C. & L. ZIMMERMANN (2007): Die Anfälligkeit der Wälder Deutschlands gegenüber Klimawandel. *Gefahrstoffe-Reinhaltung der Luft* 67, 259-268.
- KÖLLING, C. & L. ZIMMERMANN (2014): Klimawandel gestern und morgen. Neue Argumente können die Motivation zum Waldumbau erhöhen. *LWFaktuell* 99, 27-31.
- KÖLLING, C., ZIMMERMANN, L. & H. WALENTOWSKI (2007): Klimawandel: Was geschieht mit Buche und Fichte? Entscheidungshilfen für den klimagerechten Waldumbau in Bayern. *Allg. Forstz./Der Wald* 62, 584-588.
- SPEKAT, A., ENKE, W. & F. KREIENKAMP (2007): Neuentwicklung von regional hoch aufgelösten Wetterlagen für Deutschland und Bereitstellung regionaler Klimaszenarien mit dem Regionalisierungsmodell WETTREG 2005 auf der Basis von globalen Klimasimulationen mit ECHAM5/MPI – OM T63L31 2010 bis 2100 für die SRES – Szenarien B1, A1B und A2. Projektbericht im Rahmen des F+E-Vorhabens 204 41 138 »Klimaauswirkungen und Anpassung in Deutschland – Phase 1: Erstellung regionaler Klimaszenarien für Deutschland«, Mitteilungen des Umweltbundesamtes, 149 S.
- SÜDDEUTSCHE ZEITUNG (2004): Eichen und Buchen statt Fichten: Bayern will 10 000 Hektar Nadelwald umwandeln. *SZ* vom 4.5.2004, S. 47.
- SÜDDEUTSCHE ZEITUNG (2006): Freistaat forciert Waldumbau. Fichten sollen stabileren Mischwäldern weichen. *SZ* vom 18.11.2006, S. 51.
- SYKES, M. T., PRENTICE, I. C. & W. CRAMER (1996): A bioclimatic model for the potential distributions of north European tree species under present and future climates. *Journal of Biogeography* 23, 203-233.
- VON DETTEN, R. & F. FABER (2013): Organizational decision-making by German state-owned forest companies concerning climate change adaptation measures. *Forest Policy and Economics* 35, 57-65.
- WINKEL, G., GLEISSNER, J., PISTORIUS, T., SOTIROV, M. & S. STORCH (2011): The sustainably managed forest heats up: discursive struggles over forest management and climate change in Germany. *Critical Policy Studies* 5, 361-390.

Kontakt:

Dr. Christian Kölling

Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft, LWF
 Christian.Koelling@lwf.bayern.de

Kölling, Chr. (2014): Wälder im Klimawandel: Die Forstwirtschaft muss sich anpassen. In: Lozán, J. L., Grassl, H., Karbe, L. & G. Jendritzky (Hrsg.). *Warnsignal Klima: Gefahren für Pflanzen, Tiere und Menschen*. 2. Auflage. *Elektron. Veröffent. (Kap. 5.11)* - www.klima-warnsignale.uni-hamburg.de.