



Natürlicher Hochlagen-Fichtenwald
nach Borkenkäferbefall
im Nationalpark Bayerischer Wald
(Quelle: Müller-Kroehling St. et.al, 2009, Foto C. Kölling)

VII. Der Wald und der Klimawandel

Sind die Wälder fit für den Klimawandel?

- 1 Der Klimawandel**
 - 1.1 Die Unsicherheit der Aussagen**
 - 1.2 Die Veränderung der Umweltgrößen**
 - 1.3 Der Standort**
- 2 Die Aktuellen Waldstrukturen**
 - 2.1 Die natürlichen Wälder Mitteleuropas**
 - 2.2 Die forstlichen Bestandsstrukturen**
- 3 Das Anpassungspotenzial**
 - 3.1 Die Baumartenwahl**
 - 3.2 Der zukünftige Wald**

Hans Langer

2014

Die Klimaänderung ist deshalb bedeutsam, weil die klimatischen Verhältnisse ein zentraler Bestimmungsfaktor für den gesamten Naturhaushalt und die Lebensgrundlage menschlicher sowie pflanzlicher und tierischer Gesellschaften sind. Über das Ausmaß des Klimawandels und seine regionalen Ausprägungen herrschen noch erhebliche Unsicherheiten. Vor diesem Hintergrund bestehen deshalb auch für die Einschätzung der künftiger mitteleuropäischen Hauptbaumarten und Waldökosysteme entsprechende Schwierigkeiten.

Als eine Grundlage der Bewertung des ökologischen Potenzials wichtiger Baumarten hinsichtlich künftiger Waldökosysteme erweist sich die Analyse und Einschätzung ihres aktuellen Umweltverhaltens und ihrer Vergesellschaftung. Das Anpassungspotenzial ergibt sich dabei aus den Standortansprüchen und Arealausprägungen sowie den natürlichen Waldstrukturen und Strukturen der Waldnutzung.

1 Der Klimawandel

1.1 Die Unsicherheiten der Aussagen

Neben der Frage nach den Ursachen des Klimawandels ist die Abschätzung des künftigen Klimas eine entscheidende Bedingung. Solche Prognosen sind jedoch grundsätzlich mit Unsicherheiten behaftet:

- durch die externen Einflussfaktoren auf das Klima;
- durch die begrenzte Kenntnis des Klimasystems;
- durch die Defizite in den Klimamodellen selbst.

Die Abschätzung der möglichen Klimaentwicklungen auf der Grundlage von Klimamodellen ist nicht als unmittelbare Vorhersage des künftigen klimatischen Geschehens zu verstehen. Es sind **keine Prognosen**, denn dieser Begriff würde den tatsächlichen Eintritt der dargestellten Veränderungen implizieren. Vielmehr werden anhand von Projektionen verschiedene, gleichberechtigte **Szenarien möglicher alternativer Entwicklungen** beschrieben (Wenn-Dann-Prinzip).

Um solche Zukunftsprojektionen richtig zu verstehen, ist es erforderlich, sich über deren zahlreiche Unsicherheiten im Klaren zu sein. Die wichtigste Frage lautet: Wie wird sich die Menschheit weiter entwickeln und welchen Einfluss auf das Klima hat das zur Folge. Doch die Probleme resultieren nicht nur aus der Ungewissheit über die tatsächliche Weiterentwicklung der Bevölkerung, der Weltwirtschaft, des Umfangs und der Art des Energieverbrauchs oder der Formen und Intensitäten der Landnutzung (was in unterschiedlichen Szenarien zu berücksichtigen versucht wird), sondern ergeben sich ebenso aus der Überlagerung von anthropogener Klimabeeinflussung und natürlicher Klimadynamik (wie z.B. Schwankungen in solarer und vulkanischer Aktivität sowie klimasystemintern ausgelöste Wechselwirkungen zwischen Ozean und Land).

Von gleicher Bedeutung wie die Unberechenbarkeiten des menschlichen Verhaltens sind auch die Unsicherheiten des Klimasystems selbst. Trotz beeindruckender Forschung ist die Kenntnis über das Klimasystem und seiner Dynamik aber noch begrenzt. Unzureichend ist beispielsweise das Wissen über Rückkopplungsprozesse, kleinräumige Vorgänge und viele Aspekte der Chemie und Physik der Atmosphäre. Ungewiss ist ebenso, ob, wann, wodurch

und wie schnell Grenzzustände erreicht werden können, die zu einem anderen Klimazustand führen.

Die Probleme entstehen aber auch aus Ungenauigkeiten sowohl der numerischen wie der statistischen Modellierungen. Diese Unsicherheiten versucht man zu minimieren, indem mittels verschiedener Klimamodelle, sogenannter Multimodell-Ensembles, die Spanne möglicher Klimazustände abgeschätzt wird. Klimaprojektionen werden umso verlässlicher, je größer die Zahl der Simulationen, je größer die Zahl der jeweiligen methodischen Ansätze und Szenarien ist und je besser die Modelle die Realität beschreiben. Auf der Basis der Resultate verschiedener Modelle sind Entwicklungstrends besser zu erkennen und die Spannweite der möglichen Klimaänderungen kann besser abgeschätzt werden. Die Unsicherheiten der Modellaussagen lassen sich im Vergleich der unterschiedlichen Ansätze besser interpretieren. Ein solcher komplexer Prozess erfordert dabei die Bündelung der Fachkenntnisse aller Experten adäquater Disziplinen. Für eine zuverlässige Plausibilitätsprüfung ist außerdem die Erfahrung von Fachleuten aus den einzelnen Regionen Voraussetzung.

Mit dem Offenlegen der Unsicherheiten ist allerdings ein erhebliches Dilemma verbunden. Denn je transparenter diese Unsicherheiten gemacht werden, desto weniger überzeugen die getroffenen Aussagen die Öffentlichkeit.

1.2 Die Veränderung von Umweltgrößen

In Mitteleuropa haben sich über die letzten Jahrhunderte die Klima- und Wetterverhältnissen als relativ verlässlich und stabil erwiesen.

In Deutschland beispielsweise betrug die durchschnittliche Jahrestemperatur ca. 8,2 °C und die Niederschlagssumme ca. 750 mm pro Jahr. Aufgrund seiner Stabilität aber auch wegen dieser günstigen Temperatur- und Niederschlagsverhältnisse bildete das Klima eine solide Basis für die grundlegende Versorgung der Bevölkerung und andere menschliche Aktivitäten. Bislang stand Klima für Stabilität und Wetter für Variabilität. Inzwischen impliziert aber auch der Begriff Klima einen Wandel und im Bereich des Wetters nehmen die Extremereignisse zu. Mit welchen Klimaveränderungen in Zukunft konkret zu rechnen ist lässt sich jedoch nicht real vorhersagen.

Dass der Klimawandel als globales Phänomen auch Deutschland beeinflusst, zeichnete sich schon in Veränderungen während der vergangenen 100 Jahre ab. Registriert wurde in diesem Zeitraum ein Temperaturanstieg der durchschnittlichen Jahrestemperatur um 0,8 bis 1 °C, eine Zunahme der Niederschläge während der Winter und zugleich eine Abnahme der Schneedecke. Klimaextreme wie Hitzewellen, Starkniederschläge und Sturmböen traten vor allem in den letzten 20 Jahren vermehrt auf (IPCC 2007; R. SCHWARZ, S. HARMELING, CHR. BALS 2007).

Unter bestimmten Szenario-Annahmen der menschlichen Aktivitäten lassen sich mit globalen Klimamodellen jedoch entsprechend großskalige Klimaprojektionen simulieren. Nicht konkrete Einzelzustände sind von Belang, sondern deren längerfristige Perspektive unter geänderten Rahmenbedingungen. Die Ergebnisse der globalen Klimamodelle variieren dabei

in Abhängigkeit von den zugrunde gelegten Bedingungen. Ein Vergleich der verschiedenen Modellergebnisse ermöglicht aber bereits wesentliche Grundaussagen hinsichtlich der möglichen Klimaänderung. Wichtige Komponenten dieser Veränderung sind Temperatur und Niederschlag.

Die Aussagen zum Klimawandel fallen je nach angewandtem Szenario unterschiedlich dramatisch aus. Im Zeitraum von 1906-2005 erreichte die globale Jahresmitteltemperatur eine Steigerung um 0,74 °C an. Sie soll sich relativ zu 1980-1999 nochmals um 2-4 °C bis zum Jahr 2100 erhöhen. Bis Ende des 21. Jahrhunderts bewegt sich die projizierte Erhöhung der globalen Mitteltemperatur in Abhängigkeit vom Treibhausgas-Emissionsszenario in einem Unsicherheitsbereich zwischen 1,1 - 6,4 °C (H.J. CHRISTENSEN 2005; IPCC 2007). Weiterhin zeigen die Modelle für den europäischen Raum eine Zunahme der Variabilität der Sommertemperaturen, die in den vergangenen 150 Jahren so noch nicht beobachtet wurde. Das Dürrejahr 2003 kann als ein Vorbote solcher zukünftigen klimatischen Verhältnisse angesehen werden (M. BENISTON 2004; H.J. CHRISTENSEN 2005).

Bezüglich der Niederschlagsverhältnisse wird im globalen Maßstab von einem durchschnittlichen Anstieg des Jahresniederschlags ausgegangen. Die regionalen Schwankungen der Zu- bzw. Abnahmen werden zwischen 5% und 20% angegeben. Aus den verfügbaren Klimamodellen ist für den nördlichen Teil Europas eine Zunahme der Niederschläge wahrscheinlich. Für Mittel- und Südeuropa wird hingegen ein deutlicher Rückgang der Niederschlagssummen projiziert, aber verbunden mit einer generellen Häufigkeitszunahme der Starkniederschläge (IPCC 2007). Mit einer erhöhten Temperatur geht auch eine zeitliche Verlagerung der Niederschläge einher. Während in Europa die Niederschläge in den Wintermonaten zunehmen werden, kommt es zu einem Rückgang der Niederschläge in der Vegetationsperiode um 10-25%. Allerdings bestehen bei regionalen Niederschlagsprojektionen noch erhebliche Unsicherheiten. Die Zunahme von Extremereignissen - wie lange Trockenperioden, Orkane, Starkregen und Überflutungen - ist bereits spürbar. Auch die Zunahme von Sturmereignissen deutet sich für Europa an (G. C. LECKEBUSCH 2004, 2006).

Die Modelle zeigen die zukünftige Erwärmung Deutschlands im Winter am deutlichsten. Mit der höchsten Erwärmung von mehr als 4 °C ist in den Wintermonaten in Süd- und Südost-Deutschland zu rechnen. Der Temperaturanstieg verringert sich nach Norden und Westen zur Atlantikküste hin. Für die Küstenregion wurde jedoch noch eine winterliche Erwärmung um ca. 3,5 °C berechnet. Auch für den Sommer zeichnet sich mit ca. 3 bis 4 °C für den Süden Deutschlands der höchste Temperaturanstieg ab (UBA 2006).

Die Niederschlagsverhältnisse werden sich ebenfalls regional und saisonal verändern. In Süd-, Südwest- und Nordost-Deutschland ist mit einem bis zu 40%igen Rückgang der Niederschläge im Sommer zu rechnen. Für den Winter hingegen deuten sich fast im gesamten Land stärkere Niederschläge an (UBA 2006).

Im Nordosten Deutschlands drohen in den Sommermonaten Dürreperioden, während es in Süd- und Südwest-Deutschland in den Wintermonaten feuchter werden soll. Der im Sommer fallende Niederschlag wird zudem voraussichtlich zunehmend in Starkniederschlägen auftreten. Die durchschnittliche Niederschlagsmenge verändert sich durch diese Verschiebungen

nur unwesentlich. Doch vor allem für die Forst- und Landwirtschaft spielt die Verteilung der Niederschläge eine wichtige Rolle. Regional wird weniger Schnee erwartet. In den Alpen fällt momentan etwa ein Drittel des Niederschlags als Schnee, wobei sich dieser Schneeanteil am Ende des Jahrhunderts noch wesentlich reduziert haben könnte (UBA 2006). Außerdem wird sich die Schneefallgrenze wahrscheinlich nach oben verschieben.

Der Vergleich von Ergebnissen zeigt, dass die Resultate neuer Modelle die alten zumindest tendenziell bestätigen und konkretisieren. Dennoch bleiben - gerade bei kleinräumiger Betrachtung - erhebliche Ungewissheiten bestehen. Außerdem bleiben nicht-lineare Effekte (wie Rückkopplungen) weitgehend unberücksichtigt.

1.3 Der Standort

K. GÜNTHER (1950) definiert den Systemzusammenhang zwischen einem Organismus und seiner Umwelt folgendermaßen: Die Dimension Umwelt entspricht den „ökologischen Lizenzen“, d.h. den Möglichkeiten, die dem Organismus an einer Lebensstätte auf Grund der dort gegebenen Faktoren eingeräumt werden. Die Dimension Organismus umfasst die ihm eigenen „spezifischen Fähigkeiten“. Stimmen beide Dimensionen überein - das Umweltpotenzial und die Fähigkeiten des Organismus - ist die Voraussetzung eines artspezifischen Lebensbereichs/Standorts gegeben.

Die Klimaänderung ist ein Faktum, das kaum noch strittig ist. Nicht eindeutig geklärt hingegen ist die räumliche Verteilung, der zeitliche Ablauf und das Ausmaß, sowie mit welchen Anteilen sich natürliche und menschliche Ursachen daran beteiligen. Auf die Waldstandorte und damit auf das Gedeihen der Waldbäume werden jedoch die dadurch verursachten Klimaveränderungen weit reichende Auswirkungen haben. Als Landbewirtschaftungsform sind Wälder viel stärker als landwirtschaftlich oder gartenbaulich genutzte Flächen dem Klima- und Standortwandel ausgesetzt. Wälder werden langfristig genutzt, können kaum bewässert werden, die Möglichkeiten der Düngung sind begrenzt und es gibt keine Möglichkeiten, den Wald vor der Witterung zu schützen. Der Wald ist den kommenden Ereignissen ziemlich ausgeliefert. Gegenmaßnahmen müssen sich deshalb vorrangig auf eine **optimale und flexible Anpassung der Waldzusammensetzung und Struktur** an die sich veränderten Bedingungen konzentrieren.

Der Begriff *forstlicher Standort* beschreibt das Umweltpotential, das für die Wuchsleistung der Waldbäume erforderlich ist (Abb. 2). Sie werden zu Wuchsgebieten zusammengefasst. Die entscheidenden Größen, die den forstlichen Standort direkt und indirekt prägen, lassen sich in erster Linie den Bereichen Klima und Boden zuordnen. Zum Klima gehören die Standortfaktoren Temperatur, Niederschlag, Strahlung und Stoffeintrag. Über den Boden wirken die Standortfaktoren Wasser- und Nährstoffversorgung auf das Baumwachstum (Abb. 1).

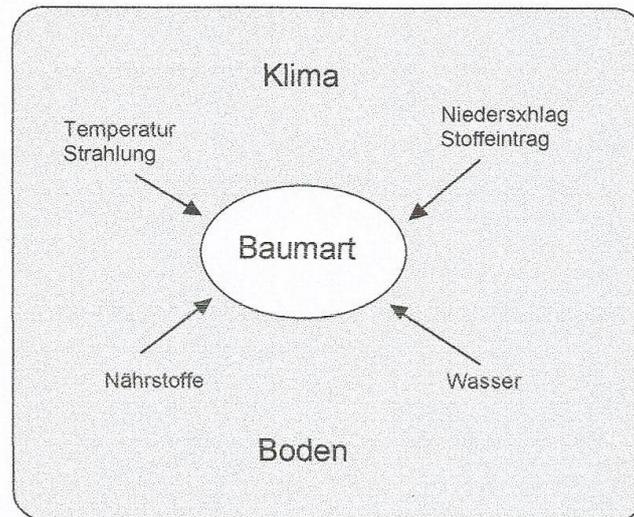
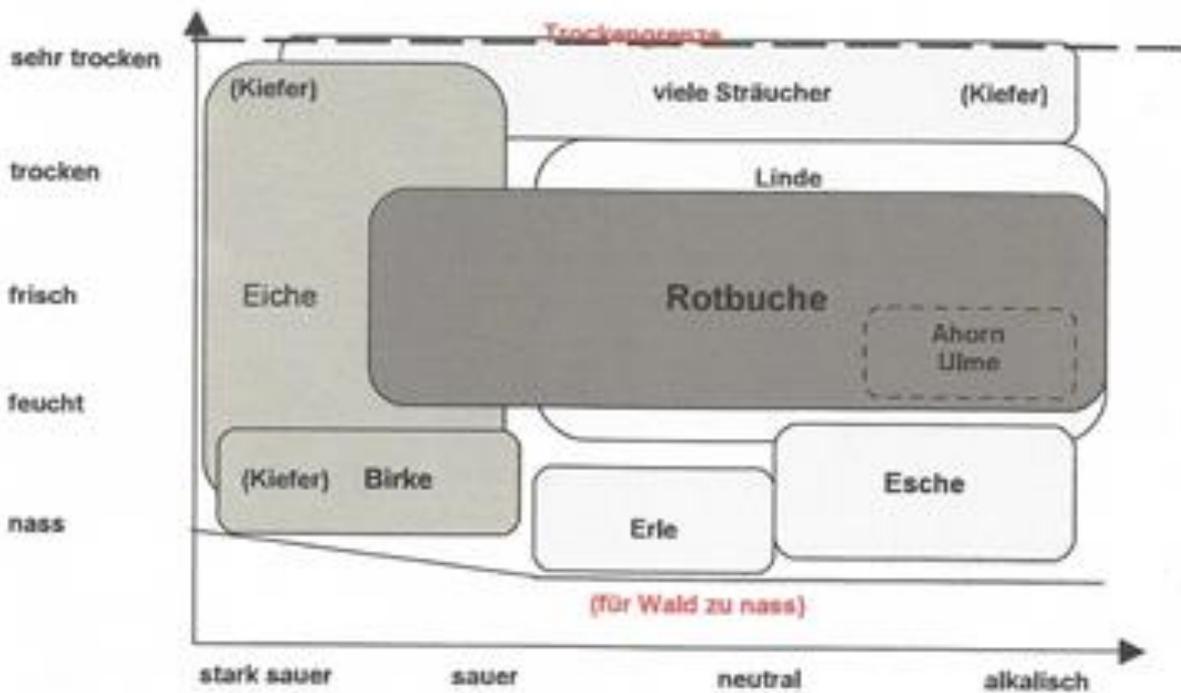


Abb. 1 Standortfaktoren

Für die Einschätzung des ökologischen Potenzials einer Baumart sind zwei Hauptkriterien von Bedeutung: **das Umweltverhalten** und **die Vergesellschaftung** der jeweiligen Baumart. Im Vordergrund des Umweltverhaltens stehen die Standortansprüche Temperatur, Wasser und Nährstoffe sowie das horizontale und vertikale Vorkommen. Bei der Vergesellschaftung ist zwischen natürlichen Waldgesellschaften und forstlichen Bestandsstrukturen zu unterscheiden (Abb. 2).



Grafik: Nach Ellenberg, 1978

Abb. 2 Ansprüche mitteleuropäischer Baumarten
(Quelle: nach H. Ellenberg 1978)

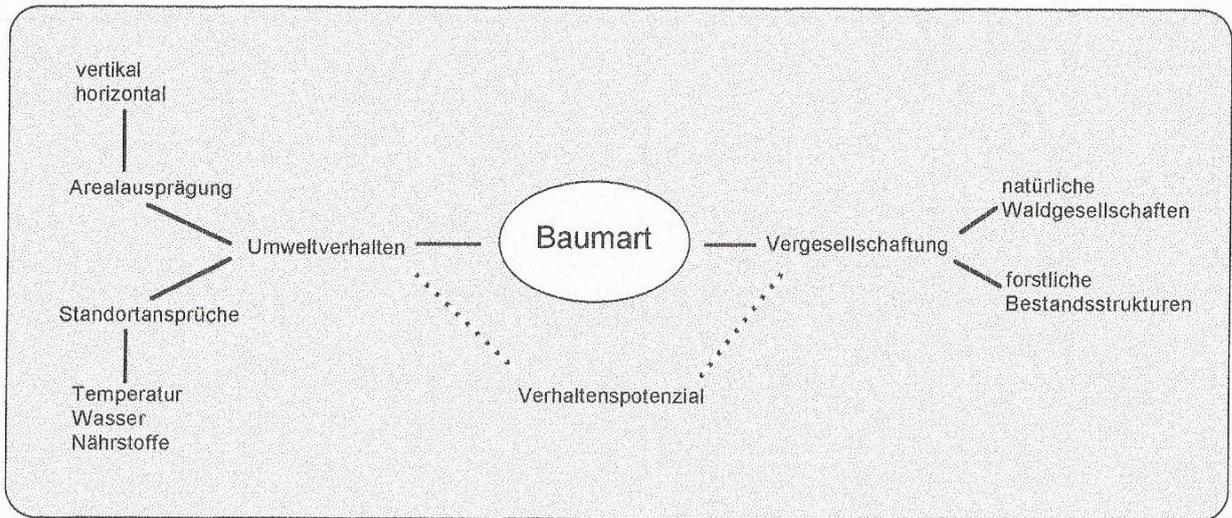


Abb. 3 Kriterien zur Einschätzung des ökologischen Potenzial einer Baumart

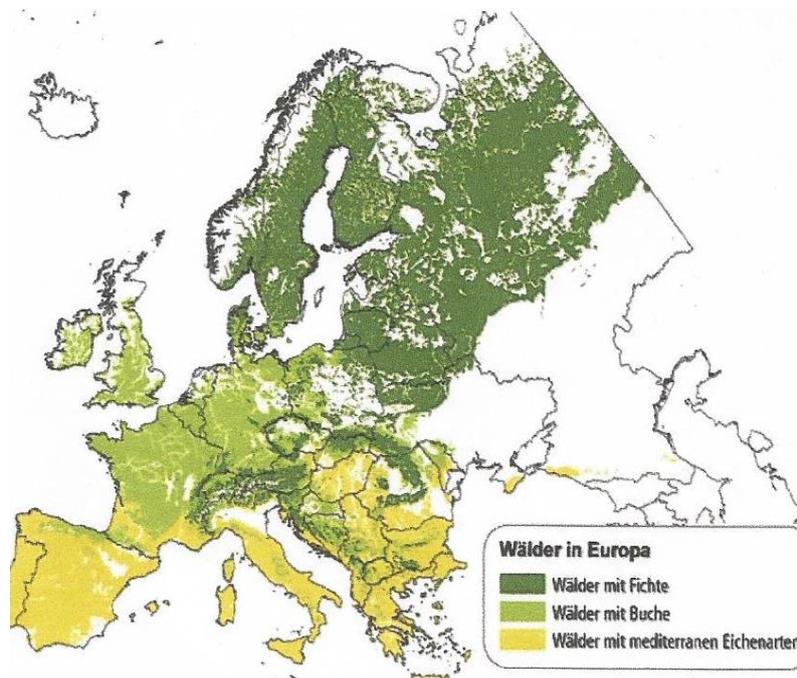


Abb. 4 Wälder in Europa

(Quelle: Chr. Kölling et al. 2008)

2 Die aktuellen Waldstrukturen

Die Fläche Europas ist heute nur noch zu ca. 27% von Wald bedeckt, wobei der größte Anteil auf die boreale Nadelwaldregion entfällt. Die Europäische Union umfasst derzeit 160 Millionen Hektar Wald, die etwa 4% der weltweiten Waldfläche entsprechen. Länder mit Anteilen an der borealen Zone weisen dabei einen überdurchschnittlich hohen Waldanteil auf. Insbesondere die verbliebenen Wälder Mitteleuropas wurden im Verlauf einer langen Nutzungsgeschichte in ihrer Struktur und Artenzusammensetzung sehr stark verändert und in weiten Teilen durch künstlich angelegte Forste ersetzt. Alte Laubwälder auf alten Waldstandorten

sind europaweit sehr selten, echte Urwälder gibt es im Bereich der Laubwalregion kaum noch. Lediglich in einer Reihe von Schutzgebieten unterschiedlicher Kategorien existieren noch Restbestände, die nur geringen Nutzungseinflüssen unterlagen und bis heute urwaldartige Strukturen bewahren bzw. regenerieren konnten (BfN 19.05.2008).

2.1 Die natürlichen Wälder Mitteleuropas

Deutschland ist eines der walddreichen, aber auch bevölkerungsreichsten Länder der Europäischen Union. Natürlicher Weise wäre Mitteleuropa fast vollständig bewaldet (**potentiell natürliche Vegetation**), wobei Klima und Bodenverhältnisse die Ausprägung bestimmen würden. Entscheidender Einfluss ergäbe sich dabei aus dem klimatischem West-Ost- und Nord-Süd-Gefälle. Außerdem wären die planaren und kollinen, submontanen, montanen sowie subalpinen Höhenstufen wirksam (F. FIRBAS 1949; F. v. HORNSTEIN 1958; H. ELLENBERG 1963; H. LANGER 1970; E. RÖHRIG 1980; H. THOMASIUS, P. A. SCHMIDT 1996; BMELV 2002).

2.1.1 Die zonalen Waldgesellschaften

a) Laub(misch)wälder

Der **Buchen- und Buchenmischwald** würde mit 67% den potentiell natürlichen Wald dominieren. Dabei würden sich die Vorkommen in der Hauptsache auf kolline und insbesondere submontane Bereiche verteilen mit unterschiedlichen standörtlichen Ausprägungen, wie z.B. solche auf nährstoffarmen und bodensauren sowie mäßig bis gut nährstoffversorgten, basenreichen Böden, sowie mit unterschiedlichen Beimischungen von Laub- und Nadelholzarten.

Buchen(misch)wälder

- Mesophile Buchen(misch)wälder
- Thermophile Orchideen-Buchenwälder
- Bodensaure artenarme Buchen(misch)wälder

Der **Eichen- und Eichenmischwald** würde 21% der Fläche einnehmen und dabei trockene sowie feuchte Standorte besetzen, die der Buche nicht mehr zusagen. Die standörtliche Spanne wäre relativ weit und würde einerseits mäßig bis gut nährstoffversorgte Grund- und Stauwasserböden der planaren und kollinen Stufe umfassen, was eine Beimischung mit Esche und Traubekirsche ermöglichen würde. Andererseits wären den sauren, nährstoffärmeren und sandigen Böden Eichenmischwälder mit Buche zuzuordnen, während auf besonders nährstoffarmen Böden der Tieflagen sowie den trockenen Lagen des Hügel- und Berglandes die Birke, nach Osten die Kiefer als Beimischung eine größere Rolle spielen würde.

Eichen(misch)wälder

- Hainbuchen-Eichenwälder
- Thermophile Eichen-Trockenwälder
- Bodensaure Eichen(misch)wälder oder Birken- und Kiefern-Eichenwälder

b) Nadelmisch)wälder

Der **Nadelwald** ist natürlicherweise an besondere Standortverhältnisse gebunden. Kontinentalität, kürzere Vegetationsperioden und basenarme Böden würden Fichte und Kiefer begünstigen und je trockener die Böden umso mehr würde sich die Kiefer durchsetzen. In den westlichen Mittelgebirgen und Alpen wäre in den Bergwäldern der Anteil der Tanne erheb-

lich, in den östlichen und kontinentalen Bereichen würde die Fichte und/oder Waldkiefer in den Vordergrund rücken. In den hoch-montanen kontinentalen Stufen der Mittelgebirge und Alpen wären Hochlagen-Fichtewälder verbreitet.

Tannen-Mischwälder

- Labkraut- oder artenreicher Silikat-Tannenmischwald
- Wintergrün- oder artenreicher Kalk-Tannenmischwald
- Hainsimsen-Fichten-Tannenwald
- Beerstrauch-Fichten-Tannenwald und Kiefern-Tannenwald

Fichtenwälder

- Alpenlattich-Fichtenwald oder Subalpiner Fichtenwald
- Peitschenmoos-Fichtenwald
- Wollreitgras-Fichtenwald oder
- Herzynischer Fichten-Bergwald

Lärchen-Arvenwald

Kiefernwälder

- Zwergstrauch- oder moosreiche Sand-Kiefernwälder
- Beerstrauch-, Heidelbeer- oder Weißmoos-Kiefernwald
- Subkontinentale Steppenwälder oder Kiefern-Trockenwälder
- Wintergrün- oder Berghaarstrang-Kiefern-Trockenwald
- Echter Schneeheide-Kiefernwald
- Pfeifengras-Kalk-Kiefernwald
- Bergreitgras-Kalk-Kiefernwald

2.1.2 Die azonalen Waldgesellschaften

Die **Auwälder, Niederungswälder sowie Bruch- und Moorwälder** bilden eine besondere, auf Sonderstandorte verteilte Gruppe von Waldgesellschaften, die etwa 10% Flächenanteil einnehmen würde.

Wälder wassergeprägter Standorte

Auen- und Niederungswälder (überwiegend) mineralischer Nassstandorte

- Erlen-Eschen-Auen-, Quell- und Niederungswälder
- Hartholz-Auenwälder
- Weichholz-Auenwälder

Bruch- und Moorwälder (überwiegend) organischer Nassstandorte

- Erlen-Bruchwälder
- Birken-, Kiefern-Fichten-Moorwälder

Schlucht-, Blockhalden- und Hangschuttwälder

Fichten- und Birken-Ebereschen-Blockwälder

Edellaubbaum-Schlucht-, Schatthang- und Hangschuttwälder
(BMELV 2002).

2.2 Die forstlichen Bestandstrukturen

Die aktuelle Waldsituation zeigt jedoch ein völlig anderes Bild. Neben einer im Laufe der Zeit zunehmenden Zerstückelung und Verkleinerung der Waldfläche kam es zu grundlegenden strukturellen Veränderungen. Seit dem 19. Jahrhundert, beginnend mit den großen Aufforstungen devastierter Flächen, gab es bis weit in das 20. Jahrhundert einen verstärkten Anbau mit Fichte und Kiefer. Die bevorzugte Anpflanzung der Nadelbäume wurde nicht zuletzt durch die Wuchsleistungen und den Holzbedarf in der Bau-, Glas- und Bergbauindustrie sowie die breite Verwertbarkeit des Holzes begünstigt. Übernutzung im Dritten Reich, Reparationsleistungen nach dem zweiten Weltkrieg, sowie Insekten-Kalamitäten, Wind- und Schneewurf führten ebenso zu entsprechenden Aufforstungen (A. BARTHELMESS 1972; H. THOMASIU, P. A. SCHMIDT 1996). Die in den letzten 150 Jahren geübte forstwirtschaftliche Praxis erklärt den hohen Anteil von Fichte und Kiefer, warum der deutsche Wald heute zu rund 62% als Nadelwald und nur zu 38% aus Laubwald besteht (BMELV Stichtag 01.10.2002). Die Einordnung als Nadel- oder Laubwald orientiert sich dabei am mengenmäßigen Bestockungsanteil der Nadel- und Laubaumarten.

Die 2. Bundeswaldinventur (BMELV Stichtag 01.10.2002) ermittelte dazu folgende Daten:

- Rund 1,1 Mio. Hektar, das sind knapp ein Drittel der Landesflächen von Deutschland, sind noch mit Wald bedeckt. Der Waldanteil schwankt allerdings regional zum Teil sehr beträchtlich und reicht z.B. von einer überdurchschnittlichen Walddichte in Rheinland-Pfalz mit 42,1% bis zu einem Waldanteil von nur 10% in Schleswig-Holstein.
- Die Waldfläche Deutschlands umfasst zu etwa 97% Holzboden, das ist die mit Baumarten bestockte Fläche, und zu 3% Nichtholzboden, z.B. Holzlagerplätze u.a. Der Holzboden verteilt sich zu 40,1% auf Laubbäume, zu 57,6% auf Nadelbäume und zu 2,3% auf Lücken und Blößen. Von den Nadelgehölzen umfasst die Fichte 28,2% Flächenanteile des Holzbodens, die Kiefer 23,3%, die Tanne 1,5% und die anderen Nadelgehölze belegen 4,5%. Bei den Laubbäumen besitzt die Buche 14,8% Flächenanteil, die Eiche 9,6% und die anderen Laubbäume belegen 15,7% (Abb. 5). Obwohl die Baumartenanteile in den einzelnen Bundesländern variieren, lassen sich großräumige Baumartenzonen in Deutschland erkennen: Die laubbaumreiche Küstenzone, die kiefernreiche Norddeutschland, die laubbaumreichen Mittelgebirge und das fichtenreiche Süddeutschland.
- Die dominante forstwirtschaftliche Betriebsart ist der Hochwald mit 99% Flächenanteil. Es handelt sich um einen Wirtschaftswald bei dem der Baumbestand (Nadel- und Laubbaumarten in Rein- oder Mischbestand) durch Naturverjüngung, Saat oder Pflanzung entsteht und die jeweilige Betriebsform (Altersklassenwald bzw. schlagweiser Hochwald, zweialtriger Hochwald bzw. zweischichtiger Bestand, mehrschichtiger Bestand oder Plenterwald) zu unterschiedlichen Strukturtypen führt (H. J. OTTO 1994) (Abb. 6).

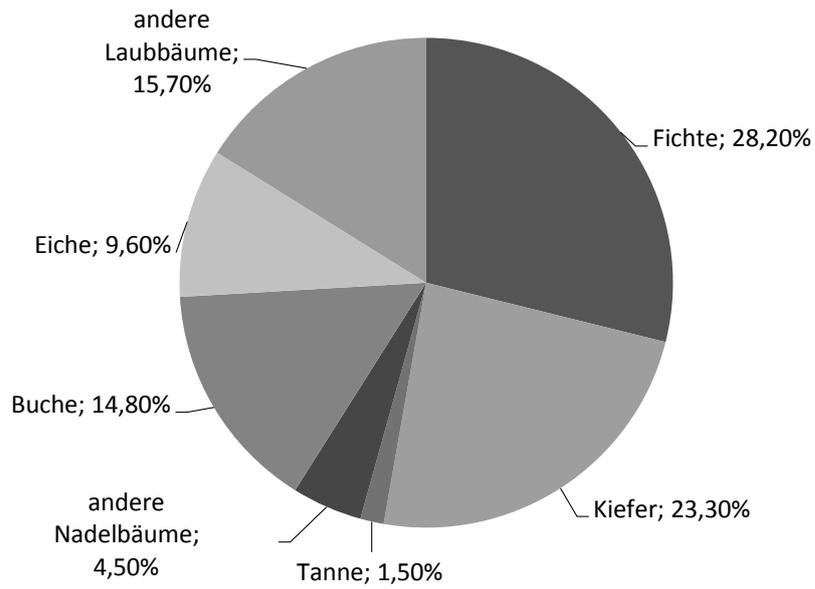


Abb. 5 Baumarten in Deutschland
 (Quelle: BMELV 2. Bundeswaldinventur Stichtag 01.10.2002)

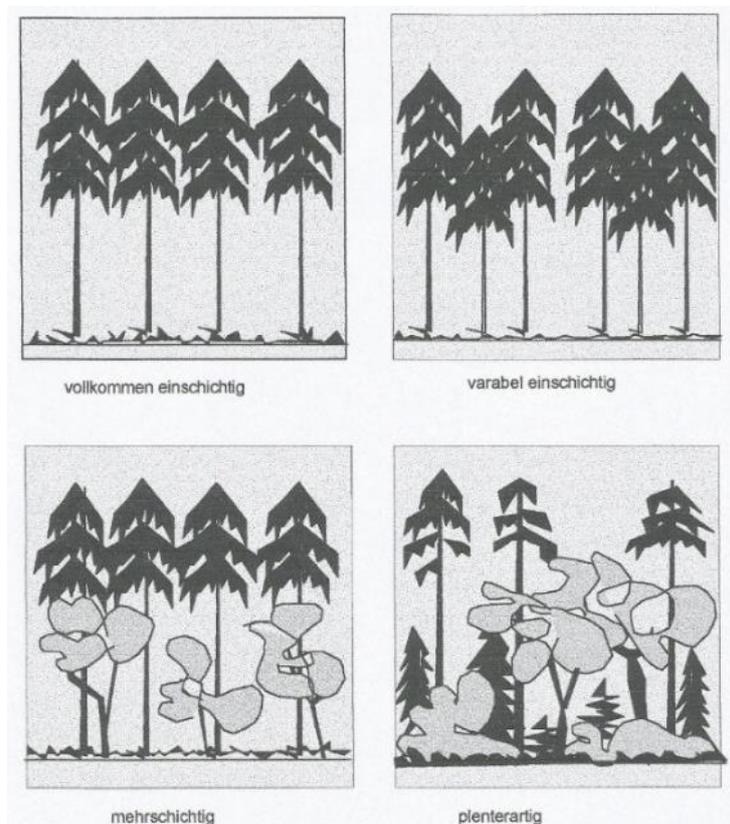


Abb. 6 Grundmuster vertikaler Waldstruktur
 (Quelle: H. J. OTTO 1994, verändert)

- Nicht ganz die Hälfte der Bestände, das sind 45,7% und vor allem bestockt mit Fichte, Kiefer, Douglasie und Birke, zeigt einen einschichtigen Aufbau. Zur gleichen Größenordnung, d.h. zu 45,1% des Waldes, zählen Bestände mit zweischichtiger Struktur, an die insbesondere Buche, Eiche, Kiefer und Tanne beteiligt sind. In den östlichen Waldgebieten kommt die Kiefer überwiegend in einschichtigen Bestockungen vor, in westlichen Waldgebieten ist sie hauptsächlich an zweischichtigen Bestockungen beteiligt. Bestände mit mehrschichtigem und plenterartigem Aufbau, mit Eiche, Buche, Fichte und Tanne, umfassen 9,2%, wobei der typische Plenterwald mit den Baumarten Fichte, Tanne und Buche in Deutschland nur 0,3% des Holzbodens einnimmt. Auf Mittel- und Niederwald entfallen 0,7% des Holzbodens. Diese Waldformen werden in kurzen Zeiträumen (ca. 15 bis 30 Jahre) genutzt und verzüngen sich hauptsächlich durch Stockausschlag und Wurzelbrut. Den Mittel- und Niederwald prägen Laubbäume, z.B. Lichtbaumarten wie Eiche, Hainbuche, Linde sowie andere Laubbäume geringerer Lebensdauer wie Birke und Erle.

3 Das Anpassungspotenzial

In der vergangenen Erdgeschichte gab es immer wieder einen Wechsel zwischen Warm- und Kaltzeiten, doch vollzog sich dieser nicht mit der jetzt voraussichtlichen Geschwindigkeit (S. RAHMSTORF, H.J. SCHALLNHUBER 2006). Die Wälder stehen vor einem enormen Anpassungsdruck (A. BOLTE, F.L. IBISCH 2007). Klimatisch bedingte Veränderungen unserer Waldökosysteme aber sind nur eingeschränkt vorhersagbar, denn die großräumigen Klimafaktoren werden durch regionale und lokale Differenzierungen modifiziert (CH. AMMER, CH. KÖLLING 2007). Doch bereits heute lassen sich Veränderungen in der Artenzusammensetzung beobachten. Veränderungen im Konkurrenzgeschehen der Baumarten in den verschiedenen Entwicklungsstufen (Blüte, Regeneration, Wachstum) werden in Zukunft wahrscheinlich unterschiedlich verlaufen (A. MENZEL 2006). Die Arealgrenzen der Baumarten werden sich in Zukunft horizontal und auch vertikal verschieben (B. FELBERMEIER 1994; N.E. ZIMMERMAN et al. 2006).

Die zentralen Fragen in Bezug auf den Wald gelten demnach

- der zukünftige Baumartenzusammensetzung (Baumartenwahl)
- der Art und Weise der Bewirtschaftung (Bestandsbehandlung), von der man sich gleichfalls die gewünschte Anpassung erwartet.

Welche Eigenschaften müssen Baumarten heute und zukünftig besitzen, welche Kriterien für die Wahl der Baumarten werden herangezogen, welche Baumarten werden in Zukunft noch als standortsgerecht eingeschätzt und welche waldbaulichen Maßnahmen und Vorgehensweisen dienen der Anpassung an einen künftigen Klimawandel? (Abb. 7, 8).

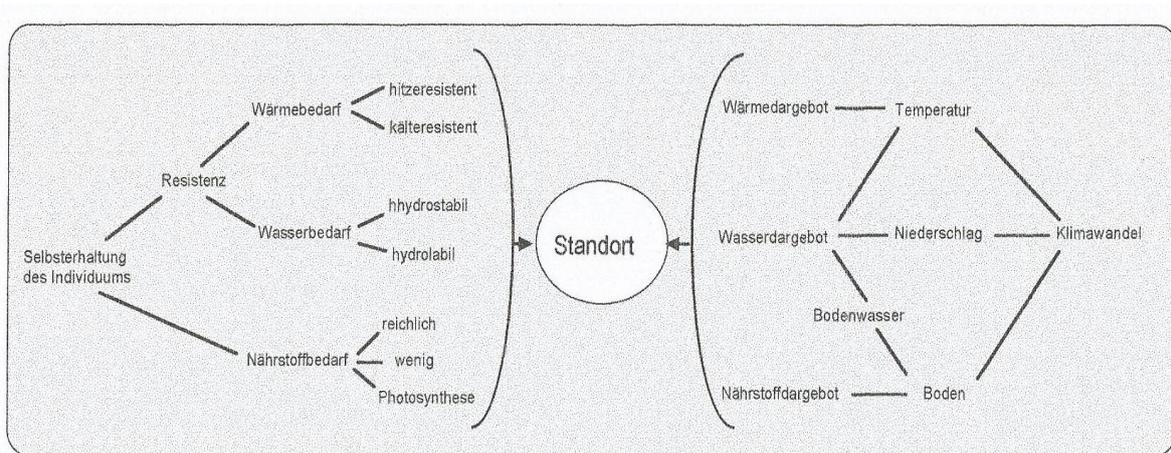


Abb. 7 Standort als artspezifischer Lebensbereich

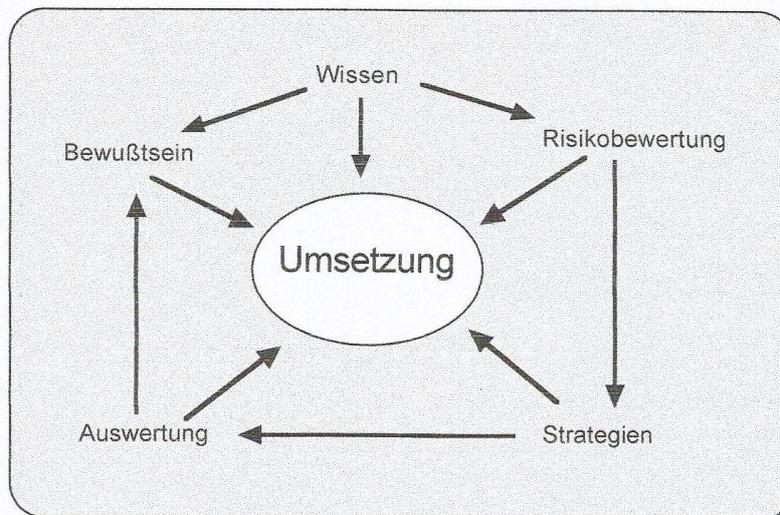


Abb. 8 Methodische Aspekte des Anpassungsprozesses

3.1 Die Baumartenwahl

Welche Baumarten sind in Zukunft für die deutschen Wälder geeignet? Welche Bäume reagieren besonders tolerant oder intolerant auf Extremsituationen wie z.B. Trockenperioden, Spätfröste oder tiefe Wintertemperaturen? Diese individuelle Toleranz ist aber nicht nur artabhängig, sondern auch die Herkünfte einer Art unterliegen unterschiedlichen lokalen Anpassungen (T. CZAJKOWSKI, A. BOLTE 2006). Der zukünftige Waldbau muss daher Baumarten mit bestmöglicher Anpassungsfähigkeit auswählen, so beispielsweise an die zunehmende Hitze in der Vegetationsperiode und das Verschieben der Niederschlagsmengen in das Winterhalbjahr (CH. AMMER, CH. KÖLLING 2007; A. ROLOFF 2008). Die Wälder von morgen müssen sich auf Veränderungen des Wasserhaushalts einstellen. Nach den vorliegenden Szenarien können zunehmende Trockenheit und Wärme die Bäume in arge Stresssituationen bringen. Geringere Niederschläge, eine andere Verteilung der Niederschläge über die Jahreszeiten oder ein durch mehr Wärme erhöhter Wasserverbrauch können zu Wassermangel führen. Es müssen aber auch Einflüsse in Betracht gezogen werden, die das oft labile Gleichgewicht zwischen Schädlingen und Waldbäumen betreffen. Nicht zuletzt sind auch zuneh-

mende Unwetter und andere Witterungsextreme zu nennen, die innerhalb kurzer Zeit über die Existenz eines Waldes entscheiden können.

Die ökonomisch wichtigsten Baumarten Rotbuche (*Fagus sylvatica* L.), Stiel- und Traubeneiche (*Quercus robur* L./*Quercus petraea* [Matt.] Liebl.), Gemeine Fichte (*Picea abies* [L.] Karst.) und Wald-Kiefer (*Pinus sylvestris* L.) werden wie folgt eingeschätzt:

Die **Rotbuche** (*Fagus sylvatica* L.)

Die Rotbuche war bisher eine der wichtigsten Laubbaumarten Mitteleuropas und sie wird ihre Stellung voraussichtlich auch in naher Zukunft behaupten können (C. AMMER et al. 2005, R. FISCHER et al. 2006). Das Areal der Buchenbestände liegt heute schon außerhalb ihres physiologischen Optimums und ein weiteres Vordringen auf trockenwarme Kalkstandorte wird beobachtet, ebenso das Verschieben der Arealgrenze (J. PEÑUELAS, M. BOADA 2003; T. CZAJKOWSKI, A. BOLTE 2006). Nicht zu lang anhaltende trockene Phasen kann die Buche gut tolerieren (A. BOLTE 2005; T. CZAJKOWSKI, A. BOLTE 2006; T. CZAJKOWSKI, M. KÜHLING, A. BOLTE 2005). Ihre hohe Konkurrenzkraft gegenüber Kiefer und Eiche verliert sie nur bei langen und häufigen Trockenperioden. Doch diese Konkurrenzfähigkeit soll in zunehmend kontinentalerem Klima und bei weiterhin bestehender Spätfrostgefährdung gegenüber Eiche, Linde und Hainbuche abnehmen (M. LINDNER 1999). Das Anpassungspotential der Buche an Trockenstress kann sich ebenso in reversiblen Veränderungen von Gestaltmerkmalen als Verengung des Spross-Wurzel-Verhältnisses oder auch in Wachstumsreduktionen äußern (A. BOLTE 2005). Das Anpassungspotenzial liegt nicht zuletzt in der sehr hohen genetischen Variabilität der Buche begründet. Auf extremen Trockenstandorten wird jedoch der Anteil der Buchenwaldgesellschaften gegenüber den Eichen-Trockenwäldern zurückgehen (ARBEITSKREIS WALDBAU UND NATURSCHUTZ NRW 2007).

Die **Stieleiche** (*Quercus robur* L.) und **Traubeneiche** (*Quercus petraea* [Matt.] Liebl.)

Die Eiche (Stiel- und Traubeneiche) gilt als die Baumart, die aufgrund des zukünftig erhöhten Anteils an Trockenstandorten profitieren wird (C. MÖHRING 2007). Sie ist als tief wurzelnde Art prädestiniert für die Trockenstandorte im Nordostdeutschen Tiefland, wo sie gemeinsam mit der heute dort vorherrschenden Kiefer stabile Mischwälder bilden könnte. Aber auch auf allen anderen Standorten, die zukünftig für die Buche zu trocken werden, wäre die Eiche eine sehr gut geeignete Baumart. N.E. ZIMMERMANN et al. (2006) beispielsweise modellierten für verschiedene Klimaszenarien das Vorkommen und die Ausbreitung verschiedener Gehölze in der Schweiz. Generell soll es zu einer Verschiebung vieler Areale in höhere Lagen kommen, und aufgrund der abnehmenden Sommerniederschläge werden nicht trockenheitstolerante Laubbaumarten benachteiligt werden. Im Schweizer Mittelland ist z.B. eine Ausdehnung der wärmetoleranten Eichen- und Eichen-Buchenwälder zu erwarten. Das Hauptverbreitungsgebiet der Traubeneiche wird in der Schweiz eine massive Verschiebung in Richtung Voralpen erfahren. In vielen Gebieten in der mittleren Schweiz wird es nach dem Szenario von IPCC 2007 vermutlich sogar für die Traubeneiche zu trocken werden.

Die **Gemeine Fichte** (*Picea abies* [L.] Karst.)

Die Fichte besitzt für Deutschland und Mitteleuropa wohl das schlechteste Anpassungspotential. Viele Standorte wird eine unserer ökonomisch bisher wichtigsten Baumarten nicht

mehr ohne Probleme besiedeln können, was jedoch vor allem im bisherigen Anbau auf ungeeigneten Standorten begründet ist (G.R. WALTHER 2003). Die hohe Kalamitätsanfälligkeit der Fichte stellt ein weiteres Problem dar (M. LEXER et al. 2006). Obwohl die Fichte vom zunehmenden CO₂-Gehalt offensichtlich profitiert (M.M. HIRSCHBERG et al. 2003), führen warme und trockene Perioden zu einem Rückgang im Gesamtwuchs. Auf heiß-trockene Sommer reagiert die Fichte besonders empfindlich (M. DOBBERTIN, A. GIUGGIOLA 2006). Im Rekordsommer 2003 zeigte die Fichte auf den langfristigen Beobachtungflächen in Zentraleuropa im Vergleich zu Buche und Tanne die stärksten Rückgänge im Zuwachs (R. FISCHER et al. 2006). Wie die Weißtanne oder auch der Bergahorn ist die Fichte schließlich ein charakteristischer Bestandteil der Bergmischwälder (C. KÖLLING, L. ZIMMERMANN, H. WALENTOWSKI 2007; M. NEUMANN 2006). Nach H. DÖBBELER, H. SPELLMANN (2002) sowie PROT et al. (2006) soll aber die Fichte z.B. auch in Zukunft im Tertiären Hügelland, im Sauerland, im Niedersächsische Harz und im Thüringer Wald die Hauptbaumart bleiben.

Die **Waldkiefer** (*Pinus sylvestris* L.)

In einem großen Teil Deutschlands, insbesondere im Nordostdeutschen Tiefland, ist die Waldkiefer die dominierende Waldbaumart. Nach H. DÖBBELER, H. SPELLMANN (2002) wird sie im Ostniedersächsischen Tiefland, im Nordbrandenburger Jungmoränenland und im Mittelbrandenburger Talsand- und Moränenland auch zukünftig die Hauptbaumart bleiben. Ihre zukünftige Stellung wird allerdings heftig diskutiert. G. HOFMANN, M. JENSSEN (2007) machen daraus aufmerksam, dass mit zunehmender Bodennährkraft (Stickstoffeinträge), Bodenfrische und Ozeanität des Klimas der Anbauwert der Kiefer in hochwüchsigen selbstorganisierten Waldbeständen infolge der wachsenden Konkurrenzkraft hochwüchsiger und ausdunkelnder Laubbaumarten sinkt. Das Hauptverbreitungsgebiet der Kiefer liegt im borealen Nadelwaldgürtel, was auf ein hohes Anpassungspotential an Fröste, Trockenheit und Waldbrand hinweist (H. WALENTOWSKI, C. KÖLLING, J. EWALD 2007). Im westlichen und zentralen Europa wird die Kiefer unter dem Einfluss der Erwärmung und der Eutrophierung weiter zurückgehen. Insbesondere im südlichen Teil Mitteleuropas werden ihre Konkurrenzkraft gegenüber Laubbäumen ab- und die Anfälligkeit gegenüber Krankheitserregern zunehmen. A. RIGLING et al. (2006) beobachten im Wallis in der Schweiz ein Zurückdrängen der Kiefer durch die Flaumeiche. Der erhöhte Druck durch Trockenheit, Bestandskonkurrenz, Misteln, Insekten, Phytopathogene und Nematoden lässt die Kiefer auf diesem Extremstandort sogar absterben (N. HILKER, A. RIGLING, M. DOBBERTIN 2005). Dennoch wird der Waldkiefer ein besonders hohes Anpassungspotential bestätigt und ihre zukünftige Stellung in Mischwäldern weiterhin als sehr stark bewertet.

Ein wesentlicher Punkt bei Einschätzung der Areale der Baumarten ist die Datenrundlage, ob die ökologischen Ansprüche (an den Standort) einer Art zu Grunde liegen oder die ökologische Amplitude der Art auch das Vorkommen unter Konkurrenzdruck anderer Arten einbezieht. Zur Einschätzung des tatsächlichen Potenzials einer Baumart sind beide Aspekte zu berücksichtigen.

3.2 Der künftige Wald

Der Wald, der heute noch nach den bisherigen forstlichen Regeln begründet und genutzt wird, ist in wenigen Jahrzehnten vielleicht den dann herrschenden neuen Verhältnissen nicht mehr gewachsen. Es gilt, die Wälder schon heute an die möglicherweise geänderten Bedingungen von morgen heran zu führen und anzupassen (C.KÖLLING 2006). Künftig werden Baumarten für einige Standorte nicht mehr geeignet sein, auf andere Standorte ausweichen müssen, oder andere Arten werden hinzukommen (G.R. WALTHER 2003; T. WOHLGEMUTH 2006). Zudem werden neben der Holznutzung andere Nutzungsaspekte an Bedeutung gewinnen, z.B. ökologische und ästhetische Funktionen.

In den letzten Jahrzehnten unterlagen die mitteleuropäischen Wälder wie viele andere Ökosysteme einer verstärkten Überformung und einem Wandel, der sich zunächst latent vollzog und erst in den 1990er Jahren wahrgenommen wurde. *„Niemals waren ... die Voraussetzungen für eine vollständige und „endgültige“ Darstellung der Vegetation Mitteleuropas besser als heute. Doch gerade in den letzten Jahren ... wurde offenbar ..., dass es ein abschließendes Werk, einen „HEGI der Pflanzengesellschaften“ ..., wohl niemals geben wird. Denn alles anscheinend Feststehende geriet in Fluss, weil sich viele ökologische und wirtschaftliche Voraussetzungen erneut und rascher als je zuvor wandelten. Überhaupt durften und dürfen wir eigentlich niemals mit einer länger dauernden Stabilität und Kontinuität der Vegetationseinheiten rechnen.... Denn Pflanzengesellschaften sind ja keine „Organismen“ ..., sondern wandelbare Kombinationen von wirklichen Organismen Wenn es je eines Beweises für diese ... Tatsache bedurft hätte, so begegnen wir ihr heute fast auf Schritt und Tritt, sogar in unseren Wäldern und anderen naturnäheren Formationen, deren Artengefüge sich ebenfalls zu ändern begannen“* (H. ELLENBERG 1996). Als Ursachen wurden atmosphärische Immissionen erkannt und in den 1980er Jahren als Waldsterben, als singuläres Phänomen oder Katastrophe wahrgenommen (B. ULRICH 1981, 1987 a, b; E.D. SCHULZE et al. 1989). Auch das Aussterben einheimischer und die Einwanderung neuer, oftmals fremdländischer Arten verändern die Biozönosen der mitteleuropäischen Wälder (QCB. CRONK, J.L. FULLER 1995; I. KOWARIK 2003). Eine weitere Dimension der Veränderung brachten die verheerenden Sturmwürfe und Borkenkäferkalamitäten der 1990er Jahre mit sich (A. FISCHER 1999).

Die klimatischen Veränderungen in den letzten Jahren und insbesondere die Zukunftsprojektionen werden mit Sorge gesehen. Denn Veränderungen der Umwelt sind für Bäume wegen ihrer langen Lebenszyklen potentiell besonders risikoreich. Neu begründete Bestände müssen das heutige und auch das künftige Klima aushalten können, um ökologisch und wirtschaftlich negative Folgen zu vermeiden. **Die Wahl der Baumart am jeweiligen Standort ist eine grundsätzliche Entscheidung für die Zukunft eines Bestandes. Die weiterführende waldbauliche Behandlung und Ausformung soll dann sicherstellen, dass die Wälder vital und stabil wachsen und wirtschaftliche Ziele erreicht werden.**

3.2.1 Das Leitbild

Die wichtigsten Kriterien für das **waldbauliche Leitbild** zur Waldstruktur und Waldzusammensetzung, die als Grundlage der Anpassungsstrategien angesehen werden könnten, konzentrieren sich auf die Stärkung von

- **Vitalität** - Erziehung wuchskräftiger Einzelbäume und Bestände mit hoher Stresstoleranz, welche das Standortpotenzial langfristig ausschöpfen können;
- **Stabilität** - Horizontale und vertikale Differenzierung;
- **Vielfalt, Naturnähe** - Breite Baumartenpalette mit hoher genetischer Diversität; standortgerechte Baumarten und Naturverjüngung.

Das daraus resultierende Leitbild ist nicht neu und gilt bereits heute als Paradigma der Forstwirtschaft in Deutschland:

- Der stabile (ungleichartige und ungleichaltrige) Mischwald, bestehend aus vitalen Einzelbäumen;
- Die Bewirtschaftung dieser Wälder nach den Grundsätzen einer naturnahen Waldwirtschaft. Wälder, die diesen Zustand erst noch erreichen müssen, sind durch Waldumbau- und Überführungsmaßnahmen auf dieses Ziel hin zu entwickeln.

3.2.2 Die Strategien

In den Vorstellungen über die waldbauliche Behandlung, um den Wald gegen Klimastörungen widerstandsfähiger und flexibler zu machen, werden unterschiedliche Strategiekonzepte verfolgt und teils konträr diskutiert (A. REIF et al. 2009).

Die Wahl der Baumart im Wirtschaftswald ist eine wichtige Entscheidung. Bei der Entscheidungsfindung können je nach Zielsetzung verschiedene Kriterien angelegt werden. In den letzten Jahrzehnten erreichte dabei die Diskussion eine neue Qualität. Eine neue Größe trat zu den Überlegungen hinzu, nämlich, dass auch die Standortbedingungen im Laufe eines Bestandslebens nicht mehr als konstant angesehen werden können (H. ELLENBERG 1996; H.G. MICHIELS 2008).

Die Wahl der „richtigen“ Baumart oder Provenienz für den jeweiligen Standort spielt als langfristige Maßnahme eine wichtige Rolle. Zusätzlich müssen aber auch kurz- und mittelfristige Maßnahmen unternommen werden, um die Stabilität und Anpassungsfähigkeit existierender Wälder mit der momentanen Artenzusammensetzung gegenüber klimabedingten Stressoren und Störungen zu erhöhen. Regulierend eingegriffen werden kann in allen Phasen des Bestandslebens, wobei der waldbauliche Gestaltungsspielraum i.d.R. mit zunehmendem Alter abnimmt.

Die Integration natürlicher Störungsereignisse in die waldbauliche Steuerung und Planung ist ein entscheidender Ansatz im Waldökosystemmanagement und wird als ein Schlüssel gesehen, um Wälder als klima-elastische Ökosysteme zu bewirtschaften. Als Instrumentarien dieser Waldbewirtschaftung zur Anpassung an den Klimawandel stehen grundsätzlich folgende Strategien zur Verfügung (Abb. 9):

- **Beibehaltung** der bisherigen Waldbewirtschaftung;
- **Wald-Umbau** - Wechsel in der Baumartenzusammensetzung und Bestockung;
- **Wald-Überführung** - Wechsel in der Betriebsform.

(B. LEDER 2010)

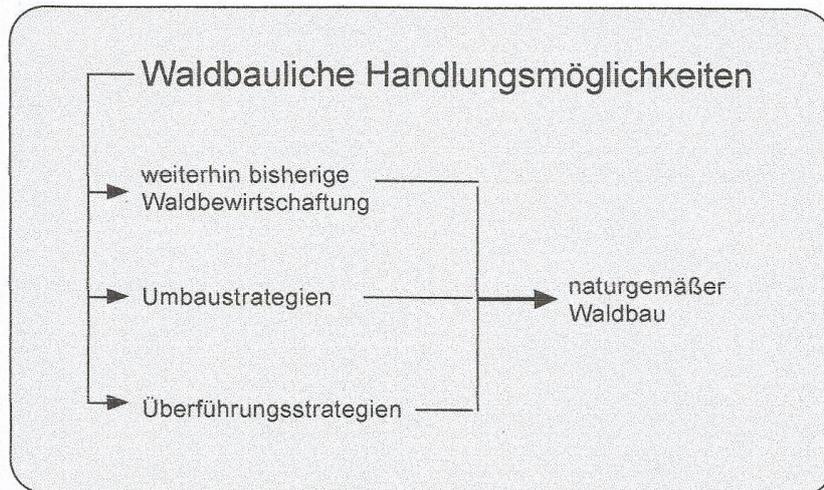


Abb. 9 Waldbauliche Handlungsoptionen im Klimawandel

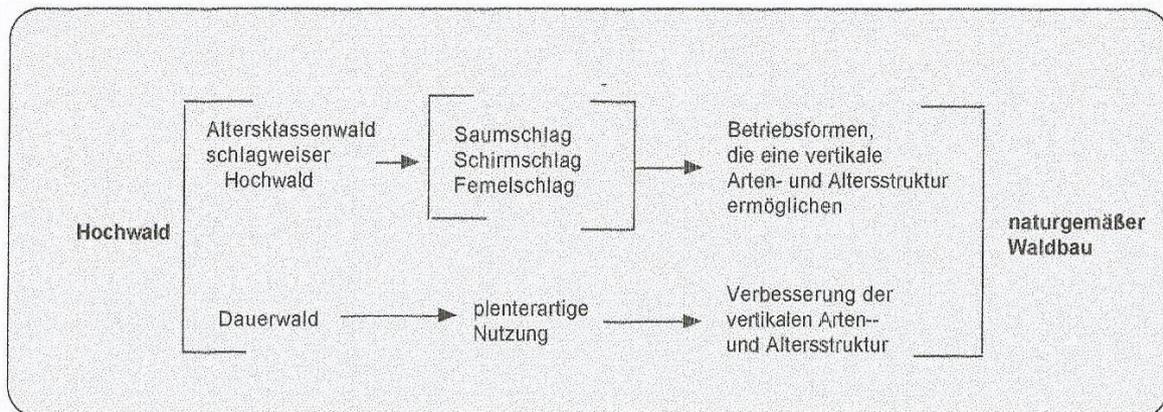


Abb. 10 Wandel der Waldbausysteme

3.2.3 Der naturnahe Waldbau - Modell mit Zukunft

Eine der wesentlichsten Maßnahmen zur Erhaltung und Förderung der Biodiversität, und damit stabiler und klimaelastischer Waldökosysteme, ist der naturgemäße Waldbau. Dieser nutzt natürlich ablaufende Prozesse, um stabile, ökologisch intakte Waldökosysteme aufzubauen. „Eine zukunftsorientierte Waldbewirtschaftung und Wiederbewaldung im Klimawandel zeichnet sich durch die Beurteilung verschiedener Handlungsoptionen aus, wobei gleichzeitig die Eignung bisheriger Verjüngungs-, Pflege- und Nutzungskonzepte überprüft wird“ (B. LEDER 2010). Damit soll eine Risikobegrenzung und -verteilung unter Beachtung der Nutz-, Schutz- und Erholungsfunktionen der Wälder sichergestellt werden (Abb. 10).

Die Ziele und Grundsätze des naturgemäßen Waldbaus sind

- **Waldumbau**
 - Stärkung/Förderung der Artendiversität durch Mischbestände;
 - Bestockung durch standortgerechte Baumarten bzw. Provenienzen;
 - Stärkung/Förderung der dynamischen Altersstruktur;
 - Stärkung/Förderung der natürlichen Prozesse bzw. Walddynamik.

- **Waldüberführung**

- Verzicht auf Kahlschläge;
- Natürliche Verjüngungsverfahren als vorrangige Mittel;
- Dauerwald als Bestockungsziel.

Die natürlichen Vegetationsverhältnisse im **Bergmischwald dienen als Strukturmodell** zur Verdeutlichung. Im aktuellen Erscheinungsbild lässt sich ein Nebeneinander verschieden großer Teilbereiche erkennen, die sich nach Zusammensetzung und Alter der Baumarten unterscheiden (Abb. 11). Doch dieses Mosaik ist nur ein Ausschnitt/Moment aus einem räumlich und zeitlich ablaufenden Prozess, bei dem sich in den Teilflächen diese verschiedenen, nach Alter und Baumartenzusammensetzung strukturierten Bestandsphasen abwechselnd entwickeln. Diese Dynamik orientiert sich dabei am Wachstum und Absterben der Baumarten, wobei jeweils das ganze Spektrum von der Verjüngungs-, Jugend-, Optimal- und Altersphase durchlaufen wird. In den Teilflächen herrschen verschiedene Verhältnisse zwischen Aufbau und Abbau als Ausdruck der jeweiligen Zustandsphase. Im Gesamtbestand hingegen halten sich Aufbau und Abbau die Waage, es besteht ein Gleichgewicht solange sich die erforderlichen Umweltbedingungen nicht ändern.

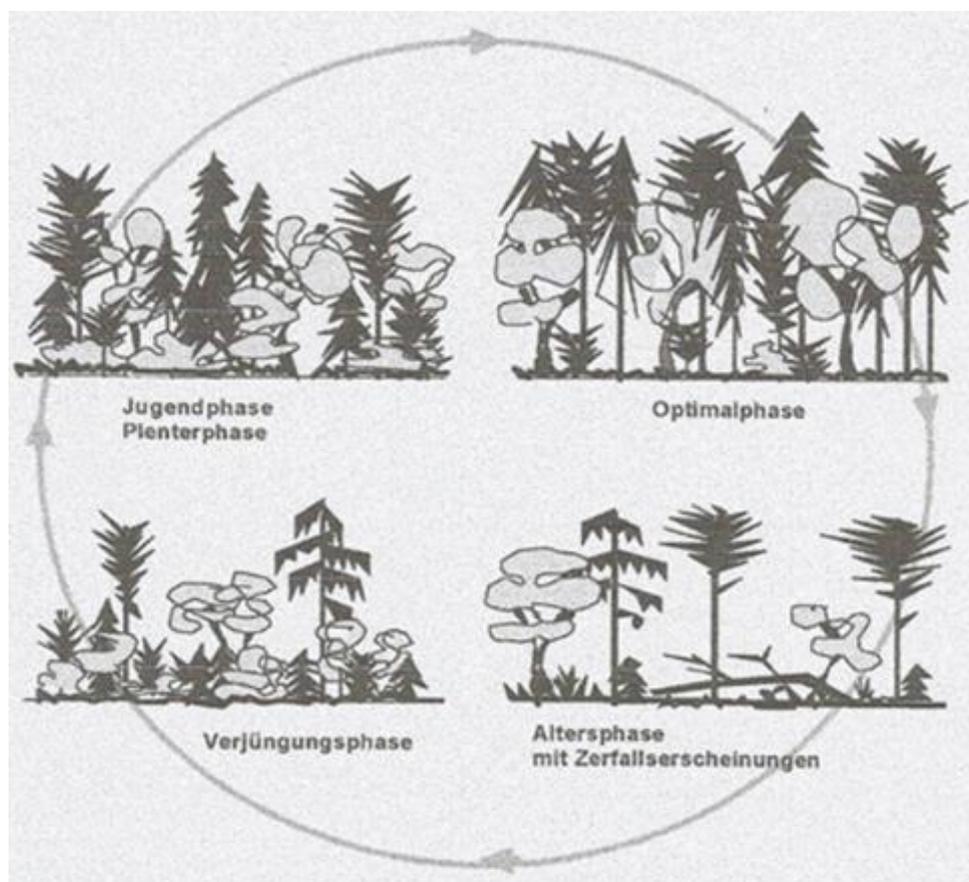


Abb. 11 Bestandsphasen im natürlichen Bergmischwald

In einem natürlichen Waldökosystem der gemäßigten Breiten ist die stationäre Biomasse der Phototrophen (Baumbestand) maximal, die Netto-Primärproduktion hingegen minimal. Produziert wird nur so viel, wie wieder veratmet wird (W. LARCHER 1984). Je näher deshalb das

aktuelle Waldökosystem dem zonalen Schlussökosystem ist, umso geringer wird der Nettoertrag. „Es kann der wirtschaftende Mensch also kaum hohe Erträge aus klimaxnahen Ökosystemen herausholen. Er ist auf unreife Ökosysteme angewiesen, die eine hohe Produktion aufweisen und somit hohe Erträge abwerfen“ (F. A. KLÖTZLI 1989). Die plenterartige Nutzung eines solchen Waldökosystems versetzt es hingegen immer wieder in Zustände zurück, deren Netto-Primärproduktion größer ist als die Gesamtatmung.

Voraussetzung für eine möglichst hohe Klimarelevanz ist es daher, dass die gewählten Baumartenkombinationen einerseits auf künftige Klimaänderungen flexibel reagieren können und andererseits die Umstellung und Umsetzung in eine multifunktionale Forstwirtschaft erfolgt (F. BOSINGER, ST. TRETTER 2007). Entscheidungen über waldbauliche Umstellungsprozesse im Klimawandel unter Einbeziehung aller Entscheidungsmöglichkeiten dürfen aber nicht vorschnell, sondern können nur sukzessiv, d. h. nach wiederholten Situationsanalysen getroffen werden.



Abb. 12 Tannen-Fichten-Buchen-Plenterwald
(Quelle: M. Payer 1998)

Viele Ansätze zum pragmatischen Umgang mit den als unausweichlich sich abzeichnenden Klimafolgen werden jedoch mit Misstrauen betrachtet oder gar abgelehnt. Die Wahrnehmung des sich ändernden Klimas hat inzwischen der Debatte über mildernde Maßnahmen der negativen Folgen im Wald eine neue Dimension verliehen. Denn bei manchen der vorgeschlagenen Maßnahmen kann nicht mit Sicherheit davon ausgegangen werden, dass die negativen Folgen des Klimawandels kompensiert werden können, oder ob diese zu zusätzlichen Störungen der Ökosysteme führen. Zudem gibt es noch sehr viele Unsicherheiten bezüglich

der Regionalisierung und Unwägbarkeiten der Einflüsse der verschiedenen Faktoren, wodurch von manchen Autoren modellierte Klimaänderungsszenarien in Frage gestellt werden.

Angesichts dieser Situation erscheint es besonders wichtig, **bereits im Vorfeld die verschiedenen Anpassungsstrategien, die geplanten und bereits praktizierten Empfehlungen, Vorgehensweisen und Umsetzungen zur Baumartenwahl und zum Waldumbau vergleichend zu analysieren, die Konfliktpunkte und Synergiepotentiale herauszuarbeiten, Wissensdefizite zu identifizieren und Ansätze für ein Lösungen aufzuzeigen. Eine vergleichende Analyse der unterschiedlichen Grundannahmen und Einstellungen sowie der einzelnen Handlungspläne ist dringend notwendig, um auf einer möglichst breiten rationalen und flexiblen Basis geeignete Strategien zur Baumartenwahl (Umbau) und Bestandsbehandlung (Überführung) entwickeln zu können.**

Literatur und Internet

Ammer Ch. et al. (2005) - Zur Zukunft der Buche (*Fagus sylvatica* L.) in Mitteleuropa. Allg.Forst-u.J.-Ztg. 176/4 (2005), S. 60-6

Ammer Ch., Kölling Ch. (2007) - Waldbau im Klimawandel - Strategien für den Umgang mit dem Unvermeidlichen. Unser Wald 4 (2007), S. 12-14

Arbeitskreis Waldbau und Naturschutz NRW (2007) - Zur Zukunft der Buchenwälder in Nordrhein-Westfalen. Natur in NRW 3 (2007), S. 37-40

Barthelmeß A. (1972) - Wald - Umwelt des Menschen. Dokumente zu einer Problemgeschichte von Naturschutz, Landschaftspflege und Humanökologie. Orbis Academicus, Sonderband 2/1, Verlag Karl Alber, Freiburg/München 1972

Beniston M. (2004) - The 2003 heat wave in Europe: A shape of things to come? An analysis based on Swiss climatological data and model simulations. Geophysical Research Letters 31: L02202, doi: 10.1029/2003GL018857

BfN (19.05.2008) - Hintergrundinfo
<https://www.bfn.de/fileadmin/MDB/documents/presse/19.5.Wald-Biodiversitaet.pdf>

BMELV - Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (2002)
2.Bundeswaldinventur Europa - Deutschland, Stichtag 01.10.2002,
BWI 2 - Das Wichtigste in Kürze
<http://www.bundeswaldinventur.de/enid/5d1b19023087afc771e61947a50890d,51519f6d6f6465092d09/2.html>

BMELV /Bundeswaldinventur 2 - Natürliche Waldgesellschaften.
[www.bundeswaldinventur.de...natürliche Waldgesellschaften-ac.html](http://www.bundeswaldinventur.de...natuerliche-Waldgesellschaften-ac.html)

Bolte A. (2005) - Zur Zukunft der Buche in Mitteleuropa - Die klimatische Anpassungsfähigkeit der Mutter des Waldes.
Allg. Forstzeitschrift-Der Wald 60 (2005), S. 1077-1078

Bolte A. , Ibisch P. L. (2007) - Neun Thesen zu Klimawandel, Waldbau und Waldnaturschutz.
Allg. Forstzeitschrift-Der Wald 62 (2007), S. 572-576

Bosinger F., St.Tretter (2007) - Waldbau im Zeichen des Klimawandels.
Anpassung durch Waldumbau und naturnahe Forstwirtschaft.
LWF aktuell 60/2007

Christensen J. H. (2005) - PRUDENCE - Prediction of Regional scenarios and Uncertainties for Defining European Climate change risks and Effects. Final report.
<http://prudence.dmi.dk>.

Cronk QCB, Fuller JL (1995) - Plant Invaders. People and Plants Conservation Manual.
London, Chapman & Hall. 241 S.

Czajkowski T., Bolte A. (2006) - Unterschiedliche Reaktion deutscher und polnischer Herkünfte der Buche (*Fagus sylvatica* L.) auf Trockenheit.
Allg.Forst-u.J.-Ztg. 177/2 (2006), S. 30-40

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-u.J.-Ztg. 176/8 (2005), S. 133-143

Dobbertin M., Giuggiola A. (2006) - Baumwachstum und erhöhte Temperaturen.
Forum für Wissen, Wald und Klimawandel (2006), S. 35-45

Döbbeler H., Spellmann H. (2002) - Methodological approach to simulate and evaluate silvicultural treatments under climate change.
Forstw. Cbl. 121/ Suppl. 1 (2002), S. 52-69

DWD - Deutscher Wetterdienst (2004) - Pressebericht des Deutschen Wetterdienstes zum Klima in den Regionen Deutschlands.
<http://www.dwd.de/de/Zusatzmenues/Presse/Mitteilungen/20041130.htm> 12.6.2006

Ellenberg H. (1963) - Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen.
Ulmer, Stuttgart 1963

Ellenberg H. (1978) - Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen in ökologischer Sicht.
2.Auflage, Ulmer, Stuttgart 1978

Ellenberg H. (1996) - Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen in ökologischer, dynamischer und historischer Sicht.
5. stark veränderte u. verbesserte Aufl. Stuttgart, Ulmer 1995 S.

Europäische Umweltagentur - Europe biogeography region.
www.eea.eu.int.2010

Felbermeier B. (1994) - Arealveränderungen der Buche infolge von Klimaänderungen.
Allg. Forstzeitschrift 5 (1994), S. 222-224

Firbas F. (1949, 1952) - Spät- und nacheiszeitliche Waldgeschichte Mitteleuropas nördlich der Alpen.
Bd.1 Allgemeine Waldgeschichte.
Bd.2 Waldgeschichte der einzelnen Landschaften.
Verlag G. Fischer, Jena 1949, 1952

Fischer A. (Hrsg.) (1999) - Die Entwicklung von Wald - Biozönosen nach Sturmwurf.
Landsberg, Ecomed. S. 427

Fischer R. et al. (2006) - The condition of forests in Europe.
2006 Executive Report, Hamburg, UN/ECE, (2006)

Gauer J., Kroiher Fr. (2011) - Waldökologische Naturräume Deutschlands.
Neubearbeitung 2011
Landbauforschung Sonderheft 359

Günther K. (1950) - Ökologische und funktionelle Anmerkungen zur Frage des Nahrungserwerbs bei Tiefseefischen mit einem Exkurs über die ökologischen Zonen und Nischen.
Moderne Biologie, Festschrift Nachtsheim, S.55-93, Berlin 1950

Hilker N., Rigling A., Dobbertin M. (2005) - Mehr Misteln wegen der Klimaerwärmung?
Wald und Holz 3 (2005), S. 39-42

Hirschberg M.-M. et al. (2003) - Klimaänderung unter forstlichem Aspekt - Was ändert sich für den Wald?
LWF aktuell 37 (2003), S. 8-13

Hofmann G., Jenssen M. (2007) - Kiefernwald - Kiefernforst, Unterschiede in Ökologie und Vegetation mit Auswirkungen auf Bewirtschaftung und Naturschutz.
Aktuelle Aspekte zur Bewirtschaftung und Ökologie der Kiefer im nordostdeutschen Tiefland. Fachtagung Eberswalde Nov., 2007

Höltermann A., Oesten (2001) - Forstliche Nachhaltigkeit.

Hrsg. LPB Baden-Württemberg

Der deutsche Wald, S.39-45, 1/2001.

Hornstein F. v. (1958) - Wald und Mensch. Waldgeschichte des Alpenvorlandes.

2. Aufl., O. Maier Verlag, Ravensburg 1958

IPCC (2007) (-Climate Change - Mitigation of climate change.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), Genf (2007)

Klötzli F.A. (1989) - Ökosysteme.

UTB 1479, 2.Aufl., G. Fischer, Stuttgart 1989

Kowarik I. (2003) - Biologische Invasionen: Neophyten und Neozoen in Mitteleuropa.

Stuttgart, Ulmer. 380 S., 2003

Kölling C. (2006) - Waldbau im Klimawandel - Eine Herausforderung für die Forstliche Standortserkundung.

Forstinfo Nr. 3/2006, S. 1-4.

http://www.lwf.bayern.de/mam/cms04/service/dateien/waldbau_im_klimawandel_herausforderung.pdf

Kölling C. et al. (2008) - Wald und Forstwirtschaft im Klimawandel.

FAFZ- Der Wald, S.804-807.15/2008

Kölling C. (2008) - Wälder im Klimawandel: Die Forstwirtschaft muss sich anpassen

http://www.lwf.bayern.de/mam/cms04/service/dateien/waelder_im_klimawandel.pdf

Kölling C., Zimmermann L., Walentowski H. (2007) - Klimawandel: Was geschieht mit Buche und Fichte.

Allg. Forstzeitschrift-Der Wald 62 (2007), S. 584-588

Langer H. (1970) - Die ökologische Gliederung der Landschaft und ihre Bedeutung für die Fragestellung Der Landschaftspflege.

Beiheft 3 zu Landschaft +Stadt, Verlag Ulmer, Stuttgart 1970

Larcher W. (1984) - Ökologie der Pflanzen.

UTB 232, 4.Auflage, Ulmer, Stuttgart 1984

Leckebusch G.C., Koffi B., Ulbrich U., Pinto J.G., Spangehl T., Zacharias S. (2006) - Analysis of frequency and intensity of European winter storm events from a multi-model perspective, at synoptic and regional scales.

In: Climate Research 31 (1) (2006), S. 5974

Leckebusch G.C., Ulbrich U. (2004) - On the relationship between cyclones and extreme windstorm events over Europe under climate change.
Global and Planetary Change 44 (2004), S. 181-193

Leder B. (2010) - Strategien zur Ableitung waldbaulicher Handlungsoptionen im Klimawandel.
AFZ/Der Wald 3, S.12-13 2010

Lexer M.J. et al. (2006) - Waldbaukonzepte im Klimawandel - ein simulationsgestützter Vergleich.
BFW-Praxisinformation 10 (2006), S. 25-27

Lindner M. (1999) - Stand der Forschung - Klimaeinflüsse auf Wachstum und Verbreitung von Waldbäumen.
Allg. Forstzeitschrift-Der Wald 54 (1999), S. 561-564

Menzel A. (2006) - Zeitliche Verschiebung von Austrieb, Blüte, Fruchtreife und Blattverfärbung im Zuge der rezenten Klimaerwärmung.
Forum für Wissen, Wald und Klimawandel (2006), S. 47-53

Michiels H.G. (2008) - Dynamisierte Einstufung der Baumarteneignung als Grundlage für die waldbauliche Planung.
FVA- Einblicke, Jg.12/2008 (1): 44-48

Möhring C. (2007) - Eichen für eine wärmere Welt? Vom richtigen Sämling bis zur Nutzung - Strategien für den Waldumbau.
Laborgespräch 2 (2007), S. 1-8

Müller-Kroehling St., Walentowski H., Bußler H., Kölling Chr. (2009) - Natürliche Fichtenwälder im Klimawandel – Hochgradig gefährdete Ökosysteme
LWF Wissen 63, 2009

Neumann M. (2006) - Wie reagieren die Bäume auf Temperatur und Niederschlag?
BFW-Praxisinformation 10 (2006), S. 21-24

Otto H.J. (1994) - Waldökologie.
UTB Große Reihe, Ulmer, Stuttgart 1994

Payer M. (1998) - Materialien zur Forstwirtschaft - Kapitel 1: Waldbau und Forst
<http://www.payer.de/cif04.htm>

Peñuelas J., Boada M. (2003) - A global change-induced biome shift in the Montseny mountains (NE Spain).
Global Change Biology 9/2 (2003), S. 131-140

PIK -Potsdam-Instituts für Klimafolgenforschung (2005) - Klimawandel in Deutschland, Vulnerabilität und Anpassungsstrategien klimasensitiver Systeme.
Umweltforschungsplan des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit

Rahmstorf S., Schellnhuber H.J. (2006) - Der Klimawandel.
C.H. Beck Wissen, München

Reif A. et al. (2009) - Abschlussbericht eines F+E-Vorhabens im Auftrag des Bundesamtes für Naturschutz
FKZ 3508 84 0200

Rigling A. et al. (2006) - Baumartenwechsel in den Walliser Waldföhrenwäldern.
Forum für Wissen, Wald und Klimawandel (2006), S. 23-33

Röhrig E. (1980) - Der Wald als Vegetationstyp und seine Bedeutung für den Menschen.
In: Dengler A., Waldbau auf ökologischer Grundlage, Bd.1.
P. Parey, Hamburg-Berlin 1980

Roloff A. (2008) - Klimawandel und Baumarten-Verwendung für Waldökosysteme.
Inst.f.Forstbotanik und Forstzoologie der TU Dresden
www.forst.tu-dresden.de/Botanik/08t.o8.2008
Im Auftrag der Stiftung Wald in Not

Schulze E-D, Lange O-L, Oren R. (Hrsg.) (1989) - Forest Decline and Air Pollution. A case study with spruce (*Picea abies*) on acid soils.
Berlin/Heidelberg/New York: Springer (= Ecological Studies 77). 475 S.

Schwarz R., Harmeling S., Bals Chr. (2007) - Auswirkungen des Klimawandels auf Deutschland.
Germanwatch
www.germanwatch.org/klima/klideu/07.htm

Thomasius H., Schmidt P.A. (1996) - Wald, Forstwirtschaft und Umwelt.
In: Buchwald K., Engelhardt W.(Hrsg.), Umweltschutz- Grundlagen und Praxis, Band 10.
Economica Verlag, Bonn 1996

UBA (2006) - Künftige Klimaänderungen in Deutschland- Regionale Projektionen für das 21. Jahrhundert,
Hintergrundpapier April 2006

Ulrich B. (1981) - Stabilität von Waldökosystemen.
Forstarchiv 52, S.165-170, 1981

Ulrich B. (1987a) - Stabilität, Flexibilität und Resistenz von Waldökosystemen unter dem Einfluss saurer Deposition.
Forstarchiv 58, S.232-239, 1987

Ulrich B. (1987b) - Anthropogene Veränderungen von Waldökosystemen: Geschichte-Gegenwart-Zukunft.
In: Möglichkeiten und Grenzen der Sanierung immissionsgeschädigter Waldökosysteme.
FIW Univ. Bodenkultur Wien, S.1-33, Wien 1987

Walentowski H. , Kölling C. , Ewald J. (2007) - Die Waldkiefer - bereit für den Klimawandel?
LWF Wissen 57 (2007), S. 37-46

Walther G.-R. (2003) - Plants in a warmer world.
Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics 6/3 (2003), S. 169-185

Wohlgemuth T., Bugmann H., Lischke H., Tinner W. (2006) - Wie rasch ändert sich die Waldvegetation als Folge von raschen Klimaveränderungen?
Forum für Wissen, Wald und Klimawandel (2006), S. 7-16

Zimmermann N.E. et al. (2006) - Wo wachsen die Bäume in 100 Jahren?
Forum für Wissen, Wald und Klimawandel (2006), S. 63-71