

# ONLINE-BESTELLUNG dokumentUM



**TUM-000010591**

**Bestelldatum: 2008-04-14 09:47:56**

Benutzernummer 04000708503  
Name Klemmt  
  
Straße TU-Weihenstephan Hauspost  
Postleitzahl 85350  
Ort/Stadt Freising  
E-Mail-Adresse stefan.stelzmueller@lrz.tum.de

**Unter Anerkennung des Urheberrechtsgesetzes wird bestellt:**

ISSN 0936-1294  
Zeitschrift AFZ, der Wald  
Aufsatz-Autor Pretzsch  
Aufsatz-Titel Wachstum von Rein- und Mischbestaenden bei veraenderten Umweltbedingunge  
  
Band/Heft 9  
Jahrgang 2005  
Seiten 465-468

**Signatur 1006/FOR 001z 21050**

Vermerk der Bibliothek

- Jahrgang nicht vorhanden
- verliehen
- nicht am Standort
- beim Buchbinder
- vermißt
- Sonstiges

## Risikovorsorge durch Mischbestände?

# Wachstum von Rein- und Mischbeständen bei veränderten Umweltbedingungen

Von Hans Pretzsch, Weihenstephan

Eingriffe des Menschen in die biogeochemischen Kreisläufe verändern u.a. das Kohlenstoff-, Stickstoff- und Wasserangebot der Wälder [1]. Je nach regionaler Ausprägung der Veränderung und nach Waldaufbauform erhöht oder verringert sich der Zuwachs [2, 3, 4]. Unter stabilen Umweltbedingungen erbrachten in unseren Breiten auf vielen Standorten Reinbestände aus Fichte oder Douglasie überlegene Zuwachseleistungen [5, 6] gegenüber Mischbeständen. Über Störungen können Mischbestände jedoch mit geringeren Zuwachseinbußen hinwegkommen als Reinbestände [7, 8]. Ausschlaggebend für das Abschneiden von Mischbeständen im Vergleich zu Reinbeständen ist letzten Endes die Eintrittswahrscheinlichkeit von Störungen; je höher diese ist, umso vorteilhafter ist eine vorausschauende Mischung.

### Treibende Kräfte der Wachstumsänderungen

Als Ursachen für Veränderungen des Waldwachstums auf der nördlichen Erdhalbkugel werden in erster Linie die Erhöhung der CO<sub>2</sub>-Konzentration, der Anstieg der Temperatur, die Verlängerung der Vegetationszeit und die Zunahme von Niederschlägen im 20. Jahrhundert gesehen [1, 9, 15]. Hinzu kommt, mit starker regionaler Variation, der Eintrag von 5 bis 80 kg Stickstoff ha<sup>-1</sup> \* a<sup>-1</sup> [10, 11, 12]. Szenarioanalysen sagen weitere Klima- und Wachstumsänderungen voraus [1, 3]. Demnach wird sich die CO<sub>2</sub>-Konzentration ohne einschneidende Maßnahmen bis 2100 auf 540 bis 970 ppm erhöhen und bezogen auf das Jahr 1990 wird die globale Mitteltemperatur um 1,4 bis 5,8 °C ansteigen. In den Tab. 1 und 2 sind Indikatoren für nachgewiesene Klimaänderungen bzw. Aspekte vorhergesagter Klimaveränderungen zusammengestellt, die für das Waldwachstum von unmittelbarer Bedeutung sind. Es wird unterschieden zwischen allmählichen Temperatur- oder Niederschlagsänderungen und abrupten Auslenkungen, wie Stürmen oder Starkniederschlägen. Wie werden Rein- und Mischbestände auf solche Störungen reagieren?

### Theorie: Reaktionsmuster von Rein- und Mischbeständen

Wird ein Umweltfaktor (z.B. Temperatur, pH-Wert) oder eine Ressource (z.B. Strahlung, Nährstoffe) verändert, so folgt das Pflanzenwachstum einer eingipfeligen Dosis-Wirkungsfunktion (Abb. 1) [6, 13]. Ausgehend von einem Minimum, bei dem

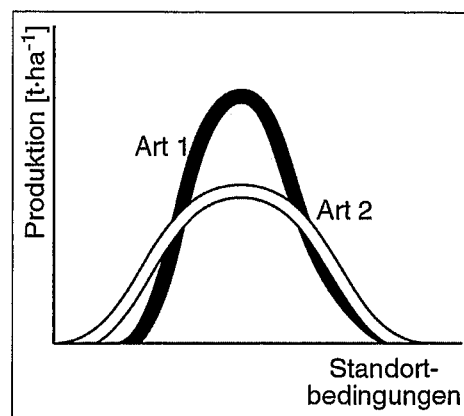


Abb. 1: Trockenstoffproduktion in Abhängigkeit vom Standort für zwei Arten mit ähnlicher ökologischer Amplitude, aber unterschiedlichem Leistungsniveau (fett bzw. mager ausgezogene Linie)

das Wachstum gerade noch Null ist, steigt die Wachstumsreaktion mit Erhöhung der Dosis bis zu einem Optimum an. Bei

Tab. 1: Indikatoren für den Klimawandel (nach [1])

Indikator	Beobachtete Veränderung
Atmosphärische CO <sub>2</sub> -Konzentration	280 ppm in der Periode 1000-1750 auf 368 ppm im Jahr 2000 (Anstieg um 31 ± 4 %)
Atmosphärische N <sub>2</sub> O-Konzentration	270 ppb in der Periode 1000 bis 1750 auf 316 ppb im Jahr 2000 (Anstieg um 17 ± 5 %)
Atmosphärische Konzentration von HFC, PFC und SF	Globaler Anstieg in den letzten 50 Jahren
Globale Oberflächentemperatur	Anstieg um 0,6 ± 0,2 °C im 20. Jahrh.; Landoberflächen erwärmt sich mehr als Ozeane
Zahl der heißen Tage	Globaler Anstieg
Anzahl Frosttage	Rückgang in fast alle Regionen im 20. Jahrh.
Niederschläge	Anstieg um 5-10 % im 20. Jahrh. in der nördl. Hemisphäre; Rückgang in einigen Regionen Nord- und Westafrikas und in den Mittelmeerländern
Schneebedeckung	Rückgang der Gesamtfläche um 10 % seit globaler Aufzeichnung in den 60er Jahren
Länge der Vegetationszeit	Verlängerung um 1 bis 4 Tage pro Dezennium in den letzten 40 Jahren in der Nordhemisphäre; insbes. in mittleren und hohen Breiten
Blühen, Brüten, Migration	Früheres Blühen der Pflanzen, früheres Eintreffen von Zugvögeln, früherer Brutzeitpunkt und früheres Erscheinen von Insekten in der nördlichen Hemisphäre

Prof. Dr. H. Pretzsch ist Leiter des Lehrstuhls für Waldwachstumskunde, TU München. Vortrag am 7.10.2004 anlässlich der Forstwissenschaftlichen Tagung 2004 in Weihenstephan.

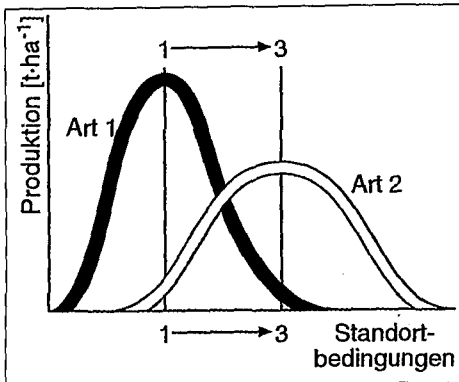


Abb. 2: Trockenstoffproduktion in Abhängigkeit vom Standort für zwei Arten mit unterschiedlicher ökologischer Amplitude (fett bzw. mager ausgezogene Linie). Sind die Arten 1 und 2 gemischt, so kann Art 2 den Rückgang des Bestandeszuwachses durch Standortveränderungen abpuffern.

Überschreitung der optimalen Versorgung fällt das Wachstum stetig ab, bis es wieder Null erreicht. Die für die Arten 1 und 2 einfachheitshalber eindimensional aufgetragenen Standortbedingungen bauen sich aus einem n-dimensionalen Vektor von Umweltfaktoren und Ressourcenangebot auf.

Wenn sich Umweltfaktoren oder das Angebot von Ressourcen verändern, tritt eine artspezifische Wachstumsreaktion ein. Diese kann je nach Ausgangslage zu einer Zu- oder Abnahme des Wachstums oder aber zu einem völligen Ausfall der Art führen (Abb. 2). Bei einer Veränderung der Standortbedingungen (Abb. 2, Pfeil 1 → 3) bedeutet das für Art 1 eine Veränderung von optimalem Wachstum zum oberen Minimum, dagegen für die Art 2 einen Übergang vom unteren Minimum zum Optimum. In Reinbeständen würde das eine Produktionsminderung für Art 1 bewirken. Wenn Art 1 hingegen Art 2 beigemischt wird, die besser an die neuen Bedingungen ange-

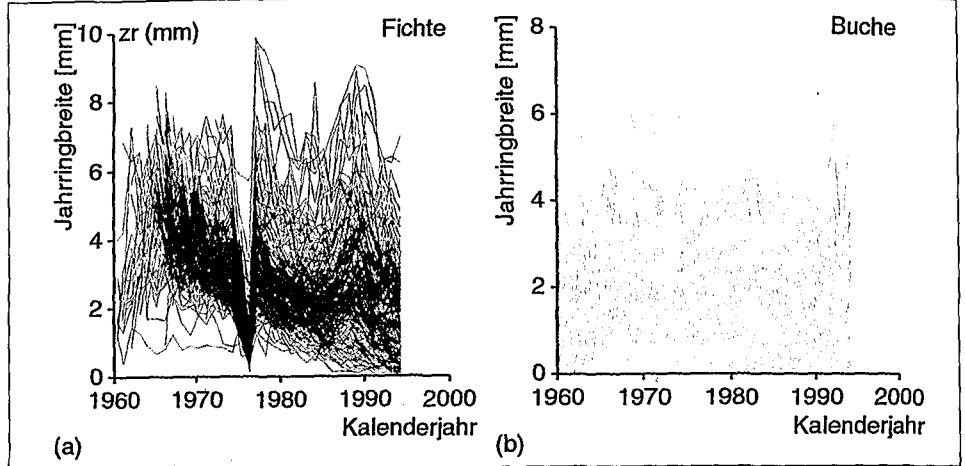


Abb. 3: Jahrringbreiten-Entwicklung von Fichten (a) und Buchen (b) auf der Mischbestands-Versuchsfläche Schongau 814. Die Fichte reagiert gegenüber der Buche wesentlich empfindlicher auf die Trockenheit im Jahr 1976.

passt ist, so kann diese den Bestandeszuwachs stabilisieren. Verfügbare Ressourcen werden dann vermehrt von Art 2 genutzt, verbessern deren Produktivität und deren Raumbesetzung [5, 6, 7]. Ähnliches gilt für den Totalausfall einer Art infolge von Kalamitäten. Die verbleibende Mischbaumart kann Zuwachsverluste durch Mehrzuwachs ausgleichen; und sie kann das umso besser, je regelmäßiger sie über die Bestandesfläche verteilt ist [7, 14].

## Fakten: Von globalen und lokalen Wachstumstrends

Diese Überlegungen unterstreichen, dass Bäume auf Umweltveränderungen nicht-linear und artspezifisch reagieren. Das zeitliche Nacheinander von Zuwachsanstiegen und -rückgängen bei Umweltveränderungen wird plausibel, ebenso das räumliche Nebeneinander von angetriebenem Wachstum einer Art und gebremstem Wachstum einer anderen. An die Stelle

des Schwarz-Weiß-Denkens – vom „Waldsterben“ zum „Waldwuchern“ – tritt ein differenzierteres Bild: Auf globaler Ebene [9, 15, 16], regionaler [2-4] und lokaler Ebene [17-19] zeigen sich Reaktionsmuster, die von Zuwachsbeschleunigung bis Zuwachsendepression reichen. Die in Mitteleuropa dominierenden Zuwachsanstiege gehen vermutlich auf Klimaänderungen zurück [1, 3, 4, 13]. Der großregionale Klimaeffekt wird aber durch regional und lokal wirksame Einflussfaktoren überprägt, wie u. a. durch lokale Standortparameter [12, 19], Schwefeldioxid-Immission [20], Stickstoffeintrag [10, 11], Wind- und Sturmschäden [8, 14, 21-23], sodass eine Vielzahl von Zuwachsreaktionsmustern mit positiven wie negativen Abweichungen vom erwarteten Zuwachsgang resultiert.

Den zahlreichen Befunden zum gegenwärtigen Zuwachshoch in mitteleuropäischen Reinbeständen sei hier eine Auswertung mit besonderer Aussagekraft hinzugefügt. Die durch veränderte Umweltbedingungen verursachte Zuwachsbeschleunigung in Fichten-, Buchen-, Kiefer- und Eichen-Reinbeständen wird verglichen mit der Zuwachsbeschleunigung, die durch Pflegemaßnahmen erzielt werden kann. Die Auswertung stützt sich auf 15 langfristige Fichten-, 16 Buchen-, 8 Kiefern- und 15 Eichen-Durchforstungs-

Tab. 2: Vorhergesagte abrupte Störungen des Pflanzenwachstums (nach [1])

prognostizierte Klimaveränderung	erwartete Störungen
höhere Maximaltemperaturen mehr heiße Tage und öfter Hitzewellen in nahezu allen Regionen	Hitzestress nimmt zu häufiger Feuer, Kalamitäten
höhere Minimaltemperaturen weniger kalte Tage, Frosttage und Kältewellen	Frostschäden nehmen ab, diverse biotische Schadorganismen breiten sich weiter aus, Energieverbrauch geht zurück
Zunahme starker Niederschlagsereignisse	Fluten, Lawinen häufiger, Boden-erosion verstärkt
Sommertrockenheit öfter bzw. länger	Ertrag in Land- und Forstwirtschaft geht zurück, Wasser-Verfügbarkeit knapper, Gefahr von Waldbränden steigt
Stärke der Stürme in den mittleren Breiten nimmt zu	Sturmschäden, Windwurf, Windbruch häufiger bzw. umfangreicher

Tab. 3: Steigerung des Mittelstamm-Volumens bis Alter 100 über Durchforstung bzw. Umweltveränderungen (Mittelwert und Standardfehler)

	Fichte n = 15	Buche n = 16	Kiefer n = 8	Eiche n = 15
Durchforstungs- effekt in %	+ 9 (± 4)	+ 18 (± 9)	+ 20 (± 19)	+ 11 (± 6)
Umwelteffekt in %	+ 27 (± 5)	+ 12 (± 10)	+ 33 (± 7)	+ 13 (± 4)
Gesamteffekt in %	+ 36	+ 30	+ 53	+ 24

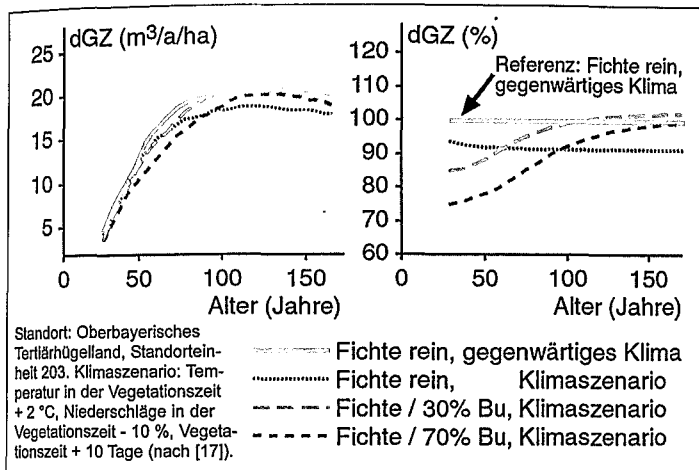


Abb. 4: Wuchsleistung von Fichte und Buche im Rein- und Mischbestand unter gegenwärtigen (durchgezogene Linie) und veränderten Klimabedingungen (gebrochene Linien)

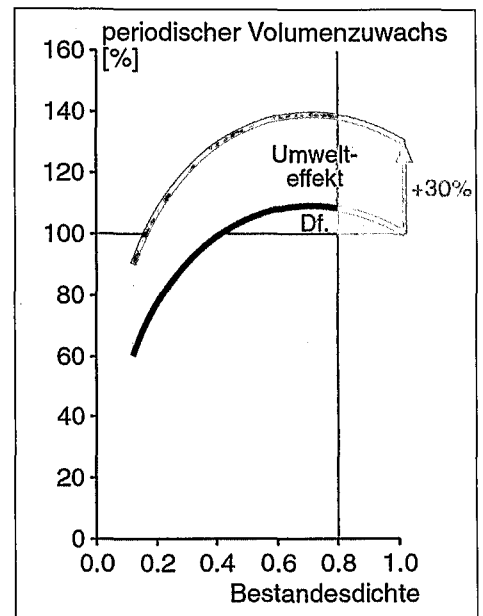


Abb. 6: Wachstumssteigerung der Fichte durch Durchforstung und zuwachs-förderliche Umweltveränderung in schematischer Darstellung. Nach Absenkung der Bestandesdichte auf Bestockungsgrad 0,8 (vertikale Linie) liegen Volumenzuwächsen bei 130 bis 140 % der Erwartungswerte. Von dieser Zuwachssteigerung gehen allerdings erhebliche Anteile auf Umweltveränderungen zurück.

versuche des Lehrstuhls für Waldwachstumskunde der TU München.

Anhand stark durchforsteter bis solitärartig erwachsener Bestände wird abgeschätzt, um wie viel Durchforstungsmaßnahmen das Volumen des Grundflächen-Mittelstammes der 100 stärksten Bäume bis zum Alter 100 zu steigern vermögen (Tab. 3, Durchforstungseffekt). Die Auswertung erbringt bei Fichte, Buche, Kiefer und Eiche einen Durchforstungseffekt von 9, 18, 20 bzw. 11 %. Bei starker Freistellung kann das Volumen des Mittelstammes gegenüber dem schwach durchforsteten Bestand demnach um 9 bis 20 % gesteigert werden.

Der Effekt großregionaler Umweltveränderungen lässt sich herleiten, indem das Volumen des Mittelstammes 100-jähriger Bestände mit jenem Volumen verglichen wird, das die in Bayern verwendeten Ertragstafeln für solche Bestände ausweisen. Für den zweiten Vergleich wird also davon ausgegangen, dass die Ertrags-

tafeln frühere gleichbleibende Bedingungen (Steadystate-Bedingungen) abbilden und das gegenwärtig beobachtete Wachstum daran gemessen werden kann. Der Umwelteffekt beträgt bei Fichte, Buche, Kiefer und Eiche 27, 12, 33 bzw. 13 % (Tab. 3, Umwelteffekt). Demnach ist insbesondere bei Fichte und Kiefer der Umwelteffekt auf den Zuwachs wesentlich stärker ausgeprägt als der Durchforstungseffekt.

Die durchschnittlich hohe Zuwachsleistung sollte nicht darüber hinwegsehen lassen, dass aber allmähliche Klimaverschiebungen und vermehrte Stürme gegenwärtig [3, 13, 19] und künftig [1, 3, 4] Produktionsverluste auslösen, wo Arten mehr und mehr in suboptimale Bedingungen geraten. Können Mischbestände solche Produktionsverluste abfangen?

## Risikostreuung und Elastizität durch Mischung

Unter stabilen Umweltbedingungen erbrächten in unseren Breiten auf vielen Standorten Reinbestände aus Fichte oder Douglasie überlegene Zuwachsleistungen. Mischbestände sind unter ungestörten Verhältnissen in der Produktivität oft unterlegen. Wenn die kombinierten Arten um dieselben ökologischen Nischen im Kronen- und Wurzelraum konkurrieren, können negative Wechselwirkungen und Minderleistungen von 30 % die Folge sein [5, 6]. Unter Störungen können sich diese Leistungsrelationen zwischen Rein- und Mischbeständen aber zugunsten von Mischbeständen verschieben. Denn die Kombination mehrerer Arten ist gleichbedeutend mit einer Risikostreuung. Mischbestände sind oft elastischer gegenüber Änderungen der Standortbedingungen. Beispiel dafür gibt das Wachstum von Fichte und Buche auf der Versuchsfläche Schongau 814 (Abb. 3). Auf das Trockenjahr 1976 reagiert die Fichte dort, im Unterschied zur Buche, mit einem drastischen Zuwachsrückgang. In Fichten-Reinbeständen würde das zu empfind-

lichen Produktionsverlusten führen. Im Fichten-Buchen-Mischbestand Schongau 814 kann die aufgrund ihrer ökologischen Nische robustere Buche von der Schwächung oder dem Ausfall der Fichte profitieren.

Das Potenzial von Fichten-Buchen-Mischbeständen, Störungen abzufangen, wird durch Szenariorechnungen mit dem Modell SILVA 2.2 verdeutlicht [6, 7]. Für Fichtenreinbestände im Oberbayerischen Tertiärhügelland (Standorteinheit 203) wird untersucht, wie sich der durchschnittliche Gesamtwuchs (dGZ) unter gegenwärtigen Klimabedingungen bei mäßiger Auslesedurchforstung entwickelt. Abb. 4 (links, schwarz ausgezogene Linie) zeigt den Anstieg des dGZ bis auf ca. 20 VfmD ha<sup>-1</sup> \* a<sup>-1</sup> im Alter von 120 Jahren und einen anschließenden Zuwachsrückgang. Dieser Altersgang der Fichte wird auf Abb. 4 (rechts, schwarz ausgezogene Linie) als 100%-Linie eingesetzt; ihm wird das Wachstum der Fichte bei Klimaveränderungen gegenübergestellt (schwarze punktierte Linie). Eingesteuert wurden ein Anstieg der Temperatur während der Vegetationsperiode um 2 °C, ein Rückgang des Niederschlags in der Vegetationsperiode um 10 % und eine Verlängerung der Vegetationszeit um 10 Tage. Bei diesem Szenario sinkt der dGZ in Fichtenreinbeständen gegenüber der Referenz um etwa 10 % ab. Nach Berechnungen mit SILVA

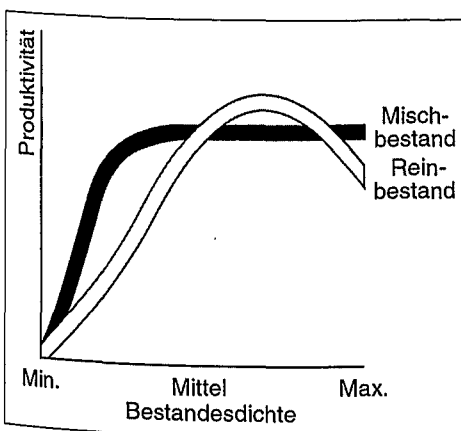


Abb. 5: Der Zusammenhang zwischen Bestandesdichte und Wachstum folgt in Fichten-Reinbeständen (weiß) einer Optimumkurve und in Fichten-Buchen-Mischbeständen (schwarz ausgezogene Linie) einer Sättigungskurve. Bei Entnahmen oder Ausfällen besitzen Mischbestände eine größere Zuwachsresilienz im Vergleich zu Reinbeständen.

2.2 kann eine 30%ige Beimischung von Buchen die klimabedingten Zuwachsverluste der Fichte bei Umtriebszeiten von 100 bis 150 Jahren wettmachen. Eine Beimischung von 70 % Buche (graue, gebrochene Linie) vermag die klimabedingten Zuwachsverluste der Fichte bis zum Alter 150 auszugleichen. Diese Szenariorechnungen zeigen, dass die gegenwärtige Zuwachssteigerung bei stärkeren Klimaänderungen auch in gravierende Zuwachsrückgänge und Verschiebungen der Konkurrenzverhältnisse umschlagen können. Drohenden Zuwachseinbußen kann durch Übergang zu angepassteren Baumarten entgegengewirkt werden.

## Risikovorsorge gegen Sturm durch Mischung?

Unter den Folgen der Klimaänderung sind Stürme von herausragender Bedeutung (vgl. Tab. 2). Die Untersuchungen der Sturmwürfe im Jahr 1990 erbrachten eine klare Rangfolge der Gefährdung Fichte > Kiefer > Buche > Eiche. In Relation zur Eiche (Referenz 1.0) beträgt die Gefährdung der Buche 2.5, jene der Kiefer 4.0 und der Fichte 10 [21-23]. Die im Vergleich zur Eiche 10 mal so hohe Gefährdung der Fichte oder die 4 mal so hohe der Kiefer kann durch Mischung kaum reduziert werden. Denn der Mischungseffekt beschränkt sich im Wesentlichen darauf, dass eine weniger gefährdete Art durch eine risikoreichere ersetzt wird [8, 14, 21]. Darüber hinaus gibt es offenbar kaum stabilisierende Effekte durch Mischung; z. B. lässt sich die Sturmgefährdung der Fichte kaum durch Beimischung von Buchen mindern. Der Anteil der Sturmschadensflächen an der Gesamtholzbodenfläche in Bayern bestätigt die dominante Wirkung der Artenwahl auf die Risikobehaftung [21]. Alle Bestandesformen mit der Beimischung von Fichte sind wesentlich riskanter als solche aus Eiche, Kiefer oder Buche. Die Buchenbeimischung kann das Risiko sogar steigern, wenn durch sie die Rauigkeit des Kronendaches erhöht wird [21]. Gemischte Bestände sind demnach nicht grundsätzlich stabiler gegenüber Sturmwurf; insbesondere bei enger Verzahnung der Baumarten besitzen Mischbestände aber einen anderen Vorteil.

## Belastbarer durch Mischung?

Bei Annäherung an die maximale Dichte zeigen Rein- und Mischbestände aus Fichte und Buche unterschiedliche Reaktionsmuster (Abb. 5): In Fichten-Reinbeständen folgt der Zuwachs einer Optimumkurve mit Maximum bei mittlerer Bestandesdichte. Bei Annäherung an die maximale Bestandesdichte nimmt die Konkurrenz so stark zu, dass sich der Zu-

wachs gegenüber dem maximalen um bis zu 20 % vermindern kann. Demnach können Reinbestände, in denen Stress- und Absterbeprozessen durch weite Ausgangsverbände oder regelmäßige Entnahmen vorgegriffen wird, bis zu 20 % mehr leisten als unbehandelte Bestände. In Fichten-Buchen-Mischbeständen folgt das Reaktionsmuster dagegen einer Sättigungskurve. Diese erreicht bei wesentlich geringerer Dichte einen Maximalwert und hat einen breiten Sattel. Im Vergleich zu Fichten-Reinbeständen können Mischbestände Dichteabsenkungen also besser durch Mehrzuwachs des verbleibenden Bestandes kompensieren. Selbst Dichteabsenkungen bis zu 50 % ziehen kaum Zuwachsverluste nach sich. Andererseits sind bei Annäherung an die maximale Dichte kaum Wachstumseinschränkungen festzustellen [6, 7]. Diese Zuwachsresilienz bewirkt bei Dichteauslenkungen, insbesondere bei enger Verzahnung der Mischbaumarten, dass kalamitätsbedingte Ausfälle mit geringeren Zuwachsverlusten überwunden werden.

## Folgerungen

Gegenwärtig leisten viele Bestände auch ohne jegliche waldbauliche Eingriffe unerwartet hohe Zuwächse. Die in durchforsteten Beständen beobachteten hohen Zuwächse gehen also nicht allein auf den Durchforstungseffekt zurück, sondern sind nach Tab. 3 eine Mischung aus starkem Umwelteffekt (ca. 30 %) und Durchforstungseffekt (10 %). Bleibt die Rolle des Umwelteffektes unberücksichtigt, so läuft man Gefahr, den Durchforstungseffekt zu überschätzen. Abb. 6 verdeutlicht das schematisch am Beispiel von Fichten- und Kiefernbeständen. Dort liegt der Volumen-Mehrzuwachs im Vergleich zu den Erwartungswerten unter Steadystate-Bedingungen bei ca. 30 %. Selbst bei Absenkung der Bestandesdichte von 1,0 auf 0,8 (vertikale Linie) werden noch immer Volumenzuwächse gebildet, die bei 130 bis 140 % der Erwartungswerte liegen. Davon gehen allerdings nur ca. 10 % auf durchforstungsbedingte Anstiege und 30 % auf Umwelteffekte zurück. Eine Überschätzung des Durchforstungseffektes kann zu übermäßigen Eingriffstärken verleiten, die die kritische Dichtehaltung weit unterschreiten und erhebliche flächenbezogene Zuwachsverluste auslösen.

Mischbestände sind unter ungestörten Verhältnissen in der Produktivität häufig unterlegen; über kontinuierliche und abrupte Veränderung von Umweltfaktoren oder Ressourcenangebot (z. B. Temperaturanstieg und Verringerung des Niederschlags bzw. Sturmwurf und Schnebruch) können sie aber mit geringeren Zuwachseinbußen hinwegkommen. Fallen

beispielsweise in Fichten-Buchen-Mischbeständen Fichten durch Einzel-, Nester- oder Kleinflächen-Würfe aus, so kann die beigemischte Buche bei enger Verzahnung der Baumarten in einem gewissen Rahmen Zuwachsverluste abpuffern. Ausschlaggebend für das Abschneiden von Mischbeständen im Vergleich zu Reinbeständen ist letzten Endes die Eintrittswahrscheinlichkeit von Störungen; je höher diese ist, umso vorteilhafter kann eine vorausschauende Mischung von Arten sein. Angesichts zunehmender Störungen der Waldökosysteme durch Stoffeinträge und Klimaänderungen werden die Vorteile der Risikostreuung durch Mischung künftig vermutlich steigen [3, 8].

## Literaturhinweise:

- [1] IPCC, (2001): Climate Change 2001, Synthesis Report. A Contribution of Working Groups I, II and III to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Watson, R. T. and the Core Writing Team (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom, and New York, NY, USA, 398 S. [2] SPIECKER, H.; MIELIKÄINEN, K.; KÖHL, M.; SKOVSGAARD J. P., (Hrsg.) (1996): Growth trends in European forests. Springer-Verlag, 372 S. [3] PRETZSCH et al. (Hrsg.) (2002): German Forest Sector under Global Change. An Interdisciplinary Impact Assessment, German Journal of Forest Science, 121 Jg. 208 S. [4] FABIAN, P.; MENZEL, A. (1998): Wie sehen die Wälder von morgen aus - aus der Sicht eines Klimatologen. Forstw. Cbl., 117 Jg., S. 339-354. [5] KELTY, M. J. (1992): Comparative productivity of monocultures and mixed stands. In: Kelly MJ, Larson BC, Oliver CD (Eds.) The ecology and silviculture of mixed-species forests. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 125-141. [6] PRETZSCH, H. (2004): Diversity and productivity in forests. In: Scherer-Lorenzen, M.; Körner, CH. and Schulze; E.-D. (Hrsg.): Forest diversity and function, Ecol. Studies, Springer, Vol. 176, S. 41-64. [7] PRETZSCH, H. (2003): The elasticity of growth in pure and mixed stands of Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) and common beech (*Fagus sylvatica* L.). Journal of Forest Science, 49 (11): 491-501. [8] DHÔTE, J.-F. (2004): Implication of forest diversity for the resistance to strong winds. In: Scherer-Lorenzen, M.; Körner, CH. and Schulze; E.-D. (Hrsg.): Forest diversity and function, Ecol. Studies, Springer, Vol. 176. [9] MYNENI, R. B.; KEELING, C. D.; TUCKER, C. J.; ASRAR, G.; NEMANI, R. R. (1997): Increased plant growth in the northern high latitudes from 1981 to 1991. Nature, Vol. 386, S. 698-702. [10] RÖTHE, A.; HUBER, Ch.; KREUTZER, K.; WEIS, W. (2002): Deposition and soil leaching in stands of Norway spruce and European beech, Plant and Soil, 240: 33-45. [11] SPANGENBERG, A.; KÖLLING, Ch. (2004): Nitrogen deposition and nitrate leaching at forest edges exposed to high ammonia emissions in Southern Bavaria, Water, Air and Soil Pollution, 152: 233-255. [12] BMVEL (2002): Bericht über den Zustand des Waldes, Ergebnisse des forstlichen Umweltmonitorings, 130 S. [13] THOMASIU, H. (1991): Mögliche Auswirkungen einer Klimaänderung auf die Wälder in Mitteleuropa, Forstw. Cbl. 110. Jg. H. 5, S. 305-330. [14] LÜPKE, B. v.; SPELLMANN, H. (1999): Aspects of stability, growth and natural regeneration in mixed Norway spruce-beech stands as a basis of silvicultural decisions. In: OLSTHOORN, A. F. M., et al. (Hrsg.), Management of mixed-species forest: silviculture and economics, IBN Scientific Contributions, Wageningen, 15: 245 - 267. [15] ZHOU, L.; TUCKER, C. J.; KAUFMANN, R. K.; SLAYBACK, D.; SHABANOV, N. V.; MYNENI, R. B. (2001). Variations in northern vegetation activity inferred from satellite data of vegetation index during 1981 to 1999. J. Geophys. Res., 106(D17): 20069-20083. [16] KAUPPI, P. E.; MIELIKÄINEN, K. and KUUSELA, K., (1992): Biomass and carbon budget of European forests, 1971 to 1990. Science, Bd. 256, S. 70-74. [17] PRETZSCH, H. (1999): Waldwachstum im Wandel, Konsequenzen für Forstwissenschaften und Forstwirtschaft, Forstwiss. Cbl., 118. Jg., S. 228-250. [18] KAUPPI, P. E.; MIELIKÄINEN, K.; KUUSELA, K. (1992): Biomass and carbon budget of European forests, 1971 to 1990. Science, Bd. 256, S. 70-74. [19] KENK, G.; SPIECKER, H.; DIENER, G. (1991): Referenzdaten zum Waldwachstum. Kernforschungszentrum Karlsruhe, KfK-PEF 82, 59 S. [20] PRETZSCH, H. (1989): Zur Zuwachsreaktionskinetik der Waldbestände im Bereich des Braunkohlekraftwerkes Schwandorf in der Oberpfalz, AFJZ, 160. Jg., H. 2/3, S. 43-54. [21] KÖNIG, A. (1999): Risikoorientierter Waldbau, In Fischer, A.; Mössmer, R. (1999 (Hrsg.): Forstliche Forschungsberichte München, S. 136-144. [22] BADEN-WÜRTTEMBERG (1994): Dokumentation der Sturmchäden 1990. Schriftenreihe der Landesforstverwaltung Baden-Württemberg, Stuttgart 75: 1-173. [23] WINTERHOFF, B.; SCHÖNFELDER, E.; HEILIGMANN-BRAUER, G. (1995): Sturmchäden des Frühjahrs 1990 in Hessen, Forsch. Ber. Hess. Landesanst. Forsteinrichtung, Waldforsch. und Waldökologie, Hannoversch Müdensen 20, 176 S.