

## Anpassung der Wälder an den Klimawandel: Optionen und Grenzen

Andreas Bolte\* und Bernd Degen\*\*

### Zusammenfassung

Wälder sind im Besonderen von den Auswirkungen des Klimawandels betroffen, da Bäume als langlebige, ortsfeste Organismen sich über 100 Jahre und länger an die sich rapide ändernden Umweltverhältnisse anpassen müssen. Die erwartete Verschärfung von Trockenheit, Hitzeperioden und Sturmgefahren macht die Entwicklung und Anwendung von Anpassungsstrategien im Waldbau notwendig: **(1) Erhaltung der Waldstrukturen** gegen einen klimawandel-induzierten Sukzessionsdruck erhöht das Risiko von katastrophalen Ereignissen (Trockenschäden, Windwurf) je nach Ausmaß des lokalen Klima- und Standortwandels. **(2) Aktive Anpassungseingriffe** wie z. B. der Ersatz trockenheitsempfindlicher Bäume durch weniger empfindliche Baumarten oder Herkünfte können das Schadpotenzial der Wälder senken, benötigen aber Informationen zur regionalen und lokalen Angepasstheit und Anpassungsfähigkeit von Baumarten und deren Herkünfte an das zukünftige Klima. **(3) Passive Anpassung** im Sinne eines bewussten „Sich-selbst-Überlassens“ und stellt den risikoärmsten Weg dar; allerdings sind hiermit spezifische forstwirtschaftliche Ziele nicht planbar. Die Verwendung von Herkünften einheimischer und eingeführter Baumarten (z. B. Douglasie) aus Regionen, die dem Klima entsprechen, wie es in Deutschland zukünftig sein wird, stellt ein wichtige Element einer aktiven Anpassung dar. Herkunftsversuche der forstgenetischen Forschung, die seit Jahrzehnten betrieben werden, können wertvolle Grundlageninformationen zur Herkunftseignung liefern. Ein integratives Anpassungskonzept wird vorgestellt, das Forschungen und politisches Handeln von der internationalen bis zur lokalen Ebene verbindet.

*Schlüsselworte: Anpassungsstrategien, Douglasie, Forstgenetik, Herkünfte, Hitze, Rotbuche, Sturm, Trockenheit, Waldbau*

### Abstract

#### Forest adaptation to climate change - options and limitations

Forests are particularly affected by climate change since trees, as long-living and immovable organisms, have to adapt to environmental change over periods of 100 years and more. Reports on the projected increase of drought, heat and storm hazards make the development and application of adaptation strategies urgent: **(1) Conservation of forest structures** against increasing succession pressure increases the risk of catastrophic loss of forests (drought damage, wind throw) depending on the degree of local climate and site change. **(2) Active adaptation**, like the replacement of drought-sensitive tree species by less sensitive species or provenances, can lower the damage risk for forests. For this purpose, however, information on the regional and local adaptation and adaptability to future climate conditions is needed. **(3) Passive adaptation** with the deliberate use of spontaneous adaptation processes (natural succession and species migration) is the lowest-risk option, but eliminates the possibility of following specific forest management targets. The use of provenances of native and non-native tree species (e. g. Douglas fir) from regions with a climate corresponding to future climate in Germany is an important element of active adaptation. Provenance trials induced by forest genetic science that have been running for decades provide valuable basic information on adaptation of tree provenances. An integrative concept for adaptation is presented that interlinks focussed research and political processes from international to local scale.

*Keywords: adaptation strategy, Douglas fir, drought, European beech, forest genetics, heat, provenance, silviculture, storm*

---

\* Johann Heinrich von Thünen-Institut (vTI), Bundesforschungsinstitut für Ländliche Räume, Wald und Fischerei, Institut für Waldökologie und Waldinventuren, A.-Möller-Straße 1, 16225 Eberswalde, andreas.bolte@vti.bund.de

\*\* Johann Heinrich von Thünen-Institut (vTI), Bundesforschungsinstitut für Ländliche Räume, Wald und Fischerei, Institut für Forstgenetik, Sieker Landstraße 2, 22927 Großhansdorf, bernd.degen@vti.bund.de

## 1 Einleitung

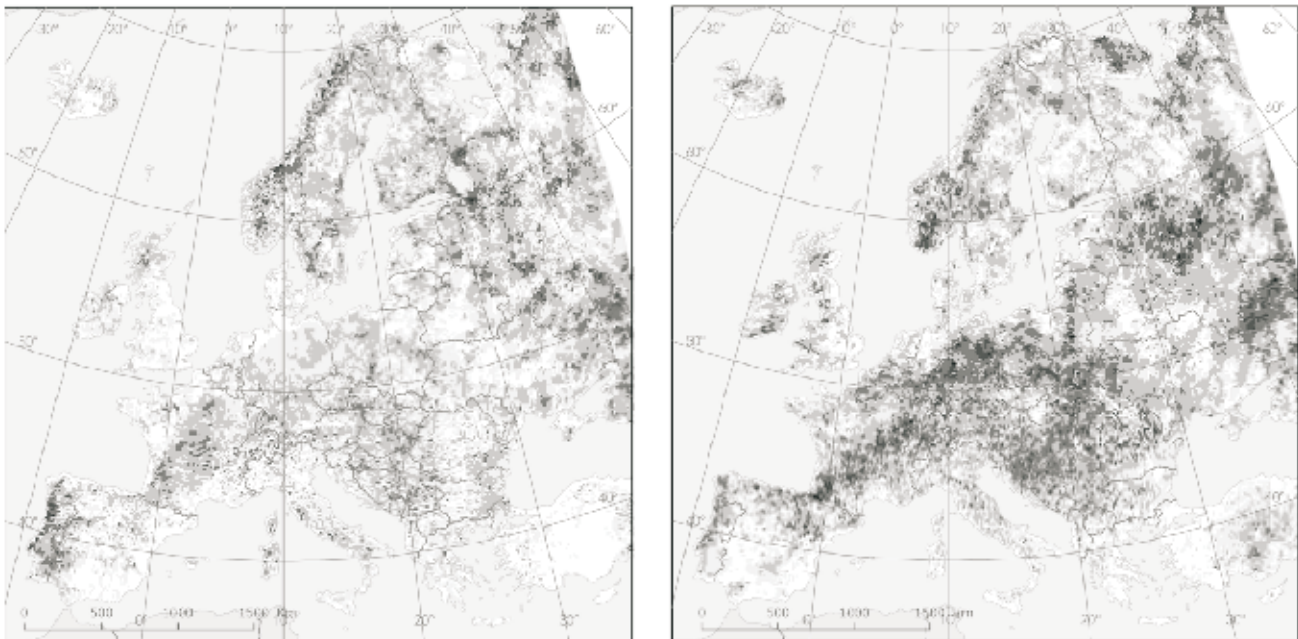
Wälder sind im Besonderen von den Auswirkungen des Klimawandels betroffen, da Bäume als langlebige, ortsfeste Organismen sich über 100 Jahre und länger an die sich rapide ändernden Umweltverhältnisse anpassen müssen. Der vierte Bericht des Weltklimarates (IPCC, 2007) geht bis zum Jahr 2100 von einer Erhöhung der mittleren Lufttemperatur in Europa von 2,0 °C bis 6,2 °C aus, je nach dem Erfolg der Klimaschutzbemühungen. Für Wälder in Mitteleuropa besonders bedeutsam ist die Annahme einer Häufung von extremen Witterungsereignissen wie Stürme (s. a. Leckebusch et al., 2006) sowie Hitzeereignissen und Trockenheit. Dabei kann die Region insbesondere von einer deutlich erhöhten Frequenz länger anhaltender Hitzeperioden betroffen sein (Abb. 1, EEA, 2007). Die erwartete Verschärfung von Trockenheit, Hitzeperioden und Sturmgefahren wirkt zusammen mit bekannten oder neuartigen biotischen Schaderregern und weiter bestehenden Einflüssen wie den Einträgen von Stickstoff und Säuren aus der Luft (z. B. Bolte und Ibisch, 2007).

Mögliche spontane oder waldbaulich bedingte Änderungen der Waldstrukturen wirken sich auf die vielfältigen Funktionen und Leistungen der Wälder für die Ressourcenbereitstellung, den Landschaftswasserhaushalt, die Vielfalt an Pflanzen und Tieren und die Erholung aus. Die Verletzbarkeit (Vulnerabilität) von Waldökosystemen und deren Funktionen hängt stark von der Region sowie von deren klimatischen sowie standörtlichen Verhältnissen ab (Bolte und Ibisch, 2009).

## 2 Strategien der waldbaulichen Anpassung

Die strategische Waldbauplanung betrachtet die langfristigen Möglichkeiten der Waldanpassung. In Anlehnung an Millar et al. (2007) stellen wir drei unterschiedliche Strategien des waldbaulichen Umgangs mit Wäldern unter dem Klimawandel vor:

- *Nicht-Anpassung bzw. Erhaltung der bestehenden Waldstrukturen:*  
Dies erfordert z. T. erhebliche Erhaltungseingriffe, um die Waldbestände gegen abiotische und biotische



Anzahl von Hitzeperioden über 7 Tage (1961 bis 1990, links; 2071 bis 2100, rechts)

< 1  
  1  
  2-3  
  4-5  
  6-7  
  8-9  
  ≥ 10

Abbildung 1:

Häufigkeit von Hitzeereignissen im Zeitraum 1961 bis 1990 (links) und 2071 bis 2100 (rechts) nach EEA (2007, verändert), Grundlage: SRES Szenario A2 und dänisches, regionales Klimamodell

Schäden zu schützen. Das Risiko von katastrophalen Ereignissen (Trockenschäden, Windwurf; Harris et al., 2006) erhöht sich, je mehr sich die bestandesbildenden Baumarten durch den lokalen Klima- bzw. Standortwandel von ihrem Wuchs- und Vitalitätsoptimum entfernen.

Kriterien für eine erfolgreiche Anwendung dieser Strategie sind: (i) geringer örtlicher Einfluss des Klimawandels (z. B. Grundwasseranschluss), (ii) hohe Bestandesresistenz gegenüber Witterungsstress, (iii) ein hohes Bestandesalter und dadurch baldige Anpassungsmöglichkeiten, (iv) eine hohe Bedeutung des Bestandes und seiner Struktur für die Waldfunktionen (z. B. Wertholzproduktion, Produktionsfunktion) und (v) eine hohe Wahrscheinlichkeit, dass Erhaltungs Eingriffe tatsächlich stabilitäts- und vitalitätsfördernd auf den Bestand wirken (Bolte et al., 2009, 2010).

- **Aktive Anpassung bzw. Waldumbau:**  
Aktive Anpassungsmaßnahmen wie der Ersatz trockenheitsempfindlicher Bäume durch trockenheitstolerante Bäume anderer Arten und Herkünfte (Waldumbau) benötigen dynamische Leitbilder, die die Standortänderungen durch Klimawandel mit berücksichtigen (vgl. Bolte und Ibisch, 2007). Bisherige (semi-)statische Leitbilder wie die potenzielle natürliche Vegetation (pnV) liefern keine ausreichende Grundlage für eine aktive Anpassung und führen zu einem unkalkulierbaren Risiko. Kriterien, die für die Anwendung dieser Strategie sprechen sind: (i) eine deutliche Verbesserung der Bestandestoleranz gegenüber Einflüssen des Klimawandels, (ii) ein Vorteil für die Waldfunktionen, (iii) ein hohes Schadrisiko für benachbarte Bestände (z. B. Feuer, Windwurf und Borkenkäfer) und (iv) eine deutlich höhere Erfolgsaussicht als mit den beiden anderen Strategien.
- **Passive Anpassung bzw. „Sich-selbst-Überlassen“:**  
Diese Strategie beinhaltet das bewusste Einstellen von Erhaltungs- und Anpassungsmaßnahmen, um der natürlichen Waldentwicklung die Waldanpassung zu überlassen. Dies führt zu einer risikoarmen, aber ergebnisoffenen Entwicklung. Forstwirtschaftliche und naturschutzfachliche Ziele sind nicht definitiv planbar. Kriterien für die Strategie sind (i) eine geringe Bedeutung des Waldbestandes für die ökonomischen und ökologischen Waldfunktionen, (ii) das Fehlen von angemessenen aktiven Anpassungsmaßnahmen und (iii) ein besseres Kosten-Nutzen-Verhältnis im Vergleich zu den vorhergehenden Strategien.

Die genannten Konzepte decken die grundsätzlichen Möglichkeiten ab, Eingriffe bzw. Nicht-Eingriffe bewusst zur Anpassung des Klimawandels einzusetzen. Die Konzepte können auf der Fläche in Raum und Zeit kombiniert werden.

Bisher wird dieses Konzept der Waldanpassung, das sich an den strategischen Zielen der Waldanpassung für einzelne Bestände orientiert, in Deutschland wenig beachtet. Laufende Anpassungsmaßnahmen konzentrieren sich eher auf eine Strategie der Risikostreuung durch eine vielfältige Baumartenmischung unter Einbeziehung stresstoleranter Baumarten (Lüpke, 2004; Wagner und Fischer, 2007).

### 3 Umsetzung der Anpassungsstrategien

Insbesondere für die aktive Anpassung werden weitreichende Informationen darüber benötigt, welche Baumarten bzw. deren Herkünfte an die zukünftigen Klimabedingungen und Witterungsextreme am besten angepasst sind und welche nicht. Dabei geht es darum, Informationen zum zukünftigen (lokalen) Klimawandel mit der Anpassung verschiedener Baumarten und deren Herkünfte zu verschneiden.

#### 3.1 Anpassungspotenzial von Baumarten

Bei Betrachtung der Baumarten gilt die Fichte (*Picea abies*) unter den Nadelbaumarten als besonders anfällig (Zebisch et al., 2005; Kölling et al., 2007; Profft et al., 2007; Spellmann et al., 2007), während die eingeführte Douglasie (*Pseudotsuga menziesii*) und Küstentanne (*Abies grandis*) als vergleichsweise widerstandsfähig angesehen werden (Roloff und Grundmann, 2008; Kölling et al., 2009). Über die Kiefer (*Pinus sylvestris*) gibt es differierende Ansichten. Während Publikationen aus der Schweiz und Süddeutschland eine begrenzte Wärme- und Trockentoleranz der Kiefer annehmen (Bigler et al., 2006; Kölling, 2007), halten sie Autoren aus Ostdeutschland für trockenheitstolerant und anpassungsfähig (Kätzel et al., 2007; Roloff und Grundmann, 2008).

Bei den Laubbaumarten gelten die einheimische Traubeneiche (*Quercus petraea*), aber auch die eingeführte Roteiche (*Quercus rubra*) als trockenheitstolerant (Roloff und Grundmann, 2008). Die Buche wird als weniger trockenheitstolerant angesehen, aber ihr Anpassungspotenzial an Trockenheit und Hitze wird vermutlich unterschätzt (Czajkowski et al., 2005; Czajkowski und Bolte, 2006; Bolte et al., 2007). Eine Reihe von trockenheitstoleranten Nebenbaumarten wie der Spitz- und Feldahorn (*Acer platanoides*, *A. campestre*), die Hainbuche (*Carpinus betulus*), die Winterlinde (*Tilia cordata*) und die Robinie (*Robinia pseudoacacia*) sind interessant für einen ausgeweiteten Anbau

(Roloff und Grundmann, 2008). Beim vermehrten Anbau von eingeführten, neophytischen Baumarten können sich Konflikte mit dem Naturschutz ergeben (Bolte und Ibsch, 2009).

Biotische Gefahren durch neue oder bekannte Schadorganismen mit erhöhter Virulenz lassen sich insbesondere bei Fichte (Buchdrucker), Kiefer (nadelfressende Insekten, Kiefernprachtkäfer) und Traubeneiche (Komplexkrankheit, Eichenprozessionsspinner) beobachten (Möller et al., 2007; Petercord et al., 2008).

Eine Bewertung der Anpassung auf Artebene reicht allerdings meist nicht aus, da sich Herkünfte durch regionale und lokale Anpassung der Populationen stark unterscheiden können. Sowohl bei einheimischen als auch eingeführten Baumarten kann die Wahl geeigneter Herkünfte die Waldanpassung erhöhen.

### 3.2 Anpassung durch Wahl geeigneter Herkünfte

Die meisten Baumarten haben ein großes Verbreitungsgebiet, das weit über Deutschland hinausgeht. In den Verbreitungsgebieten haben sich Populationen an die unterschiedlichen Standortbedingungen regional und lokal angepasst. Bei der künstlichen Verjüngung von Wäldern ist es daher wichtig, geeignetes, an die örtlichen Umweltbedingungen angepasstes Vermehrungsgut zu verwenden. In Deutschland regeln das Forstvermehrungsgutgesetz (FoVG) und seine Durchführungsverordnungen die Ernte und den Handel von forstlichem Vermehrungsgut. Für alle wichtigen forstlichen Baumarten werden hierin Herkunftsgebiete ausgewiesen. Die Anbauempfehlungen der Forstverwaltungen orientieren sich an dieser Einteilung von Herkunftsgebieten. Herkunftsversuche, bei denen bestimmte Herkünfte unter verschiedenen Umweltbedingungen angebaut werden, geben wichtige Hinweise über die Angepasstheit und die Anpassungsfähigkeit der untersuchten Baumarten. Die Verwendung von Herkünften aus Regionen, die dem Klima entsprechen, wie es in Deutschland zukünftig sein wird, stellt ein wichtiges Element aktiver Anpassung der Forstwirtschaft dar. Für die Auswahl geeigneter Herkünfte sind umfangreiche Datensätze aus internationalen Herkunftsversuchen von großem Wert. In den USA, Kanada und Eurasien werden Auswertungen solcher Herkunftsversuche bereits zur Ableitung von Anbauempfehlung von besser klimaangepassten Herkünften verwendet (O'Neill et al., 2008; Rehfeldt et al., 2002).

Neben dem aktiven Saatguttransfer als Anpassungsstrategie wird kontrovers diskutiert, ob und mit welcher Geschwindigkeit sich Baumpopulationen auch ohne Eingriff des Menschen an die prognostizierten schnellen Klimaänderungen genetisch anpassen können. Aus neuen Daten zur Rückwanderung nach den letzten Eiszeiten weiß man, dass die Geschwindigkeit der natürlichen Saatgutverbrei-

zung durch Wind, Wasser oder Tiere zu langsam ist, um angemessen auf die schnellen Klimaänderungen zu reagieren (Petit et al., 2008). Über größere Entfernungen und damit schneller kann jedoch der Genfluss über den Pollen erfolgen. Auf diese Weise könnte besser angepasste genetische Variation aus fernen Regionen in lokale Baumbestände etabliert werden (Savolainen et al., 2007).

Das Konzept der Klimahüllen zur Beurteilung der Angepasstheit von Baumarten an prognostizierte Klimaänderungen (Kölling, 2007) ist aus genetischer Sicht kritisch zu beurteilen. Die Klimahülle einer Baumart beinhaltet viele lokal angepasste Populationen, die jeweils entsprechend ihrem Genpool nur einen Teil der Klimaamplitude der Baumart abdecken. Bei der schnellen vorhergesagten Änderung des Klimas, ist zu befürchten, dass diese lokale Anpassung verloren geht. In solchen Fällen kann nur ein Saatguttransfer aus Regionen mit vormals ähnlichem Klima die lokale Angepasstheit sicherstellen.

Das Institut für Forstgenetik führt seit vielen Jahren forstliche Herkunftsversuche durch. Ein Schwerpunkt war hierbei die Anlage und Koordination von internationalen Herkunftsversuchen bei der Rotbuche (Wühlisch et al., 1995). In einer Versuchsserie der Jahre 1993/1995 wurden insgesamt 159 verschiedene Herkünfte aus dem gesamten Buchenverbreitungsgebiet auf 23 verschiedene Versuchsfelder in Europa ausgebracht (Abb. 2).

Internationaler Herkunftsversuch mit Buche 1993/95

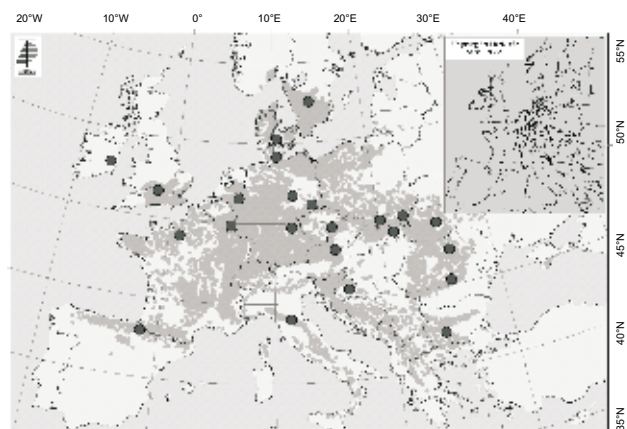


Abbildung 2:

Verbreitungsgebiet der Rotbuche (grau hinterlegt); Lage von 23 Flächen des Herkunftsversuchs (große Kreise), Ursprungsort der 159 Herkünfte (schwarze Punkte Karte oben rechts)

Das Austriebsverhalten der Pflanzen im Frühjahr ist ein wichtiger Indikator für die lokale Angepasstheit der Buchen an Klimabedingungen. Durch natürliche Selektion hat sich in den Baumpopulationen ein Austriebszeitpunkt eingestellt, der zum einen das Spätfrostisiko minimiert und zum anderen die Vegetationszeit optimal ausnutzt.

Die Steuerung des Austriebes erfolgt wahrscheinlich über die Wärmesumme. So lässt sich in atlantisch geprägten Regionen beobachten, dass Buchenherkünfte aus kälteren, kontinentalen Regionen bzw. aus höheren Höhenlagen deutlich eher austreiben (Abb. 3.)

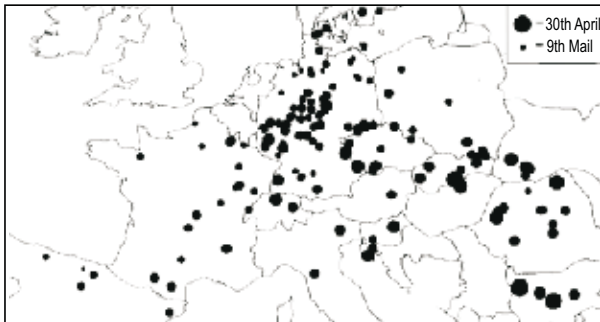


Abbildung 3:  
Zeitpunkt des Austriebs 3-jähriger Pflanzen von 158 Herkünften im Pflanzgarten des Instituts für Forstgenetik in Großhansdorf, große Kreise repräsentieren frühaustreibende Herkünfte mit geringem Schwellenwert bei der Wärmesumme für den Austrieb (Wühlich et al., 1995)

Die Ergebnisse von Herkunftsversuchen sind auch bei der Auswahl klimaangepassten Vermehrungsgutes nicht-heimischer Baumarten sehr wichtig. Für den Anbau in Deutschland ist hier vor allem die Douglasie mit ihrem natürlichen Verbreitungsgebiet im westlichen Nordamerika relevant. Ältere Herkunftsversuche des Instituts zeigten, dass die Resistenz gegenüber dem Pilzbefall durch *Rhabdocline* für die Auswahl geeigneter Herkünfte entscheidend ist. Hier haben sich besonders Küstenherkünfte bewährt (Liesebach und Stephan, 1995). Vor dem Hintergrund der Klimaänderungen werden diese Anbauempfehlungen zur Zeit überarbeitet. Hier spielt nun neben der Pilzresistenz die Trockentoleranz eine wichtige Rolle. Daher wird inzwischen auch der Anbau gut wüchsiger trocken-toleranter nördlicher Inlandsherkünfte der Douglasie favorisiert.

Die Erhaltung und Verwendung forstlicher Genressourcen ist eine Aufgabe, die sich am Verbreitungsgebiet der Baumarten orientieren muss. Die Klimaänderungen und die Auswahl angepassten Saatguts erfordern daher eine gute europäische und internationale Zusammenarbeit. Dies wird zum Beispiel daran deutlich, dass skandinavische Länder ein Interesse an Buchenherkünften aus Deutschland haben, während für den zukünftigen Anbau der Buche in trockenen Gebieten in Brandenburg Herkünfte aus Süd-Osteuropa von Bedeutung sind.

#### 4 Konzept zur Waldanpassung

Auf Grundlage der diskutierten Anpassungsstrategien stellen wir ein integratives Anpassungskonzept vor, das Aktivitäten auf unterschiedlichen räumlichen Ebenen kombiniert (Abb. 4). Dabei ist die Interaktion zwischen Treibhausgasminderung und Anpassung zu beachten, da lokale Waldanpassung und Erhaltung der Bestandesproduktivität sich positiv auf die Treibhausgas-minderung auf globaler Ebene auswirkt. Der Erfolg bei der Verminderung der Treibhausgase wiederum erweitert den Spielraum für Waldanpassung.



Abbildung 4:  
Integratives Konzept für ein adaptives Waldmanagement in Mitteleuropa

Forschungen und Freilandversuche zur Eignung von Baumarten und Herkünften, deren Kenntnis für eine erfolgreiche aktive Anpassung notwendig sind, müssen auf internationaler Ebene erfolgen, um die gesamten Verbreitungsgebiete von heimischen und eingeführten Baumarten und deren Herkünfte abzudecken. Der Aufbau eines internationalen Netzes von Forschungs- und Versuchsflächen wäre hierbei von großem Nutzen. Dieses Netz könnte für Experimente zu neuen Bestandestypen mit neuartigen Mischungen von einheimischen und eingeführten Baumarten und deren Herkünften verwendet werden. Zudem können wichtige Grundlagendaten für Modellierungen zur standörtlichen Eignung und Konkurrenz-kraft von Arten und Herkünften unter Klimawandel abgeleitet werden.

Die Kartierung von Vorranggebieten für die verschiedenen Anpassungsstrategien ist dagegen eine Aufgabe für nationale und/oder regionale Behörden und Entscheidungsträger, um die Eignung und Effektivität von lokalen Anpassungsmaßnahmen zu steuern. Hierbei werden Möglichkeiten und Grenzen der örtlichen Anpassung vergleichend abgewogen und Prioritäten bestimmt. Daneben können auf dieser Ebene mögliche Konflikte zwischen Anpassungs- und Minderungszielen gelöst werden (vgl. Klein et al., 2003).

Auf der lokalen Ebene, sind die Bewirtschafter vor Ort verantwortlich für die sachgerechte Umsetzung der Waldanpassung in Form von einzelnen Maßnahmen wie dem Vorkauf von Beständen oder Pflege- und Einschlagsmaßnahmen. Die Akteure interagieren auf den unterschiedlichen Ebenen im Rahmen eines zweiseitigen Entscheidungs-Unterstützungs- und Informationspfades: (1) von der internationalen zur lokalen Ebene und (2) von der Wissenschaft zur regionalen und lokalen Forstverwaltung bzw. zu den Betrieben (vgl. Jansen et al., 2008).

## 5 Fazit

Bei der Betrachtung der verschiedenen Anpassungsoptionen muss darauf hingewiesen werden, dass die Möglichkeiten der Waldanpassung in weiten Teilen Mitteleuropas begrenzt sind. Bei einer Überschreitung des 2 °C-Zieles der globalen Lufttemperaturerwärmung können sich die Spielräume für eine Anpassung stark verengen mit möglicherweise stark ertragsmindernden Auswirkungen für die Forstwirtschaft. Die Waldanpassung kann daher erfolgreiche Minderungsmaßnahmen nicht ersetzen.

Die langfristige Anpassung der Waldbewirtschaftung an den Klimawandel sollte aktive wie passive Elemente enthalten, um eine Vielfalt von Ergebnissen und Erfahrungen zur Waldanpassung zu erhalten. Allerdings ist in den mitteleuropäischen Wirtschaftswäldern mit hoher Bewirtschaftungsintensität von einem starken Übergewicht aktiver Anpassung auszugehen (Bolte et al., 2010). Kurzfristige waldbauliche Anpassungsmaßnahmen (z. B. Änderung der Durchforstungsstärke) können langfristige Anpassungsmaßnahmen unterstützen.

Neue Informationen zu lokaler Baumarten- und Herkunftseignung werden dringend benötigt, um Anpassungsstrategien zielgerichtet flächendeckend umzusetzen. Hierbei geht es um die Verknüpfung von Grundlagenforschung zu Ökologie, Ökophysiologie und Genetik mit angewandten Anbauversuchen auf größeren Flächen. Die diskutierten Anpassungsmaßnahmen in der Forstwirtschaft müssen zu einem integrativen, angepassten Landschaftsmanagement unter Beteiligung anderer Landnutzungssektoren beitragen. Daher ist die Einbindung in ein abgestimmtes, angepasstes Landnutzungsmanagement erforderlich.

## Literatur

- Bigler C, Braker OU, Bugmann H, Dobberrin M, Rigling A (2006) Drought as an inciting mortality factor in Scots pine stands of the Valais, Switzerland. *Ecosystems* 9(3):330-343
- Bolte A, Czajkowski T, Kompa T (2007) The north-eastern distribution range of European beech : a review. *Forestry* 80(4):413-429
- Bolte A, Ibisch PL (2007) Neun Thesen zu Klimawandel, Waldbau und Waldnaturschutz. *AFZ Wald* 62(11):572-576
- Bolte A, Ibisch PL (2009) Funktionen des Waldes im Klimawandel : Konfliktfelder und mögliche Lösungen. In: *Waldmanagement im Klimastress : Anpassungsstrategien im nordostdeutschen Tiefland*. Potsdam : Ministerium für ländliche Entwicklung, Umwelt und Verbraucherschutz des Landes Brandenburg, pp 7-14
- Bolte A, Ammer C, Löf M, Madsen P, Nabuurs G-J, Schall P, Spathelf P, Rock J (2009) Adaptive forest management in central Europe : climate change impacts, strategies and integrative concept. *Scand J For Res* 24(6):471-480
- Bolte A, Ammer C, Löf M, Nabuurs G-J, Schall P, Spathelf P (2010) Adaptive forest management : a prerequisite for sustainable forestry in the face of climate change. In: Spathelf P (ed) *Sustainable forest management in a changing world*. *Managing Forest Ecosystems* 19. Dordrecht, Heidelberg, London, New York : Springer, pp 115-139
- Czajkowski T, Kühling M, Bolte A (2005) Einfluss der Sommertrockenheit im Jahre 2003 auf das Wachstum von Naturverjüngungen der Buche (*Fagus sylvatica* L.) im nordöstlichen Mitteleuropa. *Allg Forst Jagdzeitg* 176(8):133-143
- Czajkowski T, Bolte A (2006) Unterschiedliche Reaktion deutscher und polnischer Herkünfte der Buche (*Fagus sylvatica* L.) auf Trockenheit. *Allg Forst Jagdzeitg* 177(2):30-40
- European Environmental Agency (2007) *Europe's environment : the fourth assessment*. Copenhagen : EEA, 452 p
- Harris JA, Hobbs RJ, Higgs E, Aronson J (2006) Ecological restoration and global climate change. *Restor Ecol* 14:170-176
- Intergovernmental Panel on Climate Change (2007) *Climate change 2007 : the physical science basis ; summary for policymakers, technical summary and frequently asked questions*. Part of the Working Group I contribution to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Nairobi : UNEP, 142 p
- Kätzel R, Hindorf U, Löffler S, Beck W (2007) Zur Anpassungsfähigkeit von Altkiefern im Forstrevier Kahlenberg. *Eberswalder Forstl Schriftenr* 32:199-213
- Klein RJT, Schipper EL, Dessai S (2003) Integrating mitigation and adaptation into climate and development policy : three research questions [online]. Zu finden in <<http://www.tyndall.ac.uk/sites/default/files/wp40.pdf>> [zitiert am 22.07.2010]
- Kölling C (2007) Klimahüllen für 27 Waldbaumarten. *AFZ Wald* 62(23):1242-1245
- Kölling C, Zimmermann L, Walentowski H (2007) Klimawandel : was geschieht mit Fichte und Buche? *AFZ Wald* 62(11):584-588
- Kölling C, Knoke T, Schall P, Ammer C (2009) Überlegungen zum Risiko des Fichtenanbaus in Deutschland vor dem Hintergrund des Klimawandels. *Forstarch* 80:42-54
- Jansen M, Döring C, Ahrends B, Bolte A, Czajkowski T, Panferov O, Albert M, Spellmann H, Nagel J, Lemme H, Habermann M, Staupendahl K, Möhring B, Böcher M, Storch S, Krott K, Nuske R, Thiele JC, Nieschulze J, Saborowski J, Beese F (2008) Anpassungsstrategien für eine nachhaltige Waldbewirtschaftung unter sich wandelnden Klimabedingungen : Entwicklung eines Entscheidungsunterstützungssystems „Wald und Klimawandel“ (DSS-WuK). *Forstarch* 79:131-142
- Leckebusch GC, Koffi B, Ulbrich U, Pinto JG, Spanghel T, Zacharias S (2006) Analysis of frequency and intensity of European winter storm events from a multi-model perspective, at synoptic and regional scales. *Clim Res* 31:59-74
- Liesebach M, Stephan BR (1995) Growth performance and reaction to biotic and abiotic factors of Douglas fir progenies (*Pseudotsuga menziesii* [Mirb.] Franco). *Silvae Genetica* 44(5-6):303-311
- O'Neill GA, Hamann A, Wang TL (2008) Accounting for population variation improves estimates of the impact of climate change on species' growth and distribution. *J Appl Ecol* 45:1040-1049
- Lüpke B v (2004) Risikominderung durch Mischwälder und naturnaher Waldbau : ein Spannungsfeld. *Forstarch* 75:43-50
- Millar CI, Stephenson NL, Stephens SL (2007) Climate change and forests of the future : managing in the face of uncertainty. *Ecol Appl* 17(8):2145-2151
- Möller K, Walter C, Engelmann A, Hielscher K (2007) Die Gefährdung der Gemeinen Kiefer durch Insekten. *Eberswalder Forstl Schriftenr* 32:245-257
- Petercord R, Veit H, Delb H, Schröter H (2008) Forstinsekten im Klimawandel : alte Bekannte mit neuem Potenzial? *FVA-einblick* 1:36-39

- Petit RJ, Hu FS, Dich CW (2008) Forests of the past : a window to future changes. *Science* 320:1450-1452
- Profft I, Seiler M, Arenhövel W (2007) Die Zukunft der Fichte in Thüringen vor dem Hintergrund des Klimawandels. *Forst Holz* 62(2):19-25
- Rehfeldt GE, Tchebakova NM, Parfenova YI, Wykoff WR, Kuzmina NA, Milyutin LI (2002) Intraspecific responses to climate in *Pinus sylvestris*. *Global Change Biol* 8:912-929
- Roloff A, Grundmann BM (2008) Waldbaumarten und ihre Verwendung im Klimawandel. *Arch Forstwes Landschaftsökol* 42(3):97-109
- Savolainen O, Pyhajarvi T, Knurr T (2007) Gene flow and local adaptation in trees. *Ann Rev Ecol Evol Syst* 38:595-619
- Spellmann H, Suttmöller J, Meesenburg H (2007) Risikovorsorge im Zeichen des Klimawandels : vorläufige Empfehlungen der NW-FVA am Beispiel des Fichtenanbaus. *AFZ Wald* 62(23):1246-1249
- Wagner S, Fischer H (2007) Klimawandel : wie reagiert der Waldbau? *proWald* 3:4-7
- Wuehlisch G v, Krusche D, Muhs HJ (1995) Variation in temperature sum requirement for flushing of beech provenances. *Silvae Genetica* 44:343-346
- Zebisch M, Grothmann T, Schröter D, Hasse C, Fritsch U, Cramer W (2005) Klimawandel in Deutschland : Vulnerabilität und Anpassungsstrategien klimasensitiver Systeme. Potsdam, UBA-FB 00,844