



Foto: Marcus Küling

Klimaanpassung ist Vorsorge für den Wald

Strategien zur Stabilisierung der Wälder – ohne Aktionismus

Prof. Dr. Hermann Spellmann ist Leiter der Nordwestdeutschen Forstlichen Versuchsanstalt (NW-FVA) und der Abteilung Waldwachstum ebendorf.

Dr. Henning Meesenburg ist Sachgebietsleiter Intensives Umweltmonitoring, Abt. Umweltkontrolle der NW-FVA.

Dr. Matthias Schmidt ist wissenschaftlicher Mitarbeiter im Sachgebiet Wachstumsmodellierung und Informatik, Abt. Waldwachstum der NW-FVA.

Ralf-Volker Nagel ist Sachgebietsleiter Ertragskunde, Abt. Waldwachstum der NW-FVA.

Johannes Suttmöller ist wissenschaftlicher Mitarbeiter im Sachgebiet Intensives Umweltmonitoring, Abt. Umweltkontrolle der NW-FVA.

Matthias Albert ist wissenschaftlicher Mitarbeiter im Sachgebiet Wachstumsmodellierung und Informatik, Abt. Waldwachstum der NW-FVA.

Der Mensch neigt dazu, Probleme so lange vor sich herzuschieben, bis unmittelbare Folgen eintreten, die ihn zum Handeln zwingen. Die Forstwirtschaft kann sich dies nicht leisten. Die Langfristigkeit der forstlichen Produktion, die weitreichende Bindung an die Standortverhältnisse und die oft nicht substituierbaren Wirkungen und Leistungen von Wäldern und Forstwirtschaft zwingen zu einem nachhaltigen Denken und Arbeiten. Noch stärker als die durch Einträge von Luftschadstoffen bedingten Waldschäden erfordert der stetig fortschreitende Klimawandel waldbauliche Anpassungsmaßnahmen.

Bei allen Unterschieden im Detail lassen sämtliche Klimaprojektionen für Deutschland einen deutlichen Temperaturanstieg bei einer gleichzeitig veränderten saisonalen Niederschlagsverteilung erwarten. Neben trockeneren/wärmeren Sommern und feuchteren/wärmeren Wintern ist mit verlängerten Vegetationsperioden und dem häufigeren Auftreten von Witterungsextremen wie Dürren, Starkregen oder Stürmen zu rechnen (IPCC 2014, UBA 2015). Es wird erwartet, dass Ausmaß, räumliche und zeitliche Verteilung sowie Geschwindigkeit des Klimawandels die Anpassungsfähigkeit unserer Baumarten überschreiten. Die Veränderungen werden sich sowohl auf den Zustand der Böden, die Pflanzenphysiologie, die Vergesellschaftung der Pflanzenarten, die Produktivität und die Stabilität der Wälder als auch auf die Ertragskraft der Forstbetriebe auswirken (Spellmann et al. 2007, 2011). In diesem durch ein hohes Maß an Unsicherheit geprägten Umfeld können Instrumente zur waldbaulichen Entscheidungsunterstützung wert-

volle Hilfestellungen bei der Entwicklung waldbaulicher Anpassungsstrategien leisten.

Forschungsansatz und Datengrundlagen

Der **Forschungsansatz** an der Nordwestdeutschen Forstlichen Versuchsanstalt (NW-FVA) geht davon aus, dass zunehmender Trockenstress aufgrund verlängerter Vegetationsperioden und erhöhten Verdunstungsanspruchs bei den meisten mitteleuropäischen Baumarten zu einer verminderten Produktivität und einer erhöhten Anfälligkeit gegenüber weiteren abiotischen und biotischen Stressfaktoren führt. Darüber hinaus werden sich auch die Eintrittswahrscheinlichkeiten für weitere Risikofaktoren, wie Stürme, ändern. Die Auswirkungen veränderter Klimabedingungen auf Wälder werden baumartenspezifisch mithilfe von statistischen Modellen funktional beschrieben. Dabei werden die Bereiche Wachstum und Risiken getrennt betrachtet, weil sie unterschiedlichen Einflussfaktoren und Dynamiken unterliegen und unterschiedliche Anpassungsmaßnahmen erfordern. Analogieschlüsse bilden die Grundlage für die Prognosen der zukünftigen Waldentwicklung. Sie gehen davon aus, dass sich die zukünftigen Zustände an einem Standort über die Zustände an anderen Standorten beschreiben lassen, die gegenwärtig diese oder ähnliche Bedingungen aufweisen.

Die wichtigsten **Datengrundlagen** der Modelle bilden beobachtete Klimadaten (Deutscher Wetterdienst, DWD), Klimaprojektionen für verschiedene Emissionsszenarien (SRES- oder RCP-Szenarien) aus diversen Kombinationen von Globalmodellen und statistischen bzw. dynamischen Regionalmodellen, Standortinformationen aus den Bodenüber-

sichtskarten (BÜK), aus Standortkartierungen, dem forstlichen Umweltmonitoring mit Bodenzustandserhebung und Intensivmonitoring, Bestockungsinformationen aus Bundeswaldinventuren (BWI), Betriebsinventuren und Versuchsflächen sowie ausgewählte Waldschutzstatistiken.

Veränderungsanalyse

Wasserdefizit erzeugt bei Pflanzen einen physiologischen Stress, der die Effektivität der physiologischen Prozesse reduziert oder die Pflanzenstruktur direkt schädigt (Van Heerden und Yanai 1995). Dieser **Trockenstress** manifestiert sich in Vitalitäts- und Produktivitätseinschränkungen, in Extremfällen auch im Absterben von Einzelbäumen oder Beständen, und ist kein neues Phänomen. Bereits unter den derzeitigen klimatischen Bedingungen weist die klimatische Wasserbilanz (Differenz zwischen Niederschlag und potenzieller Evapotranspiration) an vielen Standorten in den Sommermonaten ein mehr oder weniger großes Defizit auf. Dieses wurde bisher meist durch pflanzenverfügbares Bodenwasser und angepasstes Transpirationsverhalten der Bäume kompensiert. In Zukunft ist jedoch damit zu rechnen, dass es vermehrt zu Trockenstressbedingungen kommt, die die Vitalität und Produktivität der Wälder massiv beeinträchtigen können. Fichte und Buche werden davon am stärksten betroffen sein, die Eichenarten und die Douglasie weitaus weniger, und die Kiefer weist das höchste Anpassungspotenzial auf (vgl. von Lüpke 2004, Roloff und Grundmann 2008, Ellenberg und

Trockenstressgefährdung	Fichte	Buche	Eiche/Douglasie	Kiefer
gering	> -0 mm	> -25 mm	> -150 mm	> -180 mm
mittel	-0 bis -80 mm	-25 bis -100 mm	-150 bis -400 mm	-180 bis -450 mm
hoch	< -80 mm	< -100 mm	< -400 mm	< -450 mm

Leuschner 2010, Kätzel 2009, Kätzel et al. 2015, Vor et al. 2015).

Bislang gibt es wenige allgemeingültige, baumartenspezifische Grenzwerte, die das Risiko durch eingeschränkte Wasserverfügbarkeit mittels Klima- und/oder Bodenkennwerten charakterisieren (z. B. Spellmann et al. 2007, Czajkowski et al. 2009). Ein einfacher Ansatz ist die Einschätzung des Trockenstressrisikos über **Schwellenwerte der Standortwasserbilanz** nach Grier und Running (1977), die die klimatische Wasserbilanz in der Vegetationsperiode mit der nutzbaren Feldkapazität verrechnet, und damit Eingangsgrößen nutzt, die flächendeckend, hoch aufgelöst zur Verfügung stehen. Die Standortwasserbilanz geht davon aus, dass den Bäumen ein Überschuss aus der klimatischen Wasserbilanz und dem zu Beginn der Vegetationsperiode im Boden gespeicherten Wasser voll zur Verfügung steht. Die verwendeten Schwellenwerte beruhen auf Literaturlauswertungen und Expertenwissen (Tab. 1, Spellmann et al. 2007, 2011, Suttmöller et al. 2008, Overbeck et al.

Tab. 1: Abschätzung der Trockenstressgefährdung der Hauptbaumarten nach Standortwasserbilanz (= klimatische Wasserbilanz und nutzbare Feldkapazität); Definition der Klassengrenzen im Anhalt an Spellmann et al. 2011

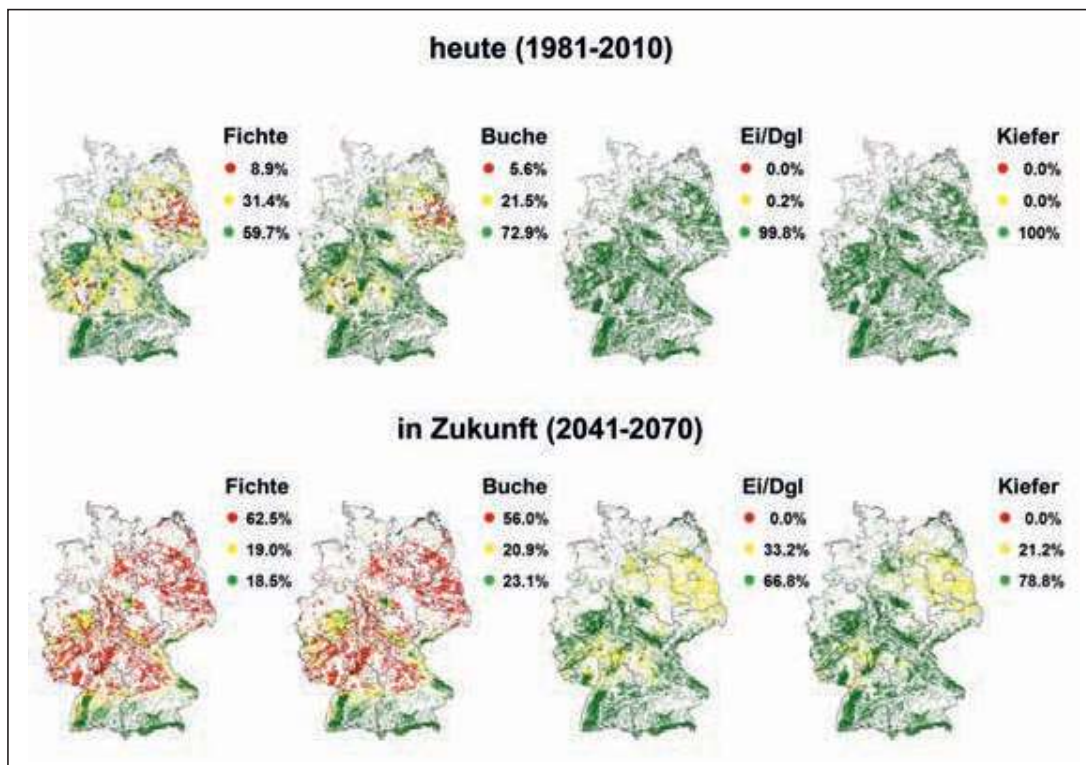


Abb. 1: Abschätzung der Trockenstressgefährdung der Hauptbaumarten heute (1981–2010, oben) und in Zukunft (2041–2070, unten) mit einer Verteilung der Gefährdungsstufen für die Hauptbaumarten auf Basis der Standortwasserbilanz (Tab. 1; Datenquellen: Klimadaten (1981–2010) DWD, Klimaprojektion (2041–2070) RCP8.5 ECHAM6 STARS II, nutzbare Feldkapazität aus Wald-BÜK 1:1.000.000)

Abb. 2: Bonitätsveränderungen der Hauptbaumarten in Deutschland zwischen dem Status quo der BWI 2 (2002) und der Periode 2070 bis 2100 (Datenquellen: Status-quo-Bonität BWI 2, Klimaprojektion SRES A1B ECHAM5 WETTREG, Standortinformationen aus Wald-BÜK 1:1.000.000)

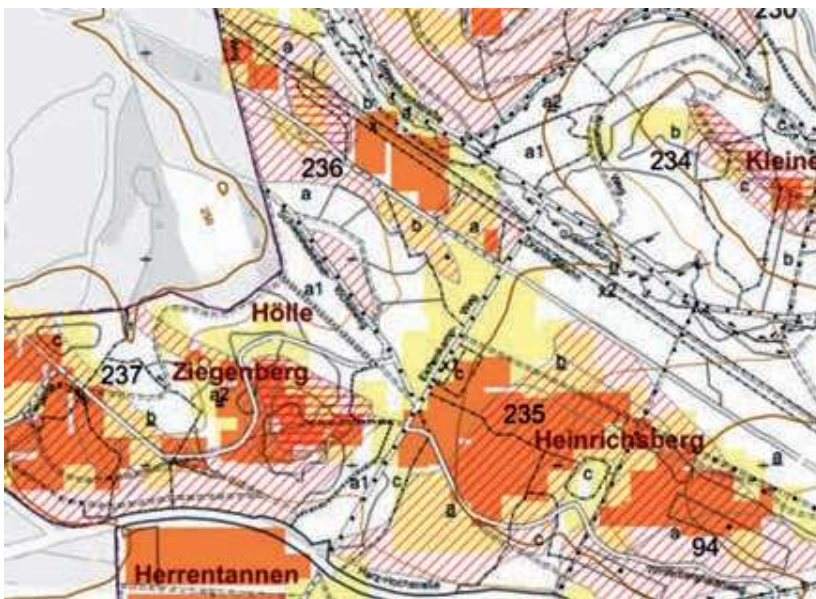
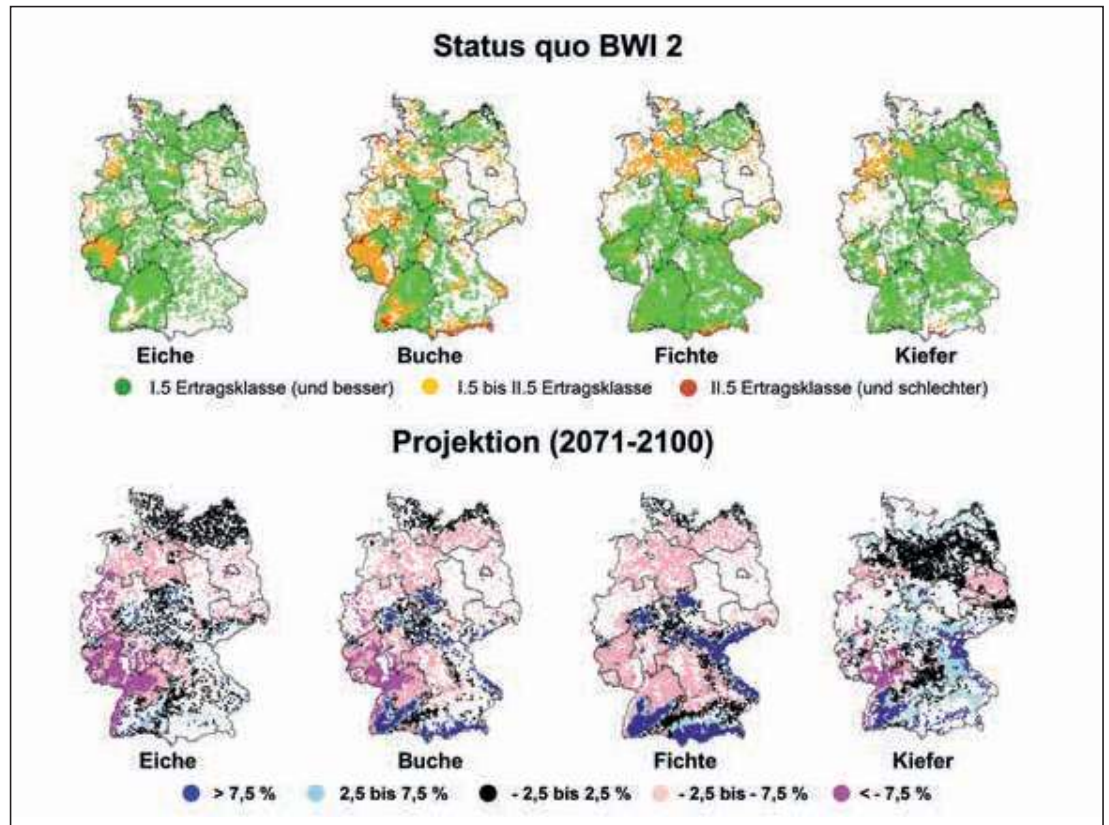


Abb. 3: Risikokarte Fichte für einen Revierteil im niedersächsischen Harz

2012). Mit diesem Ansatz zeichnen sich zwischen den Perioden 1981–2010 und 2041–2070 gravierende Veränderungen ab (Abb. 1). Bei den Prozentzahlen ist aber zu bedenken, dass sie sich nicht auf die realen Flächen der Hauptbaumarten beziehen, sondern auf deren potenzielle Trockengefährdung auf der gesamten Waldfläche in Deutschland gemäß Wald-BÜK 1:1.000.000. Dennoch sind die Verschlechterungen bei den beiden wichtigen Wirtschaftsbaumarten Buche und Fichte geradezu dramatisch.

Das Höhenwachstum ist weitgehend behandlungsunabhängig. Es wird daher schon seit Langem im Rahmen der Bonitierung zur Bestimmung der standörtlichen Leistungsfähigkeit der Baumarten genutzt. In der Klimafolgenforschung an der NW-FVA wird das **Leistungspotenzial** der Baumarten Buche, Eiche, Fichte, Kiefer und Douglasie in Form der absoluten Mittelhöhenbonität im Alter 100 (Hg100) räumlich explizit auf Basis regionalisierter Standortvariablen und in Abhängigkeit von der geografischen Lage mit einem verallgemeinerten additiven Modell klima- und bodensensitiv geschätzt (Albert und Schmidt 2012). Mithilfe dieses Modells können potenzielle Bonitätsveränderungen unter verschiedenen Klimaszenarien projiziert werden (Abb. 2). Danach ist in Deutschland für das Ende des Jahrhunderts (2071–2100) mit deutlichen Veränderungen zu rechnen. Während sich in den höheren Lagen der Mittelgebirge und in den Alpen die Bonitäten von

Buche und Fichte verbessern (Temperatur ist der Minimumfaktor), verschlechtern sie sich in vielen anderen Regionen des Landes aufgrund der zunehmenden Trockenheit. Bei der Eiche bleiben die Bonitäten meist gleich oder verschlechtern sich, bei der Kiefer überwiegen die Verbesserungen. Am wenigsten sind die küstennahen Regionen von Bonitätsveränderungen betroffen.

Neben dem künftigen Trockenstress und den erwarteten Bonitätsveränderungen ist der Einfluss des Klimawandels auf **weitere abiotische und biotische Risikofaktoren** zu beachten. Hierzu wurden neue Ansätze zur Quantifizierung des Sturm- und Waldbrandrisikos sowie der Gefährdungen durch Borkenkäfer und Kiefern großschädlinge erarbeitet. Das **Sturmschadensrisiko**-Modell schätzt die Wahrscheinlichkeit eines Sturmschadens in Abhängigkeit von der Baumart, den Baumdimensionen BHD und Höhe, der Exponiertheit (Kuppe, Hang, Tallage etc.), der Exposition (Himmelsrichtung) gegenüber der Hauptwindrichtung sowie der Bodenvernässung für Einzelbäume ein (Schmidt et al. 2010). Für das stark steigende **Waldbrandrisiko** werden der M68-Waldbrandindex (Käse 1969) sowie der Fire Weather Index (Van Wagner 1987) verwendet (Sutmöller et al. 2013). Das Risiko eines Fichtenbestandes, innerhalb von zehn Jahren durch den Buchdrucker (*Ips typographus*) befallen zu werden (**Borkenkäferisiko**), wird mit einem Modell eingeschätzt, das als unabhängige Variablen die Temperatursumme in der Vegetationszeit, das Alter und den Mischungsanteil der Fichte, die nutzbare Feldkapazität und die Exponiertheit in südwest- bis südöstlicher Richtung verwendet (Overbeck und Schmidt 2012). Standortabhängige Modelle zur Einschätzung der Gefährdung durch **Kiefern großschädlinge** und die **Eichen-Fraßgesellschaften** befinden sich noch in der Entwicklung (Albert et al. 2013, Sutmöller et al. 2013, laufendes FNR-Projekt »Riskman«).

Die bereits räumlich konkret einschätzbaren Risikoinformationen lassen sich z. B. in Karten darstellen (Abb. 3). Sie bilden zusammen mit den Leistungseinschätzungen eine wesentliche Grundlage für die forstbetriebliche Planung.

Anpassungsstrategie

Der Klimawandel führt zu veränderten Produktionsgrundlagen, Produktionsrisiken und Ertragsaussichten. Angesichts der Langfristigkeit der forstlichen Produktion und der Unsicherheiten der Klimaprojektionen verbietet sich jegliche Form von Aktionismus. Ein **adaptives Management** bietet sich an, um grobe Fehler zu vermeiden und den Erkenntnisfortschritt zu nutzen. Noch vor Investitionen in einen standortgemäßen Waldbau besitzen dabei die Stabilisierung der vorhandenen Wälder und die Senkung bzw. Verteilung der Risiken höchste Priorität. Die modellbasierten Prognosen des Wachstums und



der Risiken geben hierzu die Richtung vor, damit die Wälder zielgerecht entwickelt werden. Die Waldentwicklungsziele lassen sich durch Verjüngungs-, Bestandes- und Produktionsziele konkretisieren, die die Änderungen der ökologischen Rahmenbedingungen aufgreifen.

Zur **Stabilisierung der vorhandenen Wälder** muss es das vorrangige Ziel der Bestandespflege sein, die Einzelbaumstabilität zu erhöhen, die Vitalität der Bäume zu sichern sowie Mischbaumarten zu erhalten bzw. zu fördern. Dies fängt in der Jungwuchspflege mit der Mischungsregulierung oder der frühzeitigen Stammzahlreduktion in flächigen, stammzahlreichen, wenig differenzierten Fichten-Naturverjüngungen an, setzt sich in der Läuterungsphase mit dem Protzenaushieb und der Förderung von Mischbaumarten fort und wird in der anschließenden Durchforstungsphase durch eine gezielte Pflege der bestveranlagten Bäume und die Ausformung der Bestandesstrukturen entscheidend beeinflusst. Bei den Schatt- und Halbschattbaumarten Buche, Bergahorn, Roteiche und Douglasie lassen sich zwei- oder mehrschichtige Bestände durch Hochdurchforstungen entwickeln.

Bei den stärker lichtbedürftigen Baumarten Eiche, Kiefer, Esche und auch Fichte ist dies in gleichaltrigen Beständen auf Dauer nicht möglich. Soweit nicht ökonomische Gründe dagegen sprechen, können bei diesen Baumarten besonders auf Standorten mit hohem Trockenstressrisiko auch Niederdurchforstungen angebracht sein, um die Wasserkonkurrenz zu senken (Kohler et al. 2010, Gebhardt et al. 2012). Diesen Zweck erfüllen auch Mischbaumarten unter dem Schirm von Lichtbaumarten, weil sie einer starken,

Buchen-Durchforstungsversuch Münden 2028, starke Hochdurchforstung mit vitalem Unterstand

(Fotos dieses Artikels: NW-FVA)



Mischbestands-Versuch
Dassel 1071

wasserzehrenden Vergrasung entgegenwirken. Bezüglich der Durchforstungsstärke sind grundsätzlich gestaffelte Durchforstungen zu empfehlen, bei denen die ersten drei Eingriffe die Bestandesdichte deutlich absenken ($B^\circ > 0,7$ bis $0,8$). Anschließend folgt bis zum Abschluss des Haupthöhenwachstums eine Übergangsphase ($B^\circ > 0,8$ bis $0,9$), und danach erfolgen nur noch mäßig starke Eingriffe ($B^\circ 1,0$) bis zum Einsetzen der Zielstärkennutzung. Für die gestaffelte Durchforstung spricht, dass sie dem Wachstumsgang und der Reaktionsfähigkeit der Baumarten folgt, dass die Kronen der bestveranlagten Bäume frühzeitig aus-

gebaut werden und hierdurch die Produktions- und damit gleichzeitig die Gefährdungszeiträume deutlich gesenkt werden können (Spellmann 2001, 2004, 2008, 2010, Spellmann und Schmidt 2003, Nagel und Spellmann 2008). Geeignete Habitatbäume bzw. besser Habitatbaumgruppen, die als Lebensräume für die Arten der Alters- und Zerfallsphase zu sichern sind, werden ebenfalls in der Durchforstungsphase ausgewählt, erhalten und ggf. gefördert.

Die **Senkung bzw. Verteilung der Risiken** beginnt mit der natürlichen Verjüngung standortgemäßer Baumarten, um mit einer großen Individuenzahl und einer hohen genetischen Diversität zu starten, die mit der Zeit Auswahlmöglichkeiten bieten. Da mit dem Klimawandel die Risiken allgemein zunehmen und es auch im Laufe des Bestandeslebens ein soziales und qualitatives Umsetzen gibt (vgl. Schober 1988), sollte gerade bei einer frühzeitigen Auswahl die Anzahl der Z-Bäume nicht zu niedrig bemessen sein. Im Laufe der Pflegephase reduziert sich die Anzahl der Z-Bäume, und gleichzeitig nimmt die Durchmesserdivergenzierung des Kollektivs der besten Zuwachsträger zu, die in der Regel nicht gleichmäßig verteilt sind. Hieraus ergeben sich unterschiedliche optimale Nutzungszeitpunkte für Einzelbäume bzw. Baumgruppen und damit Ansätze für die Entwicklung ungleichaltiger Bestandesstrukturen. In vielen Forstbetrieben sind vor allem bei der wichtigsten Nadelbaumart Fichte die Bestände der III. und IV. Altersklasse mit überproportional hohen Flächenanteilen vertreten. Mit den hier konzentrierten Holzvorräten muss sorgfältig umgegangen werden, weil das Sturmchadenrisiko mit zunehmendem Alter, steigender Baumhöhe und wachsendem Vorrat beträchtlich steigt.

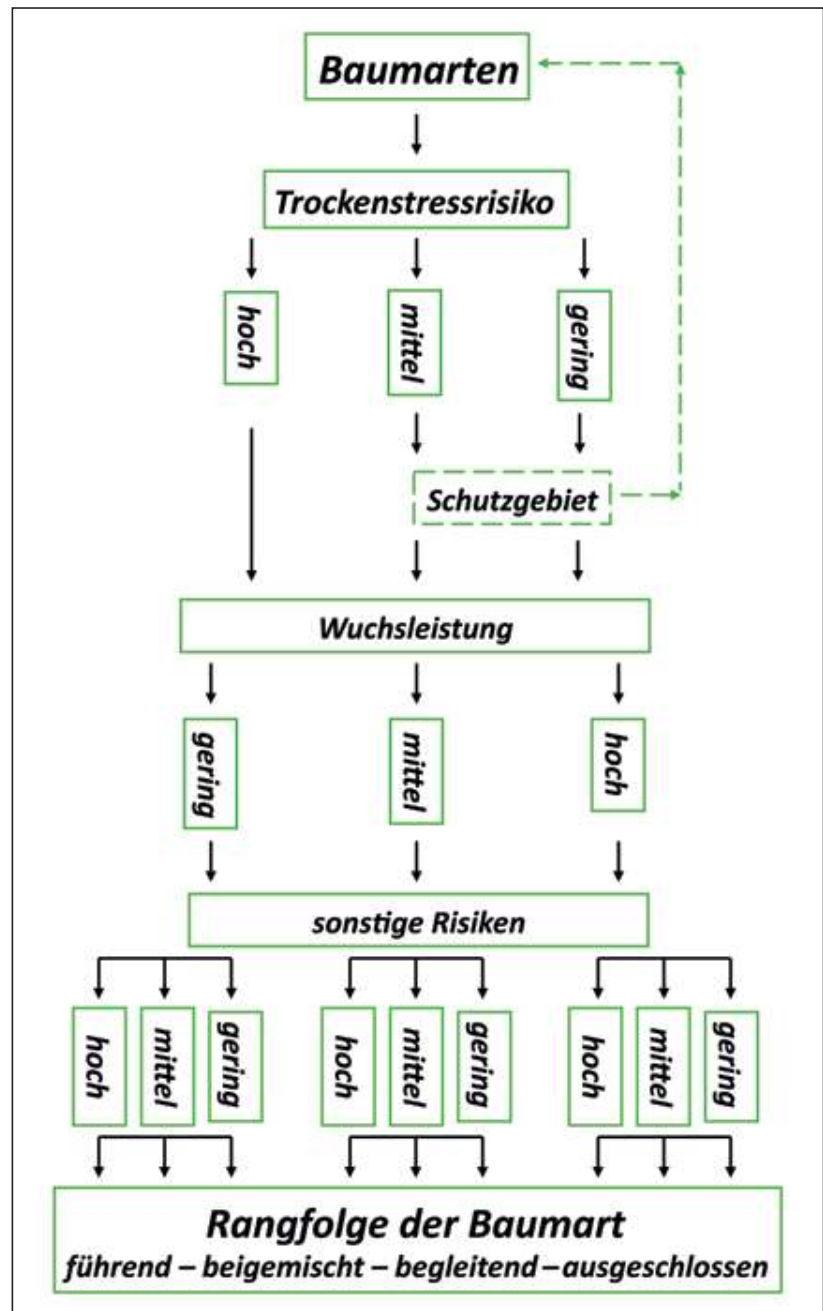
Das **Zielstärkenkonzept** ist in der Endnutzung umso besser anwendbar, je strukturreicher die



Buchen-Douglasien-Voranbau-Versuch unter Kiefer im sachsen-anhaltischen FoA Anhalt

Bestände sind. Weiser hierfür sind Vertikalstruktur, Durchmesserdifferenzierung, Baumverteilung, Dichteunterschiede, Vielfalt und Durchmischung. Während sich die Baumarten Douglasie, Buche und Kiefer relativ unproblematisch nach Zielstärke nutzen und langfristig verjüngen lassen, sind die Verhältnisse in Fichtenbeständen häufig schwieriger. Viele Fichtenbestände sind gleichaltrige Reinbestände, von denen viele in stabilere Mischbestände überführt werden sollen. In gut vorgepflegten Fichtenbeständen sollte möglichst frühzeitig ab einem Bestandesalter von etwa 70 Jahren mit der Zielstärkenutzung begonnen werden. Dabei muss ein Stützgefüge aus einer ausreichenden Anzahl stabiler, starker Bäume erhalten werden, um die Bestandesstabilität nicht zu gefährden. Die Eingriffsstärke sollte 60 Efm/ha bei Nutzungsintervallen von ca. 4–5 Jahren nicht übersteigen. Hierdurch soll möglichst lange eine geordnete Nutzung sichergestellt werden, bevor die Bestockungsgrade soweit abgesenkt sind ($B^\circ < 0,6$), dass aus Stabilitätsgründen häufig saumweise oder kleinflächig abgenutzt werden muss. In labilen Fichtenaltbeständen oder bei großflächigen, starkholzreichen Fichtenaltholzkomplexen wird es sich oft nicht vermeiden lassen, die Vorräte im Zuge von Saumschlägen und begrenzten Kahlschlägen schneller zu nutzen und zu verjüngen. Auch bei der Buche ist offensichtlich eine bessere räumliche Ordnung bzw. ein eher femelartiges, räumlich differenziertes Vorgehen bei der Zielstärkenutzung erforderlich. Dafür sprechen die derzeit nach mehreren trockenen Sommern und häufigem Fruktifizieren zu beobachtenden schlechten Kronenzustände der Altbuchen in gleichmäßig großschirmschlagartig aufgelichteten Beständen. Für die Verjüngung von Eiche in Eichenbeständen sind längerfristige Zielstärkenutzungen i. d. R. nicht zielführend, weil ein langsamer Hiebsfortschritt die schattentoleranteren Mischbaumarten Buche, Hainbuche, Winterlinde oder Bergahorn stark begünstigt. Bei der Kiefer gibt es bei der Zielstärkenutzung in der Regel keine Probleme, wenn man räumlich geordnet vorgeht.

Grundsätzlich erscheint bei allen Baumarten eine stärkere Differenzierung der angestrebten Zieldurchmesser nach den Kriterien Standortleistungsfähigkeit, Bestandesstabilität und Entwertungsfahr notwendig. Je besser die Wuchsleistung, je besser die Qualität und je geringer das Risiko bzw. die Entwertungsfahr, umso höher kann die Zielstärke angesetzt werden (Spellmann 2010). Bei der Fichte mit ihrem unausgeglichene Altersklassenaufbau empfiehlt sich die Differenzierung der Zielstärke besonders, um die Endnutzungen bei vertretbarem Gesamtrisiko zu strecken und so die Liquidität der Forstbetriebe zu erhalten. Zur weiteren Risikobegrenzung bzw. Risikoverteilung trägt ein Verzicht auf die Stabilität gefährdende Maßnahmen wie eine nachträgliche Verdichtung des Erschließungsnetzes in höheren Bestandesal-



tern ebenso bei wie die rechtzeitige Etablierung von standortgerechtem Nachwuchs. In jedem Fall ist ein konsequenter Waldschutz erforderlich. Er setzt beim vorbeugenden Waldschutz an (u. a. Wildstände, Einzelbaumvitalität, Bestandesstruktur, saubere Waldwirtschaft, Waldbrandvorbeugung, Waldschutzmonitoring) und setzt sich in der Anwendung wirksamer Maßnahmen beim Überschreiten von Schwellenwerten fort.

Eine erst langfristig wirksame Anpassungsmaßnahme ist der **standortgemäße Waldbau**. Gerade unter dem Gesichtspunkt der Risikobegrenzung müssen die Baumarten standortgemäß sein. Folgt

Abb. 4: Entscheidungsbaum zur Wahl standortgemäßer Waldentwicklungsziele unter sich ändernden Klimabedingungen

man der Definition von von Lüpke (1996), dann ist eine Baumart »standortgemäß, wenn ihre Bedürfnisse an Strahlung, Wärme, Wasser und Nährstoffen durch Boden und Klima des Anbauortes gut erfüllt sind. Dies äußert sich in Gesundheit, Vitalität und gutem Wachstum«. Zur Einschätzung der Standort-eignung und Anbauwürdigkeit der Baumarten unter den sich ändernden ökologischen Rahmenbedingungen liefern die zuvor angesprochenen Modelle zur klimasensitiven Einschätzung des Trockenstressrisikos, der Leistungsfähigkeit und der sonstigen abiotischen und biotischen Risiken wichtige Entscheidungshilfen. Abgesehen von Zwangsstandorten und den sich durch den Klimawandel abzeichnenden Grenzstandorten, gibt es nicht nur eine richtige Lösung, sondern i. d. R. mehrere Anbaualternativen. Diese schließen auch ökologisch zuträgliche, eingeführte Baumarten, in erster Linie Douglasie, Küstentanne, Japanlärche und Roteiche, ein (Otto 1994, Vor et al. 2015). Die auf den einzelnen Bestand bezogene Baumartenwahl sollte einem Entscheidungsbaum folgen, der die Standortverhältnisse, Schutzgebietsauflagen, Ertragsaussichten und Risiken berücksichtigt und aufzeigt, welche Baumarten ggf. führend, beigemischt, begleitend oder ausgeschlossen sein sollten (Abb. 4).


Bei der **Abstimmung der Baumartenwahl** auf die jeweiligen waldbaulichen Ausgangssituationen und forstbetrieblichen Gegebenheiten sollten einige allgemeine Grundsätze beachtet werden. Hohe Arten-diversität bedeutet oft höhere Stabilität, fast immer aber höhere Elastizität zum Ausgleich von Störungen (Otto 1994, Knoke et al. 2005). Dementsprechend sind Mischbestände gegenüber biotischen und abiotischen Störungen weniger anfällig als Reinbestände. Sie führen nicht nur zu mehr Stabilität, sondern vielfach auch zu mehr Naturnähe und verbessertem Wachstum (Pretzsch et al. 2010, 2013a, 2013b). Da es fast keine spannungsfreien Mischungen gibt, müssen bei der Begründung von Mischbeständen die Standortansprüche und das Konkurrenzverhalten der Baumarten streng beachtet werden, um den Erfolg der Mischungen zu sichern, den Pflegeaufwand zu begrenzen und natürliche Entwicklungen gezielt nutzen zu können. Wichtige Entscheidungshilfen bieten hierzu Informationen zur standortabhängigen Leistungsfähigkeit der Baumarten, zum Kulminationszeitpunkt ihrer Zuwachsgrößen, zu ihrer Schattenerträgnis, zu ihrer Kronenplastizität und zu ihrem Standraumbedarf beim Erreichen bestimmter Zieldurchmesser. Unter Berücksichtigung dieser Gesichtspunkte ist es in gleichaltrigen Mischungen meist empfehlenswert, die Baumarten gruppen- bis horstweise oder kleinflächig zu mischen. Die betriebswirtschaftliche Bedeutung unterschiedlicher Mischungsanteile der jeweils leistungsfähigeren Baumart darf dabei nicht unterschätzt werden. Dieser Aspekt hat erhebliche Auswirkungen auf die Begründungskosten, die Pflegeintensität und die Werterträge.

Für eine **Bevorzugung natürlicher Waldverjüngungen** sprechen das höhere Anpassungspotenzial, die Vermeidung von Nährstoffverlusten, die Minderung der Spätfrost- und Mäusegefahr, die meist bessere Qualitätsentwicklung der Jungbestände, die Konkurrenzsteuerung mithilfe des Schirmes, der Lichtungszuwachs der Altbäume und die Möglichkeit der einzelstammweisen Nutzung nach Zielstärke. Darüber hinaus verursachen Naturverjüngungen wesentlich geringere Kosten als Pflanzungen oder Saaten. Die biologische Rationalisierung darf jedoch keinesfalls die Übernahme bereits heute bzw. zukünftig nicht mehr standortgemäßer Naturverjüngung einschließen. So empfiehlt es sich z. B. zukünftig, nicht standortgemäße Fichten-Naturverjüngungen mit Douglasie oder Küstentanne zu überpflanzen und verstärkt Pionier- und Begleitbaumarten in die Waldentwicklung einzubeziehen. Letztere sollten allgemein mehr Beachtung finden, da sie gut an den Klimawandel angepasst sind, häufig fruktifizieren, ihre Samen effektiv durch den Wind verbreiten und so in der Lage sind, Freiflächen und Störungslöcher schnell zu besiedeln (von Lüpke 2004).

Zur Senkung der Jugendgefahren und zur Aufrechterhaltung der Stoffkreisläufe sollte der Waldumbau unter Beachtung der Lichtansprüche der Baumarten vorzugsweise als Voranbau erfolgen. Störungslöcher bieten die Möglichkeit, standortgemäße Baumarten frühzeitig in umzubauende Bestände einzubringen. Die Störungslöcher sollten für investive Verjüngungsmaßnahmen größer als 0,3 ha sein, um den Voranbauten gute Entwicklungsmöglichkeiten zu bieten. Bei der künstlichen Bestandesbegründung ist auf die Verwendung geeigneter Herkünfte zu achten, da die meisten Baumarten große Verbreitungsgebiete haben, innerhalb derer sich die Teilpopulationen an die unterschiedlichen Standortbedingungen genetisch angepasst haben (Bolte und Degen 2010).

Fazit

Der Klimawandel führt zu veränderten Produktionsgrundlagen, Produktionsrisiken und Ertragsaussichten. Die hier vorgestellten Anpassungsmaßnahmen stellen den derzeitigen Forschungsstand und einige waldbauliche Folgerungen aus der Sicht der Nordwestdeutschen Forstlichen Versuchsanstalt dar. Sie sind als ein Beitrag für ein adaptives Management zu verstehen, das den Fortschritt des Umweltmonitorings und der Klimafolgenforschung nutzt, um die Ökosystemleistungen der Wälder zu sichern. Angesichts der Langfristigkeit der forstlichen Planungs- und Produktionszeiträume verbietet sich jede Form von Aktionismus.

Das Literaturverzeichnis kann als PDF-Datei unter  www.forstverein.de heruntergeladen oder per E-Mail unter info@forstverein.de angefordert werden.