

---

# Effekt der Mischung auf die Struktur, die Dichte und das Ertragsniveau von Fichtenbeständen

Hans Pretzsch, Peter Biber und Gerhard Schütze

**Schlüsselwörter:** Fichte, Mischbestände, Struktur, Dichte, Ertragsniveau

---

**Zusammenfassung:** Übergreifende Auswertungen zeigen, dass Mischbestände mit Beteiligung der Fichte im Vergleich zu Reinbeständen 10–25 % mehr produzieren können. Im Folgenden zeigen wir, wie sich die Mischung auf die Struktur, die Bestandsdichte und das Ertragsniveau auswirkt. Mischung steigert die Höhenstrukturierung, indem zumeist eine Art etwas beschleunigt, die andere Art gebremst wird. Insgesamt bleibt die Bestandsgröße aber weitgehend unverändert. Eine Mischung der Fichte mit anderen Baumarten kann die Bestandsdichte im Durchschnitt um 10 % (max. 30 %) gegenüber dem gewichteten Mittel benachbarter Reinbestände steigern. Das Ertragsniveau und die Gesamtwuchsleistung können durch Mischung um etwa 15 % bis 20 % erhöht werden. Es werden die Ursachen und waldbaulichen Konsequenzen dieser Effekte der Mischung auf die ertragskundlichen Merkmale von Fichtenmischbeständen diskutiert.

---

Bisherige Untersuchungen zum Zusammenhang zwischen Mischung und Ertrag in Mitteleuropa zeigen, dass Artenmischung den Zuwachs im Vergleich zum gewichteten Mittel benachbarter Reinbestände häufig um 10–30 % erhöht (Piotto 2007; Zhang et al. 2012). Werden Baumarten mit relativ ähnlichen ökologischen Nischen gemischt (z. B. Fichte und Buche, Fichte und Tanne), so liegen die Mehrzuwächse eher im unteren Bereich dieses Rahmens (10 %). In sehr komplementären Mischungen (z. B. Kiefer und Buche, Lärche und Buche) werden höhere Werte erreicht (20–30 %).

Für die Stärke der Mischungseffekte im Hinblick auf den Zuwachs auf Bestandesebene erbrachten die genannten Arbeiten eine zunehmend solide Datenbasis. Dagegen befassen sich nur wenige Untersuchungen mit den Effekten der Mischung auf die mittleren Baumdimensionen (Binkley et al. 2003), die Dichte (Río und Sterba 2009), die Bestandsstruktur (Pretzsch 2014) oder das Einzelbaumwachstum (Río et al. 2014). Grund hierfür ist vor allem die noch immer spärliche Datenbasis von langfristigen Mischbestandsuntersuchun-

gen auch auf unbehandelten Flächen mit maximaler Dichte. Denn solche Flächen sind für die Analyse der Mischungseffekte auf die Dichte, die Gesamtwuchsleistung, die Vornutzungen und das Ertragsniveau unverzichtbar. Um über den Zuwachs hinaus auch ein besseres Verständnis von den Mischungseffekten auf die Bestandsmittelwerte, Summenwerte und ertragskundliche Grundbeziehungen wie Ertragsniveau, Bonität und Regel nach Eichhorn (1902) zu gewinnen, wurde eine übergreifende Analyse durchgeführt. Sie basiert auf langfristigen Mischbestandsversuchen und temporären Versuchsflächen, die verschiedene Zwei-Arten-Mischungen jeweils in Misch- und Reinbeständen repräsentieren und die Entwicklung voll bestockter Bestände, also die maximale Tragfähigkeit, widerspiegeln. Die insgesamt 141 kombinierten Aufnahmen von Mischbeständen und benachbarten Reinbeständen der entsprechenden Arten erbrachten nach Pretzsch et al. (2016) Aussagen zum Mischungseffekt auf (i) die Mittelhöhe und den Mitteldurchmesser, (ii) die Bestandsdichte und den stehenden Vorrat, (iii) die Gesamtwuchsleistung und das allgemeine Ertragsniveau im Vergleich zu Reinbeständen.

## Datenmaterial

In den Mittelpunkt der vorliegenden Untersuchung wurden gleichaltrige und damit im Wesentlichen einschichtige Mischbestände aus zwei Arten gestellt. Insgesamt konnten die neun Artenkombinationen Fichte/Tanne, Fichte/Kiefer, Fichte/Lärche, Fichte/Buche, Fichte/Erle, Kiefer/Buche, Lärche/Buche, Buche/Eiche und Buche/Douglasie einbezogen werden. Für die vergleichenden Analysen von Misch- mit Reinbeständen waren jeweils Kombinationen aus Aufnahmedaten von Misch- und Reinbeständen der entsprechenden Arten auf demselben Standort erforderlich. Weil wir nach der Tragfähigkeit von Mischbeständen im Vergleich zu Reinbeständen und den ertragskundlichen Potenzialen fragten, wurden nur Bestände einbezogen, die möglichst maximale Bestandsdichten repräsentieren und in der Vergangenheit nicht oder nur schwach behandelt worden sind.

Zur Beantwortung der Fragestellungen konnte ein Datensatz aus langfristigen Versuchsfeldern und temporären Probeflächen zusammengestellt werden, der insgesamt 141 Kombinationen aus Aufnahmen von Mischbeständen und benachbarten Reinbeständen der entsprechenden Arten enthält. Davon repräsentieren 79 Kombinationen Versuchsfeldern, von denen neben den aktuellen Bestandsdaten auch die zurückliegenden Entwicklungen und Gesamtwuchsleistungen bekannt sind. Von 62 Kombinationen lagen nur temporäre Aufnahmedaten im mittleren oder fortgeschrittenen Alter vor.

Die Flächen liegen überwiegend in Deutschland, repräsentieren aber auch einige andere Regionen in Mitteleuropa. Sie reichen von Längengrad 3,172° West bis 23,351° Ost und von Breitengrad 41,895° bis 56,153° Nord. Ihre Höhenlage bewegt sich zwischen 20 und 1.715 m ü. N.N. Die mittleren Jahrestemperaturen betragen 4,0 bis 10,5 °C, die jährlichen Niederschläge belaufen sich auf 552 bis 2.400 mm. Die Vegetationszeit, definiert als die Anzahl von Tagen im Jahr mit Mitteltemperaturen über 10 °C, dauert 151 bis 213 Tage.

Im Einzelnen handelt es sich um folgende langfristige Versuchsfeldern und temporären Probeflächen: Allersberg 1012, Alzenau 1015, Arnstein 1021, Bischbrunn 311, Bodenwöhr 1011, Daun 1005, Dießen 777, Ebersberg 1004, EuMixFor 1031, 1032, 1033, 1036, 1037, 1040, 1042, 1043, 1044, 1045, 1047, 1051, 1052, 1054, 1057, 1063, 1070, Freising 1023, Geisenfeld 1016, Gemünden 871, Hain 27, Schlanders/Vinschgau 1000, 2000, 3000, Hirschwald 1006, Kelheim 1022, Kreuth 122, Krumbach 861, Mitterteich 101, Neuburg 841, Pfalz 1007, Ramingstein-Thomatal/Lungau 1–11, Rothenbuch 334, Rohrbrunn 313, 620, 90, Rohrmoos 107, Sachsenried 607, Selb 1013, Schongau 814, Spessart 1003, Starnberg 91, Traunstein 1025, Waldbrunn 105, 106, Walkertshofen 1001, Wasserburg 1024, Weiden 1014, Wieda 114, Wolftratshausen 97, Würzburg 1002 und Zwiesel 111, 134, 135.

Die Flächengrößen liegen zwischen 0,05 ha und 0,6 ha, mit tendenziell eher geringeren Flächen bei den temporären Versuchsfeldern und größeren bei den langfristigen Versuchsfeldern. Detailinformationen und tabellarische Übersichten zu diesen Flächen finden sich bei Pretzsch und Biber (2016).

Dieses Datenmaterial deckt die wichtigsten Zwei-Arten-Mischungen in Mitteleuropa ab. Dennoch bleiben die Informationen über manche Baumartenkom-

binationen (z. B. Fichte/Kiefer, Fichte/Erle, Lärche/Buche) spärlich. Das mittlere Alter der untersuchten Bestände beträgt 80 Jahre. Dass in diesem Alter Mittelhöhen zwischen 10,6 und 52,0 m erreicht werden, spiegelt die große Breite des mit ihnen abgedeckten Standortspektrums wider. Entsprechend breit ist der Wertebereich der Mittelhöhen und Mitteldurchmesser. Die ebenfalls große Spannweite der Baumzahlen (62–5.000 N ha<sup>-1</sup>), Bestandsgrundflächen (7,7–123,5 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup>) und Vorräte (35–2.071 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>) resultiert ebenfalls aus dem breiten Rahmen von Bestandsaltern und Standortbedingungen.

Insbesondere die Extremwerte dürften aber auch auf die eher kleineren Flächengrößen der temporären Probeflächen (minimal 0,05 ha, das heißt, der Hochrechnungsfaktor auf Hektarwerte beträgt 20) und die entsprechend großen Hochrechnungsfaktoren zurückzuführen sein.

## Ergebnisse

### Effekt der Mischung auf die Mittelhöhe und den Mitteldurchmesser

Abbildung 1 zeigt, dass die Mittelhöhen und Mitteldurchmesser in den Mischbeständen über alle untersuchten Artenkombinationen hinweg insgesamt dem gewichteten Mittel der benachbarten Reinbestände ähneln. Im Einzelnen kommt es zu deutlichen Abweichungen. Im Durchschnitt liegen die Mittelhöhen im Mischbestand aber nur um 2 % unter den entsprechenden Dimensionen benachbarter Reinbestände; diese Unterlegenheit ist zwar statistisch signifikant, aber in ihrer Größenordnung nicht bedeutsam. Die Stammdurchmesser und Stammvolumina sind im Mischbestand um durchschnittlich 1 % bzw. 5 % höher als in den benachbarten Reinbeständen. Diese Überlegenheiten gegenüber dem Reinbestand sind aber nicht signifikant.

Für drei ausgewählte Kombinationen mit der Fichte als Mischbaumart (Fichte/Kiefer, Fichte/Lärche, Fichte/Buche), erfolgte der Vergleich zwischen Misch- und Reinbeständen auch auf der Ebene der Artenkombination und der Arten. Ähnlich wie bei der pauschalen artenübergreifenden Analyse zeigen sich auch auf der Ebene dieser einzelnen Artenkombinationen kaum Unterschiede zwischen den mittleren Bestandshöhen und Durchmessern im Misch- gegenüber dem Reinbestand (Tabelle 1, Spalte »Gesamtbestand misch/mono«). Die Analyse zeigt auch, dass geringfügige Vorteile der einen Art in den meisten Fällen durch

Nachteile der anderen Art kompensiert werden (Tabelle 1, Spalten »Fichte misch/mono« und »Art 2« misch/mono), sodass für den Bestand insgesamt keine signifikanten Differenzen zwischen Misch- und Reinbestand bestehen.

**Effekt der Mischung auf die Bestandsdichte und den stehenden Vorrat**

Ähnlich wie bei der Mittelhöhe und dem Mitteldurchmesser streuen die einzelnen Versuchflächen in ihren Dichten und Vorräten in breitem Rahmen. Abbildung 2 zeigt, dass dabei die Mehrzahl der Beobachtungswerte oberhalb der 1:1-Linie liegt. Im Mittel über

die neun betrachteten Artenkombinationen liegen die Baumzahlen (+22 %), Bestandsgrundflächen (+12 %), Bestandsdichtewerte (+16 %) und Vorräte (+8 %) in Mischbeständen im Mittel signifikant ( $p < 0,05$ ) höher als das gewichtete Mittel der benachbarten Reinbestände. Die Baumartenmischung steigert also weniger das Größenwachstum der Einzelbäume, sondern erhöht die Packungsdichte auf der Fläche.

Abbildung 3 zeigt die Dichte in Mischbeständen im Vergleich zum gewichteten Mittel benachbarter Reinbestände gesondert für alle Artenkombinationen. Die Dichten der Fichtenmischbestände liegen im Mittel zwischen 4 % (Fichte/Buche) und 36 % (Kiefer/Buche)

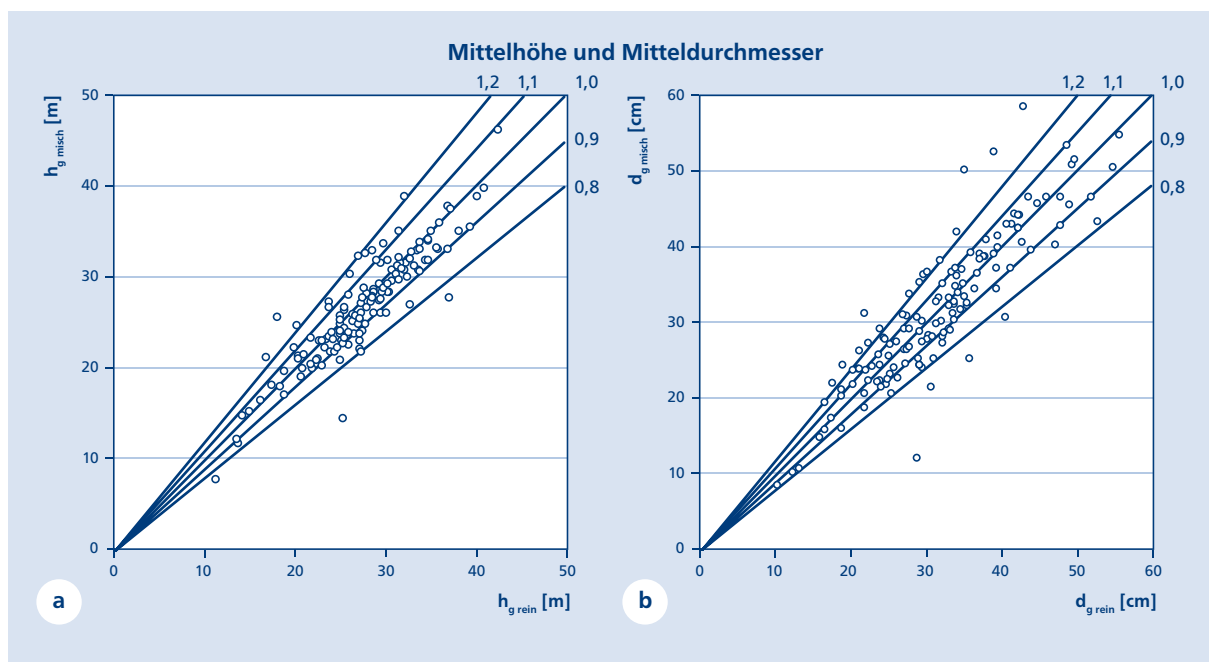


Abbildung 1: Mittelhöhe (a) und Mitteldurchmesser (b) der Bäume im Mischbestand unterscheiden sich im Mittel kaum von den entsprechenden Mittelwerten der benachbarten Reinbestände. Punkte nahe der Winkelhalbierenden (1,0-Linie) zeigen an, dass die Mittelwerte im Mischbestand denen der gewichteten Mittelwerte in den benachbarten Reinbeständen ähnlich sind.

Variablen	Artenkombination	n	Fichte misch/mono (± SE)	Art 2 misch/mono (± SE)	Gesamtbestand misch/mono (± SE)
Mittelhöhe $h_g$ [m]	Fichte/Kiefer	7	<b>0,86 (± 0,06)</b>	1,05 (± 0,03)	0,94 (± 0,04)
	Fichte/Lärche	10	0,71 (± 0,31)	1,07 (± 0,10)	0,95 (± 0,10)
	Fichte/Buche	52	1,01 (± 0,01)	0,99 (± 0,02)	1,00 (± 0,01)
Mitteldurchmesser $d_g$ [cm]	Fichte/Kiefer	7	0,82 (± 0,09)	1,03 (± 0,03)	0,89 (± 0,05)
	Fichte/Lärche	10	0,74 (± 0,21)	1,11 (± 0,08)	1,08 (± 0,13)
	Fichte/Buche	28	<b>1,12 (± 0,02)</b>	<b>0,95 (± 0,02)</b>	1,05 (± 0,02)

Tabelle 1: Mittelhöhe ( $h_g$ ) und Mitteldurchmesser ( $d_g$ ) im Mischbestand in Relation zum Reinbestand, gesondert für die Artenkombinationen Fichte/Kiefer, Fichte/Lärche und Fichte/Buche. Quotienten über/unter 1,00 zeigen eine Über-/Unterlegenheit der Mischbestände gegenüber benachbarten Reinbeständen an. Fett gedruckte Quotienten zeigen signifikante ( $p < 0,05$ ) Unterschiede zwischen Misch- und Reinbeständen an.

über dem gewichteten Mittel benachbarter Reinbestände. Von den Mischungen mit Beteiligung der Fichte erreicht die Kombination Fichte/Lärche mit 29% ( $p < 0,01$ ) die größte Überlegenheit gegenüber entsprechenden Reinbeständen.

**Effekt der Mischung auf die Gesamtwuchsleistung und das allgemeine Ertragsniveau**

Weil die Quantifizierung der Gesamtwuchsleistung (Summe aus bei einer Aufnahme stehendem Vorrat und aller Vornutzungen seit Bestandsbegründung bis zur Aufnahme) langfristige Versuche bedarf und die

se in Mischbeständen eher rar sind, war bisher wenig darüber bekannt wie Mischbestände gegenüber Reinbeständen in der Gesamtwuchsleistung abschneiden. Abbildung 4 zeigt in dieser Hinsicht eine tendenzielle Überlegenheit der in diese Untersuchung einbezogenen Mischbestände gegenüber den Reinbeständen. Demnach übertreffen die neun untersuchten Artenkombinationen das gewichtete Mittel benachbarter Reinbestände im Durchschnitt signifikant ( $p < 0,01$ ) um 12%. Die Überlegenheit der Mischbestände in der Gesamtwuchsleistung ist also etwas größer als die ihres Vorrates (+8%,  $p < 0,01$ ).

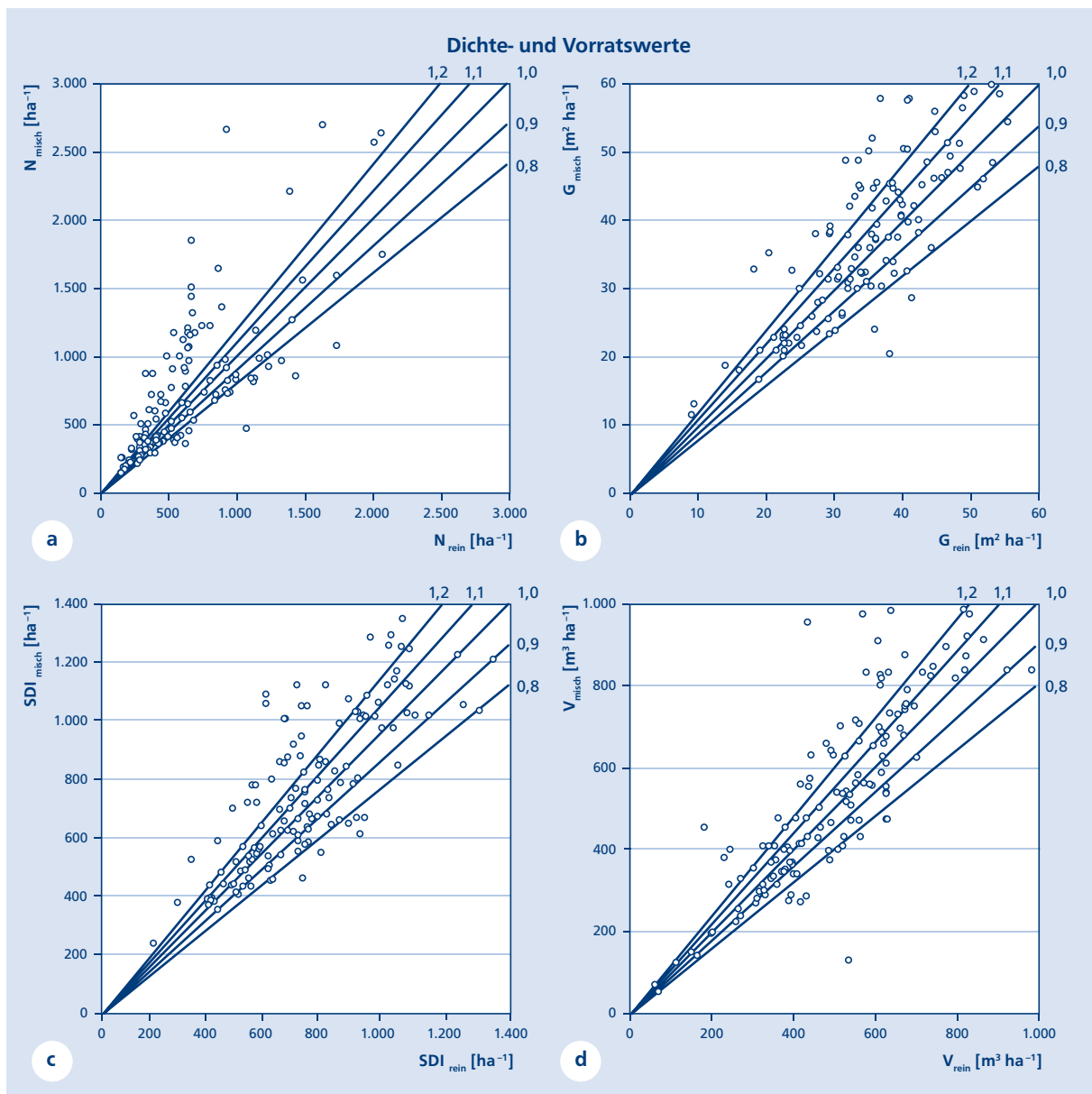


Abbildung 2: Baumzahl (a), Bestandsgrundfläche (b), Bestandsdichteindex (c) und stehender Vorrat (d) der Mischbestände liegen häufig deutlich über den entsprechenden Dichte- und Vorratswerten benachbarter Reinbestände. Punkte nahe der Winkelhalbierenden (1,0-Linie) zeigen an, dass die Dichte- und Vorratswerte im Mischbestand ähnlich sind wie das gewichtete Mittel der benachbarten Reinbestände.

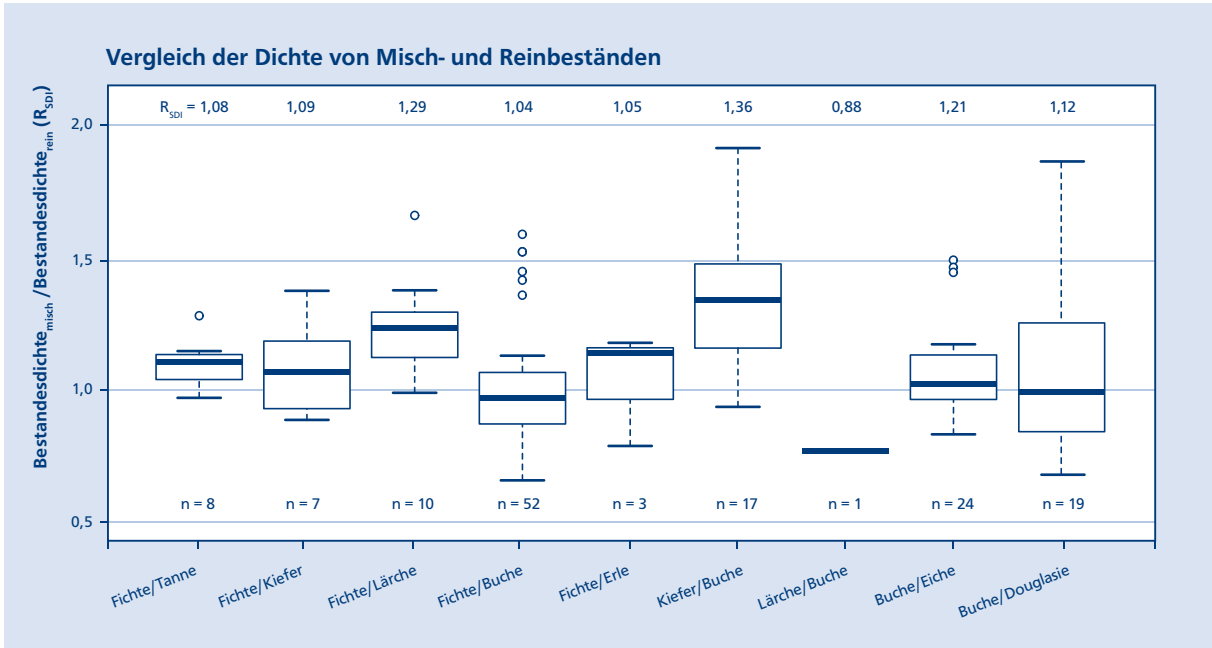


Abbildung 3: Die Quotienten Bestandesdichte in Mischbeständen/Bestandesdichte in Reinbeständen ( $R_{SDI}$ ) zeigen überwiegend Werte  $> 1$ , das heißt überlegene Dichten für Mischbestände an. Eine besonders deutliche, signifikante Überlegenheit besteht mit 29 % bei der Mischung aus Fichte und Lärche ( $p < 0,01$ ). Die Berechnung der Dichte basiert auf dem Stand Density Index nach Reineke (1933) (siehe Pretzsch und Biber 2016).

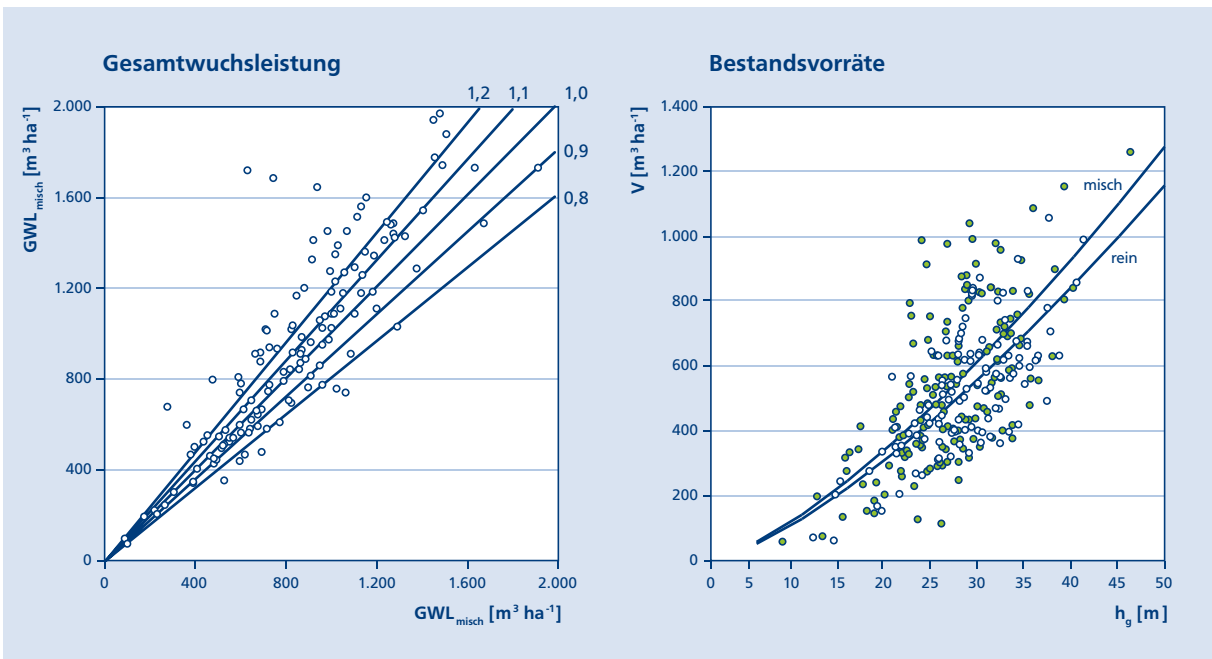


Abbildung 4: Die Gesamtwuchsleistung in Mischbeständen übertrifft im Durchschnitt das Niveau benachbarter Reinbestände. Punkte nahe der Winkelhalbierenden (1,0-Linie) zeigen an, dass die Gesamtwuchsleistungen im Misch- und Reinbestand ähnlich sind. Punkte oberhalb der Winkelhalbierenden zeigen eine Überlegenheit der Mischbestände an.

Abbildung 5: Darstellung der Bestandsvorräte  $V$ , über der Mittelhöhe,  $h_g$ , in den Reinbeständen (leere Symbole) im Vergleich zu benachbarten Mischbeständen (ausgefüllte Symbole). Den Regressionslinien liegt folgendes Modell zugrunde:

$$\ln(V) = 1,13 (\pm 0,282) + 1,526 (\pm 0,085) \times \ln(h_g) + 0,086 (\pm 0,041) \times \text{misch}$$

(misch = 0 für Reinbestände und misch = 1 für Mischbestände ( $n = 282$ ,  $R^2 = 0,536$ ,  $p < 0,001^{***}$ , Werte in Klammern bezeichnen die Standardfehler der jeweiligen Parameterschätzwerte).

Variablen	Artenkombination	n	Fichte misch/mono (± SE)	Art 2 misch/mono (± SE)	Gesamtbestand misch/mono (± SE)
$V_{hg20}$ [m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> ]	Fichte/Kiefer	7	<b>1,19 (± 0,07)</b>	<b>1,38 (± 0,04)</b>	<b>1,22 (± 0,04)</b>
	Fichte/Lärche	10	1,84 (± 0,94)	1,32 (± 0,19)	1,43 (± 0,31)
	Fichte/Buche	52	1,07 (± 0,04)	1,05 (± 0,04)	1,05 (± 0,03)
$GWL_{hg20}$ [m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> ]	Fichte/Kiefer	5	<b>2,10 (± 0,29)</b>	<b>1,43 (± 0,16)</b>	<b>1,31 (± 0,04)</b>
	Fichte/Lärche	6	1,26 (± 0,36)	<b>1,37 (± 0,18)</b>	1,55 (± 0,40)
	Fichte/Buche	32	1,01 (± 0,06)	<b>1,11 (± 0,05)</b>	<b>1,07 (± 0,03)</b>

Tabelle 2: Vorrat bei Mittelhöhe 20 m,  $V_{hg20}$ , und Gesamtwuchsleistung bei Mittelhöhe 20 m,  $GWL_{hg20}$ , im Mischbestand (misch) in Relation zum Reinbestand (mono), gesondert für die Artenkombinationen Fichte/Kiefer, Fichte/Lärche und Fichte/Buche. Liegen die Quotienten zwischen misch und mono über/unter 1,00, so deuten sie auf eine Über-/Unterlegenheit der Eichhorn'schen Beziehung bzw. des allgemeinen Ertragsniveaus in Mischbeständen gegenüber benachbarten Reinbeständen hin. Fett gedruckte Quotienten zeigen signifikante ( $p < 0,05$ ) Unterschiede zwischen Misch- und Reinbeständen an.

Abbildung 5 zeigt die in den Mischbeständen (graue Kreise) und Reinbeständen (weiße Kreise) gemessenen Vorräte über der Mittelhöhe und die Eichhorn'sche Beziehung zwischen Vorrat  $V$  und Mittelhöhe  $h_g$  als Ergebnis einer Regressionsanalyse. Das im Abbildungstext gezeigte Regressionsmodell ergibt in delogarithmierter Form  $V = e^{1,13} \times h_g^{1,526} \times e^{0,086 \times misch}$ , wobei für Mischbestände  $misch = 1$  gilt, so dass  $e^{0,086 \times misch} = 1,09$ . Gegenüber dem Reinbestand liegt die Eichhorn'sche Beziehung im Mischbestand nach dieser Auswertung also um etwa 9% höher.

Die auf eine Standardhöhe von 20 m bezogenen Vorräte  $V_{hg20}$  und Gesamtwuchsleistungen  $GWL_{hg20}$  untermauern das überlegene Niveau der Mischbestände in den  $V_{hg20}$ - und  $GWL_{hg20}$ -Beziehungen. Tabelle 2 zeigt für die Fichtenmischbestände deutliche Anhebungen der Eichhorn'schen Beziehung ( $V_{hg20}$ ) und des allgemeinen Ertragsniveaus ( $GWL_{hg20}$ ). Das gilt sowohl für die Ebene der Baumart, als auch für den Bestand insgesamt. Die hinsichtlich der Lichtökologie besonders komplementären Artenkombinationen (z. B. Fichte/Lärche, Fichte/Kiefer) zeigen tendenziell größere Anhebungen der  $V_{hg}$ - und  $GWL_{hg}$ -Relation als die weniger komplementären Artenkombinationen (z. B. Fichte/Tanne, Buche/Douglasie). Über alle untersuchten Kombinationen hinweg und auf die Standardhöhe 20 m bezogen beträgt die mischungsbedingte Anhebung der Eichhorn'schen Beziehung 16% ( $p < 0,01$ ) und die des allgemeinen Ertragsniveaus 21% ( $p < 0,001$ ).

## Diskussion

### Gleiche Höhenleistung, aber Anhebung der maximalen Dichte und des Ertragsniveaus durch Baumartenmischung

Für einige weit verbreitete Baumartenmischungen konnte gezeigt werden, dass sie die Mittelhöhe im Vergleich zu Reinbeständen nur geringfügig verändern, die Bestandsdichte und das Ertragsniveau aber deutlich anheben können. Der Untersuchung liegen voll bestockte Bestände zugrunde, so dass aus den Ergebnissen auf eine erhöhte Tragfähigkeit von Mischbeständen im Vergleich zu benachbarten Reinbeständen geschlossen werden kann.

Durch die Mischung kann eine Art, z. B. die in der Jugend schneller wüchsige Kiefer, zwar zeitweilig im Höhenwachstum gefördert, und die andere Art, z. B. die eher später kulminierende Buche, in der Entwicklung abgebremst werden. Das bedeutet, dass eine Art auf Kosten der anderen höher werden kann (Pretzsch et al. 2015). Die mittlere Bestandshöhe wird dadurch aber kaum verändert. Es konnte also keine Steigerung der Höhenwuchsleistung und Bonitätserhöhung festgestellt werden, wie sie etwa nach Düngungsmaßnahmen festzustellen ist (Foerster 1990).

Trotz etwa gleichbleibender Höhenleistung äußert sich die Mischung aber in einer signifikanten Erhöhung des Bestandsvolumens bei gegebener Höhe (Eichhorn'sche Beziehung, im Mittel +16%) und des allgemeinen Ertragsniveaus (im Mittel +21%).

Der Anstieg des Ertragsniveaus um circa 20% entspricht etwa der Relation zwischen dem mittleren und oberen Ertragsniveau, die Assmann (1961) für Fichten- und Buchenreinbestände gezeigt hat. Assmann (1961, S. 164–174) führt den Anstieg von Vorrat und GWL bei

gegebener Höhe und Bonität auf Verbesserungen der Wasserversorgung wegen erhöhter Wasserspeicherkapazität der Böden zurück. Im Fall der hier jeweils kombinierten Rein- und Mischbestände bestehen aber keine Unterschiede im Hinblick auf die Wasserspeicherkapazität; vielmehr sind die großregionalen sowie lokalen Wuchsbedingungen weitgehend gleich. Unterschiede dürften daher eher in der Aufnahme und Nutzungseffizienz der Ressourcen Licht und Wasser bestehen (Forrester 2014; Forrester und Albrecht 2014).

### **Mischung als zugwachssteigernde waldbauliche Maßnahme**

Mischbestände können viele Waldfunktionen und -leistungen wie z. B. Stabilität (Griess und Knoke 2011), Habitat- und Biodiversität (Tews et al. 2004) oder Ästhetik- und Erholungsfunktionen (Stölb 2005) häufig besser erbringen als Reinbestände. Die vorliegende Untersuchung unterstreicht, dass durch Mischung komplementärer Baumarten auch eine dauerhafte Erhöhung von Zuwachs und Dichte erreicht werden kann. Die Mischungseffekte fallen bei einer Kombination von Licht- mit Schattenbaumarten, Koniferen mit Laubbaumarten oder Pionier- mit Klimaxbaumarten besonders deutlich aus. Dieser Vorteil entsteht aus der überlegten Kombination von Baumarten, die die verfügbaren Ressourcen aufgrund ihrer ökologischen Komplementarität besser aufnehmen oder effizienter nutzen. Die Voraussetzung für die Ausschöpfung des Potentials von Mischbeständen im Sinne einer Erhöhung der Produktivität oder Dichte ist ökologisches Wissen, wie es dieser Beitrag vermitteln möchte. Im Vergleich zu anderen waldbaulichen Maßnahmen wie Durchforstung, Düngung oder Astung bildet die Baumartenmischung eine besonders effiziente Maßnahme zur Verbesserung der Funktionen und Leistungen von Wäldern.

### **Praktische Relevanz der Ergebnisse**

Bei Bestandsaufnahmen und Betriebsinventuren erfolgt die Vorratsermittlung häufig über Bonitierung der Bestände und Abgriff ihres Vorrats aus Tabellenwerken in Abhängigkeit von Alter und Höhe der Bestände. Die entsprechenden Tafelwerke wurden durchweg für Reinbestände entwickelt und repräsentieren demnach auch die Eichhorn'sche Beziehung und das Ertragsniveau von Reinbeständen. Bei ihrer Anwendung für die Vorratsschätzung von Mischbeständen, in welchen die genannten Beziehungen auf höherem Niveau liegen können, sollten die aus der Ertragstafel abgegriffenen Werte ( $Vorrat_{ET}$ ) deshalb mit dem Bestockungsgrad korrigiert werden ( $Vorrat_{geschätzt} = Vorrat_{ET} \times BG_G$ ). Der

grundflächenbezogene Bestockungsgrad ( $BG_G$ ) lässt sich besonders einfach über Winkelzählproben in dem betreffenden Bestand ermitteln ( $BG_G = G_{WZP}/G_{ET}$ ), wobei  $G_{WZP}$  und  $G_{ET}$  für die Bestandesgrundflächen aus der Winkelzählprobe bzw. Ertragstafel stehen. Auf Basis von Ertragstafeln ermittelte Vorräte sollten dann nach Ermittlungen des Bestockungsgrads bei überlegenen Dichten der Mischbestände auf wirklichkeitsnähere Dichte mit dem gemessenen Bestockungsgrad ( $BG_G = G_{WZP}/G_{ET} > 1.0$ ) erhöht werden.

Die Erhöhung der Tragfähigkeit durch Baumartenmischung ist eine wichtige Information, die in die Entwicklung von waldbaulichen Pflegerichtlinien einfließen sollte (Schütz und Zingg 2010). Werden für Mischbestände, wie bisher üblich, dieselben maximalen Bestandsdichten wie für Reinbestände unterstellt, und erfolgen in ihnen ähnliche Dichteabsenkungen im Zuge von Durchforstungen wie in Reinbeständen, dann besteht die Gefahr suboptimaler Dichtehaltung. Die Tragfähigkeit könnte dann durch zu starke Dichteabsenkungen nicht voll ausgeschöpft werden und es könnten Produktionsverluste entstehen. Die Mischungseffekte würden quasi durch Unterschreitung der zugwachs optimalen Dichte eliminiert. Die gezeigte erhöhte Tragfähigkeit erlaubt vielmehr höhere Stammzahlhaltungen und höhere Anzahlen von Z- oder Ausleseebäumen als in Reinbeständen.

### **Danksagung**

Dank geht an das Bayerische Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten für die Unterstützung des Projektes W07 »Betreuung der langfristigen ertragskundlichen Versuchsflächen« und an die Europäische Union für die Förderung der COST Action FP1206 EuMIXFOR, durch welche einige der Rein- und Mischbestände für diese Untersuchung verfügbar wurden. Dank gilt außerdem Martin Nickel und Leonhard Steinacker für die Zusammenstellung der Daten und Ulrich Kern für die Anfertigung der Grafiken.



## Literatur

- Assmann, E. (1961): Waldertragskunde. Organische Produktion, Struktur, Zuwachs und Ertrag von Waldbeständen. BLV Verlagsgesellschaft, München, Bonn, Wien, 490 S.
- Binkley, D.; Senock, R.; Bird, S.; Cole, T.; G. (2003): Twenty years of stand development in pure and mixed stands of *Eucalyptus saligna* and nitrogen-fixing *Facaltaria moluccana*. *Forest Ecology and Management*, 182(1), S. 93–102
- Eichhorn, F. (1902): Ertragstafeln für die Weißtanne. Verlag Julius Springer, Berlin, 81 S. + annex
- Foerster, W. (1990): Zusammenfassende ertragskundliche Auswertung der Kiefern-Düngungsversuchsflächen in Bayern. *Forstl Forschungsber München* 105, S. 1–328
- Forrester, D. I. (2014): The spatial and temporal dynamics of species interactions in mixed-species forests: from pattern to process. *Forest Ecology and Management*, 312: S. 282–292
- Forrester, D. I.; Albrecht, A. T. (2014): Light absorption and light-use efficiency in mixtures of *Abies alba* and *Picea abies* along a productivity gradient. *Forest Ecology and Management*, 328, S. 94–102
- Griess, V. C.; Knoke, Th. (2011): Growth performance, windthrow, and insects: meta-analyses of parameters influencing performance of mixed-species stands in boreal and northern temperate biomes. *Canadian Journal of Forest Research* 41: S. 1141–1159
- Piotto, D. (2008): A meta-analysis comparing tree growth in monocultures and mixed plantations. *Forest Eco Mngt* 255: S. 781–786
- Pretzsch, H. (2014): Canopy space filling and tree crown morphology in mixed-species stands compared with monocultures. *Forest Ecology and Management*, 327: S. 251–264
- Pretzsch, H.; Schütze, G.; Biber, P. (2016): Zum Einfluss der Baumartenmischung auf die Ertragskomponenten von Waldbeständen. *Allgemeine Forst- und Jagdzeitung* 187 (7/8): S. 122–135
- Pretzsch, H.; Biber, P. (2016): Tree species mixing can increase maximum stand density. *Canadian Journal of Forest Research*, 46(10), S. 1179–1193
- Pretzsch, H.; Forrester, D. I.; Rötzer, T. (2015): Representation of species mixing in forest growth models. A review and perspective. *Ecological Modelling*, 313, S. 276–292
- Pretzsch, H.; del Río, M.; Ammer, Ch.; Avdagic, A.; Barbeito, I.; Bielak, K.; Brazaitis, G.; Coll, L.; Dirnberger, G.; Drössler, L.; Fabrika, M.; Forrester, D. I.; Godvod, K.; Heym, M.; Hurt, V.; Kurylyak, V.; Löf, M.; Lombardi, F.; Matovič, B.; Mohren, F.; Motta, R.; den Ouden, J.; Pach, M.; Ponette, Q.; Schütze, G.; Schweig, J.; Skrzyszewski, J.; Sramek, V.; Sterba, H.; Stojanovič, D.; Svoboda, M.; Vanhellefont, M.; Verheyen, K.; Wellhausen, K.; Zlatanov, T.; Bravo-Oviedo, A. (2015): Growth and yield of mixed versus pure stands of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) and European beech (*Fagus sylvatica* L.) analysed along a productivity gradient through Europe. *Eur J Forest Res*, 134 (5): S. 927–947
- Reineke, L. H. (1933): Perfecting a stand-density index for even-aged forests. *J Agr Res* 46: S. 627–638
- Río, M. D.; Schütze, G.; Pretzsch, H. (2014): Temporal variation of competition and facilitation in mixed species forests in Central Europe. *Plant Biology*, 16(1): S. 166–176
- Río, del, M.; Sterba, H. (2009): Comparing volume growth in pure and mixed stands of *Pinus sylvestris* and *Quercus pyrenaica*. *Annals of Forest Science*, 66(5): S. 1–11
- Schütz, J. P.; Zingg, A. (2010): Improving estimations of maximal stand density by combining Reineke's size-density rule and the yield level, using the example of spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) and European Beech (*Fagus sylvatica* L.). *Annals of forest science*, 67(5): S. 507
- Stölb, W. (2005): Waldästhetik: über Forstwirtschaft, Naturschutz und die Menschenseele. Kessel, 400 S.
- Tews, J.; Brose, U.; Grimm, V.; Tielbörger, K.; Wichmann, M. C.; Schwager, M.; Jeltsch, F. (2004): Animal species diversity driven by habitat heterogeneity/diversity: the importance of keystone structures. *Journal of biogeography*, 31(1): S. 79–92
- Zhang, Y.; Chen, H. Y.; Reich, P. B. (2012): Forest productivity increases with evenness, species richness and trait variation: a global meta-analysis. *Journal of Ecology*, 100(3): S. 742–749

**Keywords:** Norway spruce, mixed stands, structure, stand density, yield level

**Summary:** It is known from overarching analyses that mixed forest stands with Norway spruce can produce about 10-25 % more than monospecific stands. In this article we show how mixture influences stand structure, stand density and the yield level. Species mixture results in a more diverse height structure, usually due to one species being accelerated while the other one is slowed down in its height growth. Hereby however, the overall stand height stays mostly unaffected. When Norway spruce is mixed with other species, stand density can increase by 10 % in average (max. 30 %) related to the weighted mean density of neighboring monospecific stands. Similarly, yield level and total volume production is by 15 % to 20 % higher in mixed stands. We discuss causes and silvicultural consequences of these species mixing effects.