



DEUTSCHER VERBAND
FORSTLICHER FORSCHUNGSANSTALTEN

Sektion Ertragskunde

2014

Tagungsbericht



Jahrestagung
02. - 04. 06. 2014
Lenzen an der Elbe

Brandenburg

Analyse der Produktivität von Kiefer (*Pinus sylvestris* L.) und Fichte (*Picea abies* (L.) Karst.) im Rein- und Mischbestand auf Basis temporärer Versuchsflächen in Bayern

Klaas Wellhausen

Lehrstuhl für Waldwachstumskunde, TU München

1 Zusammenfassung

In der vorliegenden Untersuchung wird die Produktivitätsrelation von etwa 70-jährigen Kiefern und Fichten im Rein- und Mischbestand untersucht. Datengrundlage bilden sechs neu angelegte temporäre Versuche auf schwach lehmigen Sandstandorten in Bayern. Jeder Versuch (Triplett) umfasst je eine Reinbestandsparzelle mit Kiefer und eine mit Fichte sowie eine Parzelle mit den beiden Baumarten in einzelstammweiser Mischung. Die Versuchspartellen wurden im Jahr 2013 angelegt und der Baumbestand mit waldbaukundlichen Standardmethoden erfasst. An über der Hälfte der Bäume wurden jeweils zwei Bohrspäne entnommen und zusätzlich von etwa 180 Bäumen sektionsweise Stammscheiben gewonnen und die Höhenentwicklung auf Basis von Triebblängenrückmessungen analysiert. Auf Basis dieser Proben und Messdaten wurde die Durchmesser- und Höhenentwicklung der Bestände nachgebildet und der zehnjährige jährliche Volumenzuwachs (Vorratsfestmeter mit Rinde) für drei Aufnahmezeitpunkte 1993, 2003 und 2013 rekonstruiert. Vergleicht man den Volumenzuwachs von Kiefer und Fichte über alle Bestandestypen hinweg, so zeigt sich, dass die Baumart Fichte im Untersuchungszeitraum mit $18,9 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}\text{a}^{-1}$ gegenüber der Kiefer mit $14,4 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}\text{a}^{-1}$ einen um etwa 31% höheren Zuwachs leistet und in den Reinbeständen mit fast $503 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}$ auch einen um etwa 27% höheren Vorrat aufweist (Kiefer $396 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}$). Vergleicht man Rein- und Mischbestände miteinander, so zeigt sich, dass der Zuwachs bei der Baumart Fichte im Mischbestand mit $19,9 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}\text{a}^{-1}$ gegenüber dem Reinbestand mit $17,9 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}\text{a}^{-1}$ deutlich höher ausfällt. Bei der Kiefer ergeben sich dahingegen nahezu keine Zuwachsunterschiede. Normiert man das Zuwachsniveau der Baumarten jeweils am korrespondierenden Reinbestand, so zeigt insbesondere die Baumart Fichte Mehrzuwächse von rund 12,2%. Das entspricht einem absoluten Mehrzuwachs von rund $2,2 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}\text{a}^{-1}$. Bei der Baumart Kiefer zeigt sich ein rechnerischer Minderzuwachs von rund -1%. Zusammen ergibt sich für die untersuchten Mischbestände ein Mehrzuwachs von etwa 5,8% beziehungsweise knapp $1,0 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}\text{a}^{-1}$. Nach ersten Analysen ist die Mischungsreaktion dabei von der Standortgüte (Höhenbonität beziehungsweise prognostizierte Höhe im Alter 100) abhängig. Die relative Mehrproduktion im Mischbestand nimmt bei der Fichte mit zunehmender Bonität zu, wohingegen die der Kiefer abnimmt. Hinweise auf diese relativen Mehrzuwächse liefern dabei insbesondere die höheren Bestandesdichten der Baumart Fichte in Mischung.

2 Einleitung

Die Waldkiefer (*Pinus sylvestris* L.) verfügt über ein großes klimatisch heterogenes Hauptverbreitungsgebiet von Nordskandinavien und Russland bis in das südliche Frankreich. Hinzu kommen „Inselvorkommen“ in Spanien, Frankreich, Italien, Schottland und auf dem Balkan, die sich in ihrer genetischen Ausstattung aber zum Teil deutlich von den Hauptvorkommen unterscheiden (PRUS-GLOWACKI et al. 2012, TAEGER et al. 2013). Das Hauptverbreitungsgebiet der Kiefer überschneidet sich in weiten Teilen mit dem Vorkommen der Baumart Fichte (*Picea abies* (L.) Karst.) (EUFORGEN 2008, 2013).

Mit Blick auf das Gesamtverbreitungsgebiet der Kiefer, liegt Bayern zwar am südwestlichen Rand der Hauptvorkommen, weist aber gemäß der Bundeswaldinventur 3 mit 417.000 Hektar fast ein Fünftel der gesamten Kiefernfläche der Bundesrepublik Deutschland auf (BMEL 2014, LWF 2014). Nach der Stichprobeninventur im Bayerischen Staatswald kommt die Kiefer inzwischen häufig in Mischbeständen vor, dabei zu überwiegenden Anteilen in Mischung mit Fichte. Nach den waldbaulichen Leitlinien für den bayerischen Staatswald sollen die Baumarten Fichte und Kiefer auch weiterhin eine wichtige Rolle am Waldaufbau spielen. Dabei wird dem Aufbau von Mischbeständen eine besondere Bedeutung beigemessen (BAYSF 2014 u. 2009).

Auch wissenschaftliche Untersuchungen und Theorien heben die Bedeutung und Vorteile von Artmischungen hervor (HARPER 1977, KELTY 1992, MORIN et al. 2011, OLSTHOORN et al. 1999, PIOTTO 2008, SCHERER-LORENZEN 2005, VANDERMEER 1989). Positive Wechselwirkungen in Mischbeständen

werden dabei unter anderem auf folgende Ursachen zurückgeführt: komplementäre ober- und unterirdische Raumbesetzung, abweichende baumartenspezifische jahreszeitliche Phänologie sowie Veränderung des Bestandesinnenklimas und Stoffumsatzes. Idealtypisch führen diese Ursachen zu einer erhöhten Bereitstellung und Ausschöpfung von Licht-, Wasser- und Nährstoffressourcen und damit zu einer höheren Produktivität und gegebenenfalls auch zu einer verbesserten Stabilität und Habitatqualität von Mischbeständen.

Zur vergleichenden Beschreibung und Analyse des Wachstums von Rein- und Mischbeständen sind neben Inventurdaten (CONDES et al. 2013, del RIO und STERBA 2009, VALLET und PERÓT 2011) insbesondere langfristige Versuchsflächen von hohem Wert (BIELAK 2013, KELTY 1992). Auf Basis von langfristigen Versuchsflächen können die Bestandes- und Behandlungsgeschichte idealerweise über einen langen Zeitraum nachvollzogen werden. Grundvoraussetzung hierbei ist allerdings dass die betrachteten Untersuchungskollektive in ihrem Aufbau und in ihren standörtlichen Verhältnissen miteinander vergleichbar sind. Für nachstehende Baumartenmischungen konnten so Mischungsreaktionen auf Basis langfristiger Versuchsflächen untersucht werden: Eiche-Buche (PRETZSCH et al. 2013a, del RIO 2013), Fichte-Buche (KENNEL 1965, von LÜPKE und SPELLMANN 1999, PRETZSCH und SCHÜTZE 2009b, PRETZSCH et al. 2010) und Kiefer-Birke beziehungsweise Fichte-Birke (MIELIKAINEN 1980, 1985).

Zum Vergleich des Wachstums von Kiefer und Fichte im Rein- und Mischbestand gibt es dahingegen nur wenige Untersuchungen (BIELAK et al. 2014, BIELAK 2013, KÜSTERS et al. 2004, PRETZSCH et al. 2002, 2013b), die zum Teil auch nur Einzelfallstudien widerspiegeln (LINDEN und AGESTAM 2003, MASON und CONNOLLY 2013). Grundproblem all dieser Untersuchungen ist es, dass insgesamt nur wenige langfristige Versuche zur Verfügung stehen, die sowohl Mischbestände als auch Reinbestände beider Baumarten abdecken und zugleich oben genannten Anforderungen genügen. Vor diesem Hintergrund wird in der vorliegenden Untersuchung die Zuwachsrelation der Baumarten Kiefer und Fichte im Rein- und Mischbestand auf Basis von sechs neuangelegten temporären Versuchen (Tripletts) untersucht. Das Versuchsdesign orientiert sich dabei an den Untersuchungen von KENNEL (1965), PRETZSCH (2009b) und LÉBOURGEOIS (2013). Die Untersuchungsflächen wurden entlang eines klimatischen Gradienten in den Hauptverbreitungsgebieten von Kiefern-Fichten-Mischbeständen in Bayern angelegt. Im vorliegenden Beitrag werden das Untersuchungskonzept sowie erste Ergebnisse der Bohrkern- und Stammscheibenanalysen mit Blick auf folgende Fragestellungen vorgestellt:

- i. Wie verhält sich die Zuwachsrelation der beiden Baumarten Kiefer und Fichte auf dem ausgewählten Standortspektrum (Baumartenvergleich)?
- ii. Unterscheidet sich die Produktivität der beiden Baumarten im Mischbestand von deren Produktivität im Reinbestand (Bestandestypenvergleich)?
- iii. Sind etwaige Unterschiede in der Produktivität der untersuchten Mischbestände von der Standortgüte abhängig (Bonitätsvergleich)?
- iv. Äußern sich etwaige Produktivitätsunterschiede zwischen Rein- und Mischbeständen in unterschiedlichen Bestandesdichten (Dichtevergleich)?

3 Material und Methoden

Material

Die vorliegende Untersuchung basiert auf neu angelegten temporären Versuchsflächen in Rein- und Mischbeständen aus Kiefer und Fichte. Die insgesamt sechs Versuche (Tripletts) wurden im Jahr 2013 in Bayern in den aktuellen Hauptverbreitungsgebieten von Kiefer und Fichte angelegt und umfassen jeweils drei rechteckige Parzellen: je eine Kiefern- und eine Fichten-Reinbestandsparzelle sowie eine korrespondierende Parzelle der beiden Baumarten in einzelstammweiser Mischung. Die Reinbestandsparzellen sind im Mittel 400 Quadratmeter groß und die Mischbestandsparzellen rund 800 Quadratmeter. Das Alter der Bestände liegt zwischen 65 und 95 Jahren. Grundsätzlich wurden pro Tripletts nur Parzellen etwa gleichen Alters ausgewählt. Aufgrund von Unsicherheiten bei der Altersbestimmung im Gelände ergaben sich aber vereinzelt baumartenbezogene Altersabweichungen von bis zu 15 Jahren (s. Tabelle 1).

Die Versuchsstandorte weisen im Bezugszeitraum von 1940 bis 2013 eine Jahresmitteltemperaturen von 6,7°C in Selb bis hin zu 9,4°C in Alzenau auf, bei einer mittleren Niederschlagssumme in der

Vegetationszeit von 359 mm beziehungsweise 413 mm (DWD 2014). Durch gezielte standortkundliche Vorauswahl sowie Anordnung der Parzellen in unmittelbarer Nachbarschaft wurde versucht etwaige Standortunterschiede zwischen den Parzellen und Versuchen auszuschließen beziehungsweise zu minimieren. Die Versuche repräsentieren somit ein enges und weitestgehend vergleichbares Standortspektrum schwach lehmiger Sande (Bodenart) beziehungsweise schwach podsolierter Braunerden (Bodentyp) mit rohumusartigen Auflagehorizonten.

Der Baumbestand (N=1.044) auf den Versuchspartellen wurde mit ertragskundlichen Standardmethoden erfasst (Brusthöhen- und Stockdurchmesser, Baumhöhen, Kronenansatz und -radien, Stammfußkoordinaten). Ergänzend wurden erkennbare Stöcke ausgeschiedener Bäume (N=269) vermessen und der Ausscheidezeitpunkt anhand des Zersetzungsgrades bis zu 20 Jahre zurückdatiert. Weiterhin wurden von 20 herrschenden und wenn vorhanden von zehn unter- und zwischenständigen Bäumen (N=591) jeweils zwei Bohrkerne auf Brusthöhe gewonnen. Darüber hinaus wurden auf jeder Parzelle mindestens fünf herrschende Bäume gefällt (insgesamt N=178). An diesen Bäumen wurden Triebblängenrückmessungen entlang der Stammachse durchgeführt und sektionsweise Stammscheiben entnommen sowie Nadelproben gewonnen. Zudem wurden auf den Parzellen BZE-konforme Bodenanalysen durchgeführt, die allerdings nicht Bestandteil dieses Beitrags sind.

Unabhängig von der gezielten standörtlichen Homogenisierung ergibt sich ein geologisch und klimatisch bedingter Standortgradient zwischen den Versuchsstandorten. Ergänzend zu der bereits begonnenen Auswertung von Boden- und Nadelproben kann dieser Standortgradient zunächst über die ertragstafelbasierte Höhenbonität der Reinbestände im Alter 100 beschrieben werden (s. Abbildung 1). Bei der Baumart Fichte erfolgt die Bonitierung nach der Oberhöhe und der Ertragstafel ASSMANN/FRANZ (1963) und bei der Kiefer nach der Mittelhöhe und der Ertragstafel WIEDEMANN (1943, mäßige Durchforstung). Zu Vergleichszwecken wurden auch die Mischbestände auf Basis der genannten Ertragstafeln „bonitiert“, beziehungsweise die Höhenentwicklung auf das Alter 100 projiziert. Da sich eine solche „Bonitierung“ in Mischbeständen im Allgemeinen außerhalb des Parametrisierungs- und Anwendungsbereichs der genannten Ertragstafeln bewegt, sollte strenggenommen besser der Begriff „erwartete Höhe“ verwendet werden. Unter Beachtung dieser Einschränkungen werden in der vorliegenden Untersuchung aus Darstellungsgründen aber einheitlich die Begriffe der „Bonität oder Höhenbonität“ verwendet.

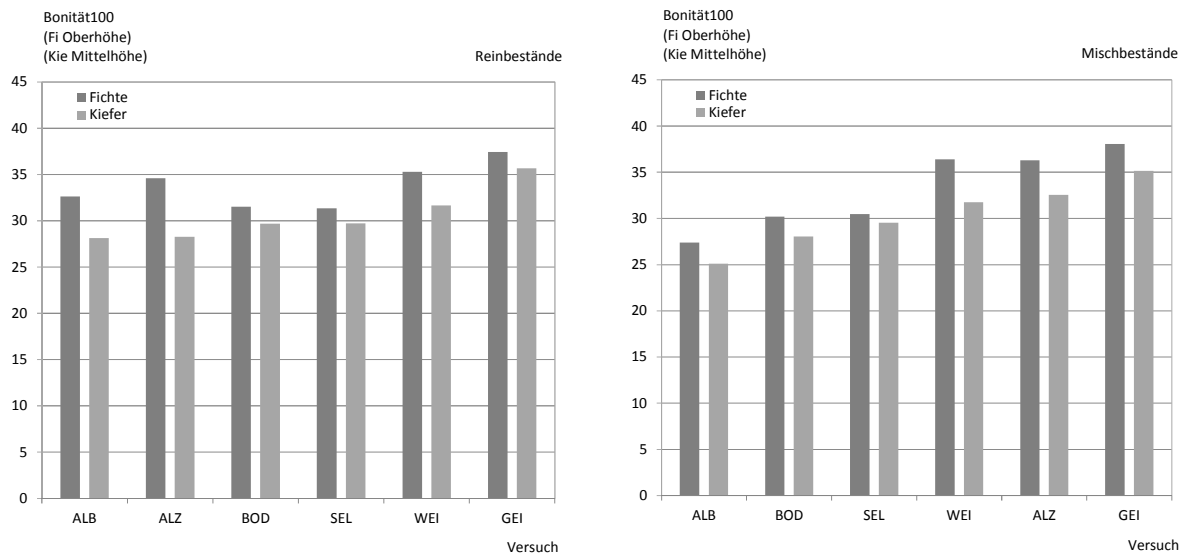


Abbildung 1: Bonität der Reinbestände (links) und Bonität bzw. erwartete Höhe der Mischbestände (rechts) im Alter 100. Sortiert nach der Bonität der Baumart Kiefer in aufsteigender Reihenfolge. Bonitierung der Baumart Kiefer auf Basis der Mittelhöhe und Ertragstafel nach WIEDEMANN (1943, mäß. Df.). Bonitierung der Fichte auf Basis der Oberhöhe und Ertragstafel nach ASSMANN/FRANZ (1963).

Betrachtet man baumarten- und bestandesübergreifend die mittlere Höhenbonität, so ergibt sich folgende aufsteigende Reihung der Versuchsstandorte: Allersberg < Bodenwöhr < Selb < Weiden < Alzenau < Geisenfeld. Diese Rangfolge ist auch in Abbildung 1 (links) erkennbar, wenngleich dort der Versuch Alzenau durch einen schwachwüchsigeren Kiefern-Reinbestand seinen Rangplatz verändert. Der korrespondierende Fichten-Reinbestand in Alzenau zeigt wiederum das erwartete Bild und belegt

Rang drei in der prognostizierten Höhenwuchsleistung bis zum Alter 100. Abweichend von der dargestellten Rangfolge zeichnet sich auch der Fichten-Reinbestand in Allersberg durch eine vergleichsweise gute Höhenwuchsleistung aus. Diese Unterschiede in der Höhenwuchsleistung der einzelnen Versuchspartien sind für die Analyse von Mischungseffekten von besonderer Bedeutung und werden in Abschnitt 4 (Ergebnisse) näher beleuchtet.

Ergänzend zum Kriterium der Standort- und Altershomogenität wurde in der vorliegenden Untersuchung versucht möglichst stammzahl- und grundflächenreiche Bestandespartien auszuwählen. Damit sollte sichergestellt werden, dass die Parzellen möglichst wenig von Durchforstungsmaßnahmen beeinflusst sind und die ermittelten Bestandeskennwerte die maximale standörtliche Tragfähigkeit (Kapazität) und Produktionskraft widergeben. Das Ergebnis dieser gezielten Vorauswahl spiegelt sich unter anderem in der hohen Grundflächenhaltung auf fast allen Parzellen wider (s. Tabelle 1).

Tabelle 1: Ertragskundliche Basisdaten für die temporären Versuchsfelder zum letzten rekonstruierten Aufnahmezeitpunkt im Jahr 2013. Zuwachs- und Vorratswerte in Vorratsfestmeter mit Rinde.

Versuchsstandort	Parzelle Baumart	Alter Jahre	Grundfläche		Mischungsanteil Grund- Trockens- fläche masse		SDI Index N ha ⁻¹	Durchmesser		Höhe		Vorrat		Zuwachs	
			m ² ha ⁻¹	%	%	d ₀ cm		d _G	h ₀ m	h _G	m ³ ha ⁻¹	m ³ ha ⁻¹ a ⁻¹			
Bodenwöhr BOD	Kie, (Fi) (Kie), Fi	80	24,1	48,8	49%	54%	851	35,3	28,4	26,9	25,3	276,8	540,7	6,9	14,9
		80	24,7		51%	46%	1.197	35,7	19,8	26,8	20,3	263,9		8,0	
	Fi	80		43,6			897	33,9	24,3	28,1	24,7		536,6		15,8
	Ki	65		38,7			734	31,7	25,6	25,0	23,9		415,7		11,9
Allersberg ALB	Kie, (Fi) (Kie), Fi	85	24,1	47,0	51%	58%	823	34,2	27,3	24,1	23,2	254,3	468,3	7,1	12,6
		85	23,0		49%	42%	1.240	33,2	17,6	25,0	18,3	214,0		5,5	
	Fi	80		51,9			1.019	38,9	24,7	29,2	24,3		633,7		18,2
	Ki	80		44,2			864	33,7	27,6	26,9	25,4		504,6		12,9
Selb SEL	Kie, (Fi) (Kie), Fi	90	26,7	51,5	52%	58%	864	41,2	30,8	30,9	28,3	343,8	629,7	9,6	18,9
		90	24,8		48%	42%	1.235	38,4	22,8	29,0	22,2	285,9		9,2	
	Fi	95		51,6			985	36,5	26,8	30,6	27,9		702,6		19,2
	Ki	75		45,2			837	35,7	28,0	28,4	26,0		529,3		16,2
Weiden WEI	Kie, (Fi) (Kie), Fi	65	22,8	49,4	46%	52%	714	36,8	31,0	26,5	25,6	266,3	550,5	8,0	18,8
		65	26,6		54%	48%	1.212	39,9	19,8	28,9	19,8	284,2		10,8	
	Fi	65		44,4			833	43,2	30,1	27,9	24,2		531,6		15,7
	Ki	65		46,3			893	35,3	27,7	26,2	25,6		531,9		19,3
Alzenau ALZ	Kie, (Fi) (Kie), Fi	75	17,9	50,5	35%	38%	873	38,2	30,9	29,9	28,6	231,2	656,3	6,1	18,9
		75	32,6		65%	62%	1.063	41,4	26,0	31,6	26,3	425,1		12,8	
	Fi	65		42,5			814	33,3	19,4	27,3	22,2		483,9		19,1
	Ki	85		40,3			734	39,7	33,0	28,8	26,3		486,3		13,4
Geisenfeld GEI	Kie, (Fi) (Kie), Fi	75	25,1	63,8	39%	44%	1.006	43,1	36,2	32,3	31,0	354,0	875,4	10,1	27,8
		75	38,7		61%	56%	1.365	46,8	26,9	33,2	26,8	521,4		17,7	
	Fi	70		61,4			1.117	46,1	33,1	31,3	29,7		866,9		23,6
	Ki	65		52,2			846	42,9	33,7	29,7	29,1		690,9		25,1

Die Grundflächenwerte der Baumart Fichte betragen im Reinbestand im Jahr 2013 durchschnittlich 49,2 m²ha⁻¹. In Relation zu vergleichbaren Standorten Bayerns erreichen die Bestände damit nahezu Maximalwerte. Bei der Kiefer betragen die Grundflächenwerte im Reinbestand im Mittel 44,3 m²ha⁻¹. Die Mischbestände erreichen durchschnittlich Grundflächenwerte von etwa 51,8 m². Die hohen Dichten spiegeln sich auch in den Werten des baumartenspezifischen Stand-Density-Index (SDI) nach REINEKE wider (PRETZSCH, 2005). Die Werte erreichen oder übersteigen sogar die von STERBA genannten Werte von 600-750 bei Kiefer und 900-1.100 bei Fichte (in PRETZSCH 2009a). Lediglich der Versuch Weiden zeigt bei der Baumart Fichte auffallend niedrige Werte, was im Wesentlichen auf frühe und starke Sanitäreingriffe aufgrund schälschadensbedingter Fäule zurückzuführen sein dürfte (s. hierzu auch Abbildung 7). Insgesamt bewegen sich die Bestände aber überwiegend in dem von ASSMANN beschriebenen Bereich hoher Bestandesproduktivität (PRETZSCH 2009a).

Methoden

Auf Basis der gewonnenen Bohrspäne und Stammscheiben konnte die zurückliegende Jahrring- und Durchmesserentwicklung von 591 der 1.044 Parzellenbäume baumindividuell nachgebildet werden. Die Durchmesserentwicklung von nicht gebohrten, überwiegend unter- und zwischenständigen oder bereits

ausgeschiedenen Bäumen wurde einzeljahresweise auf Basis linearisierter Durchmesser-Zuwachsfunktionen geschätzt.

Die Untersuchung der Höhenentwicklung der Versuchsbestände stützt sich auf 982 Höhenmessungen im Jahr 2013 und die jahresweise Rekonstruktion der Baumhöhen von 178 Triebblängenmessbäumen. Diese aktuellen und retrospektiven Höhenmessungen bilden letztlich die Eingangsgrößen für die Anpassung eines Höhenkurvensystems (s. hierzu BIBER 2013). Auf Basis der rekonstruierten Einzelbaumhöhen und -durchmesser wurden anschließend zehnjährige Volumenzuwächse (Vorratsfestmeter Derbholz mit Rinde) für drei fiktive Aufnahmezeitpunkte 1993, 2003 und 2013 berechnet (Berechnungs- und Darstellungsverfahren nach BIBER 2013).

Die ermittelten Vorrats- und periodischen Zuwachswerte bilden die Grundlage für einen baumartenbezogenen Vergleich der absoluten Produktivität von Kiefer und Fichte sowie für einen Vergleich der beiden Baumarten im Rein- und Mischbestand. Mit Blick auf den Vergleich von Rein- und Mischbestand kommt das nachstehende unter anderem von KENNEL (1965), VANDERMEER (1989) und KELTY (1992) beschriebene und von PRETZSCH in einer Mehrzahl von Untersuchungen angewendete Berechnungs- und Darstellungsverfahren der relativen Produktivitäten und Kreuzdiagramme zur Anwendung:

Der relative Produktivitätsbeitrag der Kiefer im Mischbestand wird als $RPP_{Kie,(Fi)}$ bezeichnet und berechnet sich als $RPP_{Kie,(Fi)} = pp_{Kie,(Fi)} / p_{Kie}$. Wobei pp_{Kie} der absolute Produktivitätsbeitrag der Kiefer im Mischbestand ist und p_{Kie} die absolute Produktivität der Kiefer im korrespondierenden Reinbestand. Analog berechnet sich der relative Produktivitätsbeitrag der Fichte als $RPP_{(Kie),Fi} = pp_{(Kie),Fi} / p_{(Kie),Fi}$.

Soll dahingegen unmittelbar die Leistung einer Baumart im Rein- und Mischbestand verglichen werden, muss deren anteilige absolute Mischbestandsproduktivität über den artspezifischen Mischungsanteil (m_{Kie} , m_{Fi}) auf die Einheitsfläche von einem Hektar hochgerechnet werden, also zu einem rechnerischen Reinbestand ausgeformt werden. Für die Kiefer wird dieser Produktivitätskennwert als $RPR_{Kie,(Fi)}$ bezeichnet und berechnet sich als $RPR_{Kie,(Fi)} = p_{Kie,(Fi)} / p_{Kie}$. Für Fichte berechnet sich der Wert analog als $RPR_{(Kie),Fi} = p_{(Kie),Fi} / p_{Fi}$. Wobei $p_{Kie,(Fi)} = pp_{Kie,(Fi)} / m_{Kie}$ und $p_{(Kie),Fi} = pp_{(Kie),Fi} / m_{Fi}$ ist.

Die relative Produktivität des gesamten Mischbestandes ergibt sich aus der beobachteten absoluten Produktivität des Mischbestandes dividiert durch die erwartete absolute Produktivität und kann wie folgt dargestellt werden: $RPP_{Kie,Fi} = (pp_{Kie,(Fi)} + pp_{(Kie),Fi}) / (p_{Kie} \times m_{Kie} + p_{Fi} \times m_{Fi})$. Hierbei stellen die $pp_{Kie,(Fi)}$ -Werte wieder die absoluten Leistungsbeiträge der Baumarten Kiefer und Fichte im Mischbestand dar und die $p_{Kie,(Fi)}$ -Werte die der korrespondierenden Reinbestände. Die Mischungsanteile m_{Kie} und m_{Fi} werden dabei in der vorliegenden Untersuchung nicht über Grundflächenanteile sondern nach ASSMANN (1961) über raumdichtegewichtete Vorratsanteile berechnet. Dieser Ansatz berücksichtigt die unterschiedlichen Holzdichten von Kiefer (430,7 kg/m³) und Fichte (377,1 kg/m³) und nähert sich damit der oberirdischen Bio- beziehungsweise Trockenmasseproduktion an. Auf Basis dieser Berechnung ergeben sich für Kiefer Mischungsanteile von 38 bis 58% und für Fichte Anteile zwischen 42 und 62%.

4 Ergebnisse

i) Vergleich zwischen Kiefer und Fichte

In Abbildung 2 sind links die Reinbestandszuwächse von Kiefer und Fichte gegenübergestellt. Jeder der Punkte markiert einen Versuch zu einem der drei rekonstruierten Aufnahmezeitpunkte 1993, 2003 und 2013. Ergänzend sind in der linken Abbildung auch die auf die Einheitsfläche von einem Hektar hochskalierten Zuwachsanteile der Baumarten im Mischbestand wiedergegeben. Vergleicht man diese periodischen jährlichen Zuwachswerte von Kiefer und Fichte, so zeigt sich, dass die Baumart Fichte gegenüber der Kiefer im untersuchten Altersrahmen (Mittelwert: 2013 = 75j., 2003 = 65j., 1993 = 55j.) und Standortspektrum mit durchschnittlich 18,9 m³ha⁻¹a⁻¹ einen um etwa 31% höheren Zuwachs leistet (Kiefer 14,4 m³ha⁻¹a⁻¹). Nur auf Standorten höchster Kiefernbonitäten, zum Beispiel Geisenfeld, reichen die Zuwächse der Kiefer an die der Fichte heran. Auch beim Vorrat der Reinbestände weist die Fichte mit fast 504 m³ha⁻¹ gegenüber der Kiefer mit 396 m³ha⁻¹ einen im Durchschnitt um etwa 27% höheren Wert auf.

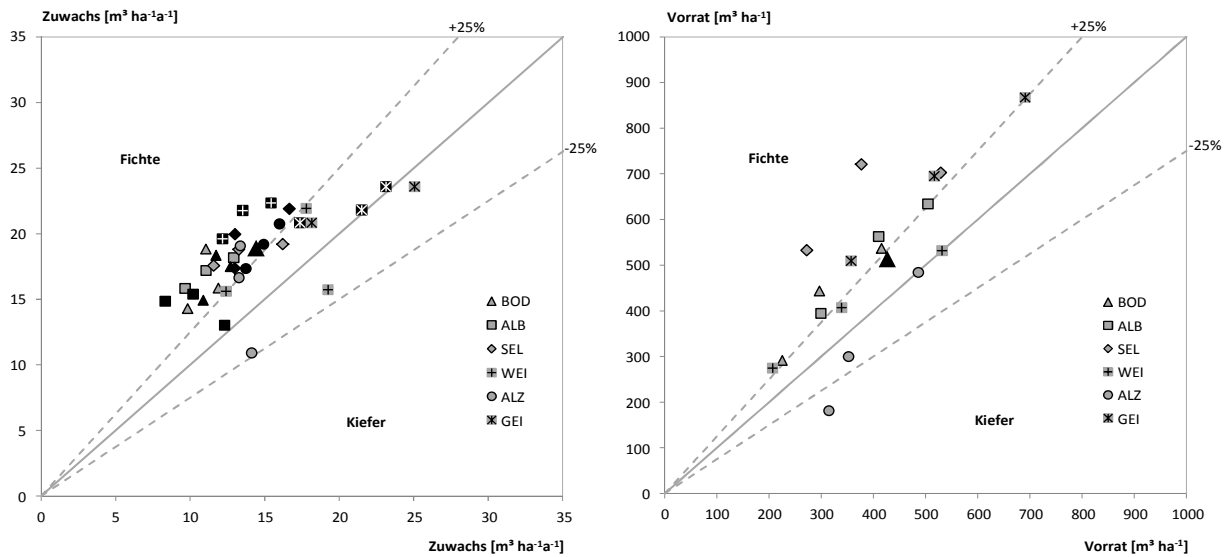


Abbildung 2: Zuwachs- (links) und Vorratsvergleich (rechts) von Kiefer und Fichte. Zuwachswerte (links) beinhalten auch hochskalierte Mischbestandszuwächse der beiden Arten (schwarz hinterlegte Symbole). Mittelwerte werden jeweils durch das schwarze Dreieck symbolisiert.

ii) Vergleich zwischen Rein- und Mischbestand

Neben einem baumartenbezogenen Vergleich von Kiefer und Fichte ist es Hauptziel der vorliegenden Untersuchung die Produktivität von Kiefer und Fichte im Rein- und Mischbestand miteinander zu vergleichen. Betrachtet man zunächst den Vorrat der beiden Baumarten im Rein- und Mischbestand (Abbildung 3), so zeigt sich, dass der Vorrat im Mischbestand bei Kiefer um 16% und bei Fichte um 4% höher ausfällt. Bei der Kiefer beträgt der mittlere Vorrat im Mischbestand $458 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ und im Reinbestand $396 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$. Bei der Baumart Fichte fällt dieser Unterschied mit Werten von $523 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ zu $504 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ dahingegen deutlich geringer aus.

In diesem Zusammenhang muss beachtet werden, dass die Vorräte beider Baumarten im Mischbestand über deren Mischungsanteile auf die Einheitsfläche von einem Hektar hochskaliert wurden. Wie bereits dargestellt beruht die Berechnung der Mischungsanteile dabei auf raumdichtegewichteten Vorratsanteilen. Im Vergleich zu einer grundflächengewichteten Anteilsberechnung verschieben sich die Mischungsanteile durch die höhere Holzdichte bei der Baumart Kiefer zu deren Gunsten. Damit ergibt sich im Mischbestand eine eher konservative Vorratsschätzung für die Baumart Kiefer. Umgekehrt wird der Vorratsanteil der Fichte auf Basis dieser Berechnung tendenziell etwas höher eingeschätzt.

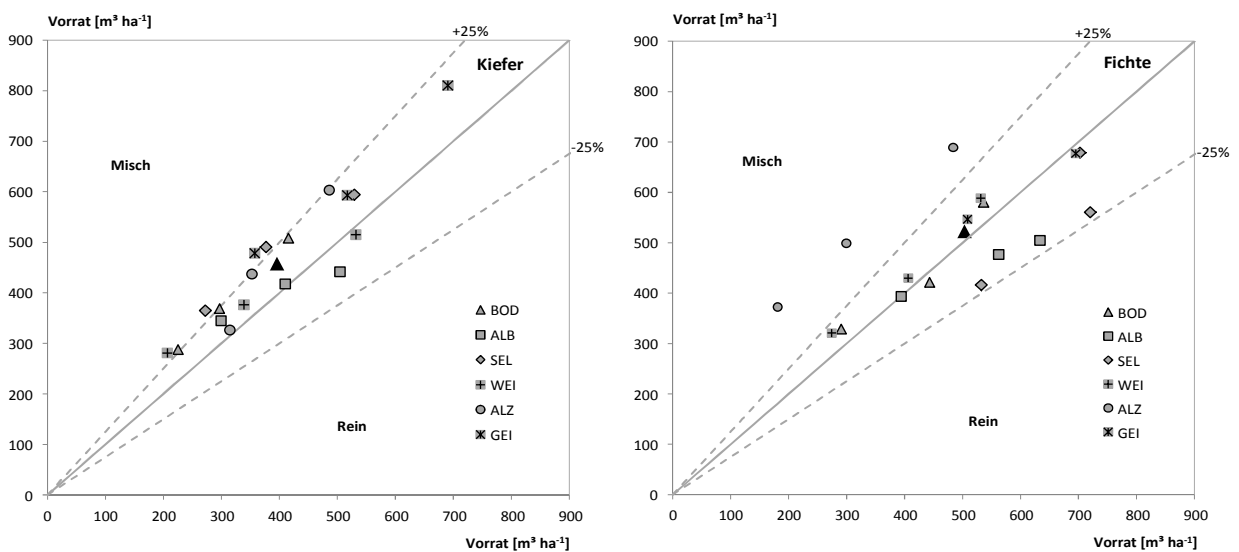


Abbildung 3: Vergleich der Vorräte von Rein und Mischbestand; Kiefer (links), Fichte (rechts). Werte der Mischbestände auf Basis von Mischungsanteilen auf die Einheitsfläche von einem Hektar hochgerechnet. Mittelwerte werden durch das schwarze Dreieck symbolisiert.

Anders als beim Vergleich der Vorratswerte, fallen die Zuwachsunterschiede zwischen Rein- und Mischbestand bei der Baumart Fichte mit +12% deutlich größer aus. Der Zuwachs der Fichte beträgt dabei $19,96 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ im Mischbestand und $17,9 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ im Reinbestand (s. Abbildung 4, rechts). Auffällig sind hierbei insbesondere die Punkte des Versuches Geisenfeld; sowohl aufgrund des insgesamt hohen Zuwachsniveaus, als auch aufgrund der deutlichen Differenzen zwischen Rein- und Mischbestand. Ein Punkt des Versuches Allersberg zeichnet sich dahingegen durch einen deutlich geringeren Zuwachswert im Mischbestand aus. Dies ist vermutlich zum einen auf einen Standortsunterschied zwischen Rein- und Mischbestand (s. a. Abbildung 5) zurückzuführen, zum anderen aber auch auf eine durchforstungsbedingte Vorratsabsenkung im Mischbestand in der letzten Aufnahmeperiode.

Auch bei der Baumart Kiefer (s. Abbildung 4, links) zeichnet sich der Versuch Geisenfeld durch hohe absolute Zuwächse aus, wenngleich die Kiefer dort im Mischbestand weniger Zuwachs leistet als im korrespondierenden Reinbestand. Über das gesamte Kiefern-Untersuchungskollektiv hinweg bewegen sich die Zuwachsunterschiede zwischen Rein- ($14,6 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$) und Mischbestand ($14,3 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$) mit -2% im geringfügig negativen Bereich.

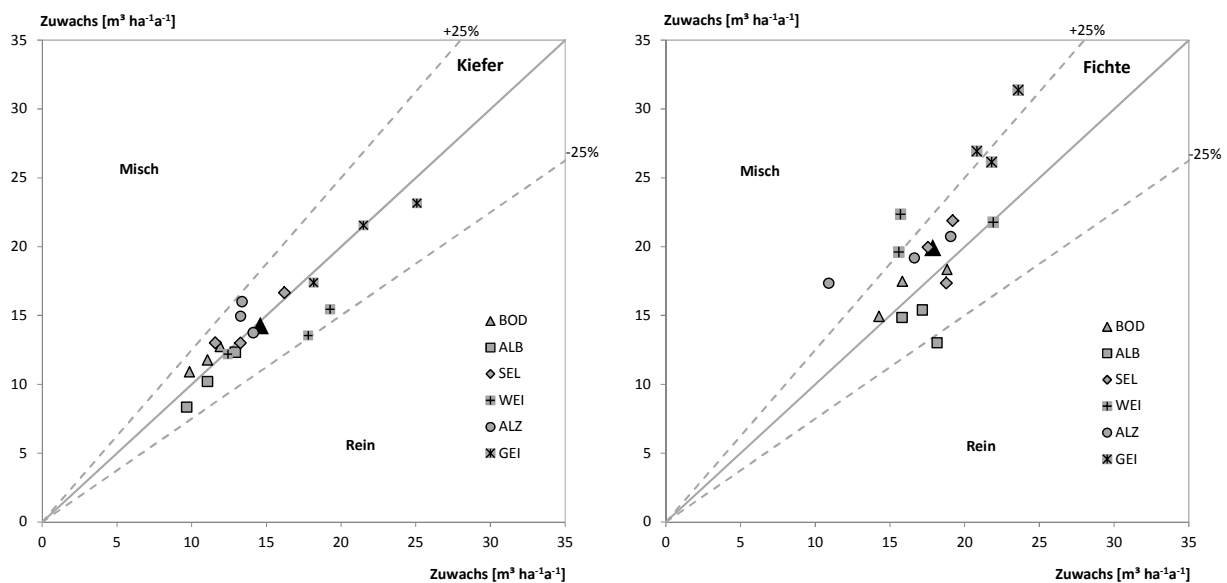


Abbildung 4: Baumartenbezogener Zuwachsvergleich von Rein- und Mischbestand; Kiefer (links) und Fichte (rechts). Werte der Mischbestände auf Basis von Mischungsanteilen auf die Einheitsfläche von einen Hektar hochgerechnet. Mittelwerte sind durch das schwarze Dreieck symbolisiert.

Auf Basis des gewählten Verfahrens zur Berechnung von Baumartenanteilen im Mischbestand (Raumdichtegewichtete Vorratsanteile), zeigen sich also nur für die Baumart Fichte Mehrzuwächse im Mischbestand. Hochgerechnet auf einen Hektar beträgt der relative Mehrzuwachs der Baumart Fichte im Mischbestand rund 12% ($RPP_{(Kie),Fi} = 0,534$, s. Abbildung 5, rechts; $RPR_{(Kie),Fi} = 1,122$). Das entspricht einem absoluten Mehrzuwachs von rund $2,2 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$, bei einem mittleren Zuwachs im Reinbestand von $17,9 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$. Für die Baumart Kiefer lässt sich eine geringfügige relative Minderproduktion von -1% beziehungsweise $-0,14 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ feststellen ($RPP_{Kie,(Fi)} = 0,524$, s. Abbildung 5, links; $RPR_{Kie,(Fi)} = 0,990$).

Zusammen ergibt sich für die Mischbestände aus Kiefer und Fichte ein Mehrzuwachs von etwa 5,8% ($RPR_{Kie,Fi} = 1,058$, s. Abbildung 5, unten). Dies entspricht einem Mehrzuwachs von knapp $1,0 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ gegenüber dem erwarteten mittleren Zuwachs von rund $16,0 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ in einem rechnerischen Reinbestand. Dieses Niveau des Mehrzuwachse bleibt auch erhalten, wenn man ein anderes Verfahren zur Berechnung von Baumartenanteilen im Mischbestand zugrunde legt, beispielsweise auf Basis nicht raumdichtegewichteter Vorräte oder Grundflächen. Allerdings verschieben sich die Mehrzuwächse dann zugunsten der Baumart Kiefer, aufgrund abnehmender Mischungsanteile bei gleichbleibendem absolutem Zuwachs.

Unabhängig von der Art der Berechnung der Mischungsanteile lässt sich in Abbildung 5 erkennen, dass die relative Mehrproduktion im Mischbestand offenbar von der Standortgüte (ausgedrückt über die Höhenbonität beziehungsweise die erwartete Höhe im Alter 100) beeinflusst wird. Insbesondere bei der

Baumart Fichte steigt der Mischungseffekt mit zunehmender Standortgüte beziehungsweise Bonität an. Beispielsweise zeigen die wuchskräftigen Standorte Geisenfeld und Alzenau hohe Mischungsreaktionen, wohingegen der wuchschwächere Standort Allersberg keine positive Reaktion zeigt (s. a. Abbildung 6).

Wenngleich die Baumart Kiefer in diesem Zusammenhang zunächst keinen eindeutigen Mischungseffekt zeigt, lässt sich offenbar auch hier ein versuchs- oder standortbezogener Trend erkennen; im Vergleich zur Fichte allerdings in umgekehrter Reihung (s. a. hierzu Abbildung 6). Ergänzend wird der allgemeine Bonitätseffekt der Mehr- oder Minderproduktion von Kiefer und Fichte offenbar erheblich durch Bonitäts- beziehungsweise Standortunterschiede zwischen den Vergleichsparzellen beeinflusst. Beispielsweise zeichnet sich der Versuch Allersberg durch höhere Bonitäten in den Reinbeständen aus (Abbildung 5, unten rechts), was zu einer verringerten relativen Mischbestandsproduktivität führt. Umgekehrt zeigen die Versuche Geisenfeld und Alzenau in den Mischbeständen höhere Bonitäten und damit auch entsprechende Mehrzuwächse.

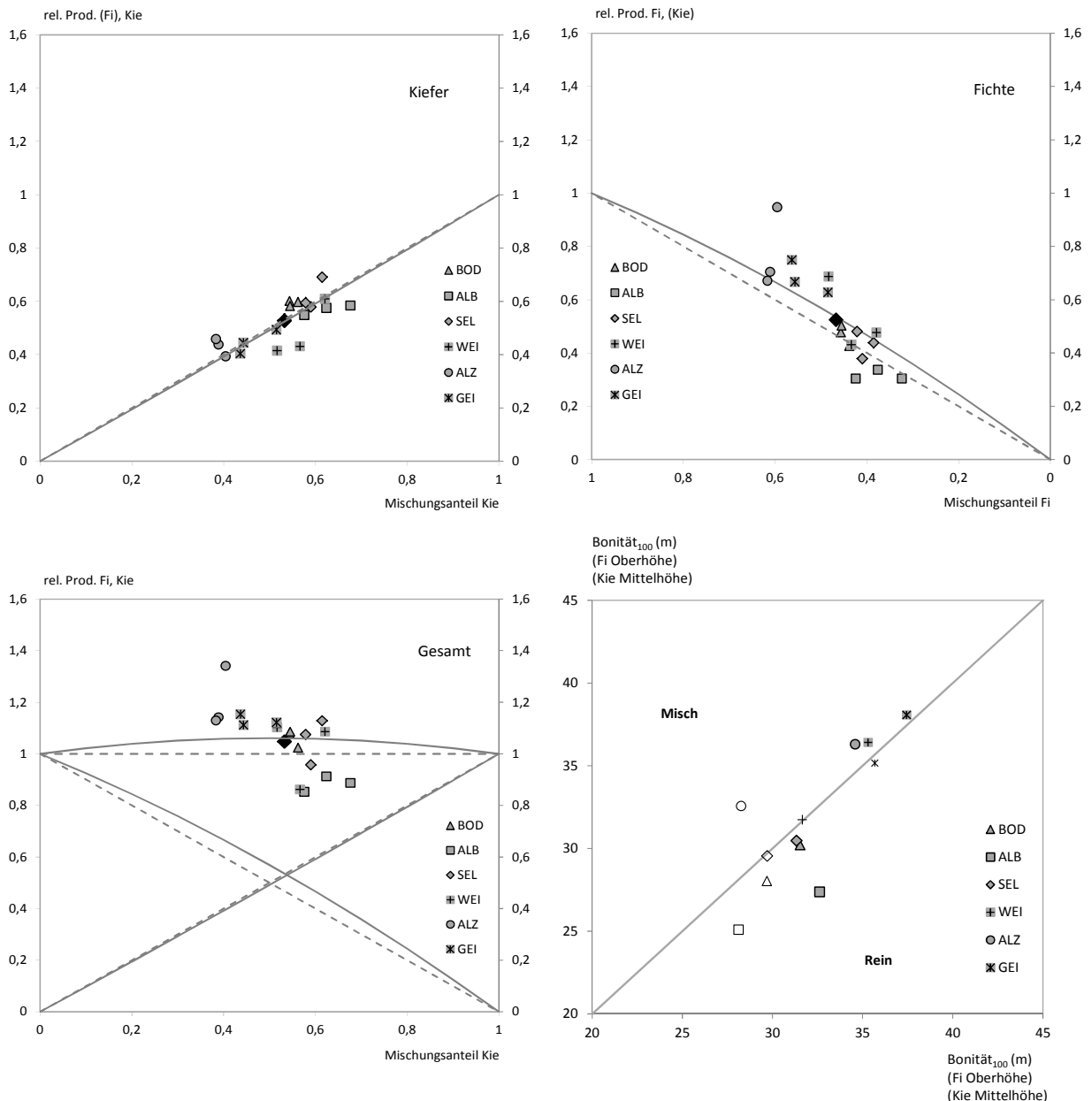


Abbildung 5: Vergleich der relativen Produktivitäten der Baumarten Kiefer (oben links), Fichte (oben rechts) und Gesamt (unten links) im Mischbestand. Mittelwerte sind jeweils durch das schwarze Dreieck gekennzeichnet. Die durchgezogenen schwarzen Linien geben einen nichtlinearen funktionalen Ausgleich der Punktwolke wider. Ebenfalls dargestellt sind die Höhenbonitäten bzw. erwarteten Höhen im Alter 100 der Baumarten Kiefer und Fichte zum Aufnahmezeitpunkt 2013 (unten rechts) im Rein- und Mischbestand (Fichte grau hinterlegte Symbole; Kiefer weiß)

iii) Einfluss des Standorts auf die relative Produktivität im Mischbestand

Der bereits in Abbildung 5 erkennbare Trend zur Standortabhängigkeit der Zuwachsreaktion in den Mischbeständen lässt sich auch durch ein einfaches lineares Regressionsmodell statistisch beschreiben. Dabei ergibt sich im Mischbestand ein statistisch gesicherter Zusammenhang zwischen der relativen Produktivität und der erwarteten Höhe im Alter 100 (s. hierzu auch Anmerkungen in Abschnitt 3, Material) (Modell: Fichte $R^2=0,494$; Kiefer $R^2=0,499$, Gesamt $R^2 = 0,283$). Darauf aufbauend sind in Abbildung 6 sowohl die Beobachtungswerte (Punkte), als auch die linearen Modelle (Linien) für die Baumarten Kiefer und Fichte sowie den Gesamtbestand grafisch dargestellt. Es ist zu erkennen, dass die Mischbestandsproduktivität bei der Baumart Fichte mit zunehmender Standortgüte beziehungsweise erwarteter Höhe im Alter 100 zunimmt. Im ähnlichen Maße wie die Produktivität der Fichte ansteigt, nimmt die der Kiefer ab.

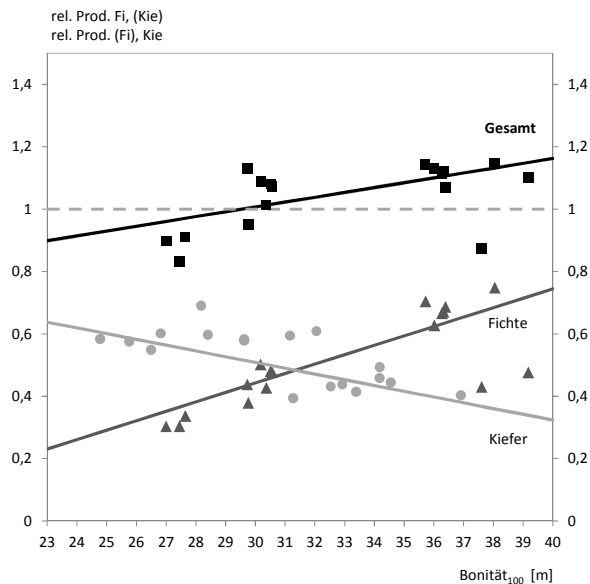


Abbildung 6: Statistischer Vergleich der relativen Produktivität von Kiefer und Fichte im Mischbestand in Abhängigkeit vom Standort; ausgedrückt durch die Bonität beziehungsweise die erwartete Höhe der Baumarten im Mischbestand im Alter 100. Die Punkte im Diagramm geben die beobachteten relativen Produktivitäten der Baumarten wider. Die durchgezogenen Linien geben den Verlauf der angepassten linearen Modelle wider. Zur besseren Vergleichbarkeit wurden die Mittelhöhenbonitäten der Baumart Kiefer in Oberhöhen umgerechnet.

iv) Vergleich der Bestandesdichten im Rein- und Mischbestand

Mit Blick auf die beobachtete mittlere relative Mehrproduktion im Mischbestand soll im Folgenden untersucht werden, ob Unterschiede in der Bestandesdichte von Rein- und Mischbestand festzustellen sind. Als Maß der Bestandesdichte wurde hierzu der auf Basis von Reinbeständen entwickelte Stand-Density-Index (SDI) nach REINEKE (in PRETZSCH, 2005) für die Baumarten Kiefer und Fichte sowohl im Rein- als auch im Mischbestand berechnet. Der SDI im Mischbestand wurde dabei als Summe der SDIs der Baumartenanteile von Kiefer und Fichte berechnet (schwarze Linie in Abbildung 7 links). Im Ergebnis ist für den Aufnahmezeitpunkt 2013 in Abbildung 7 (links) zu erkennen, dass die Baumart Fichte im Reinbestand höhere Dichten aufweist als die Baumart Kiefer und die Mischbestands-SDIs in fast allen Fällen über denen der Reinbestände liegen. Eine alternative Berechnung des SDI im Mischbestand über die Gesamtstammzahl ($N_{Kie,Fi}$) und den Durchmesser des Grundflächenmittelstamms des gesamten Baumkollektives ($dG_{Kie,Fi}$) zeigt ein nahezu identisches Bild (hier nicht dargestellt).

Ausnahmen bilden bei allen Berechnungsverfahren die Versuchsstandorte Allersberg und Weiden. In Allersberg wird in einem sehr stammzahlreichen Fichten-Reinbestand ein hohe Bestandesdichte (SDI) erreicht, wohingegen der Mischbestand bei kleinerem Durchmesser des Grundflächenmittelstamms ($dG_{Kie,Fi}$) offenbar durchforstungsbedingt vergleichsweise stammzahlarm ist. Beim Versuch Weiden fällt dahingegen die Bestandesdichte des Fichten-Reinbestandes auffällig stark ab. Dies kann, wie bereits im Abschnitt 3 (Material) dargestellt, auf vergleichsweise starke Durchforstungseinflüsse zurückgeführt werden.

Zur weiterführenden Analyse der Unterschiede der Bestandesdichte kann man ergänzend den beobachteten SDI im Mischbestand einem rechnerischen, das heißt erwarteten Mischbestands-SDI

gegenüberstellen. Hierzu wurden die Reinbestands-SDIs auf die Baumartenanteile in den korrespondierenden Mischbeständen reduziert und anschließend aufsummiert. In Abbildung 7 (rechts) sind diese Werte für aller Versuchsstandorte und Aufnahmezeitpunkte dargestellt. Auch bei diesem Vergleich zeigt sich, dass die Mischbestände mit einem beobachteten mittleren SDI von 947 gegenüber dem erwarteten rechnerischen Wert von 808 deutlich höhere Bestandesdichten aufweisen.

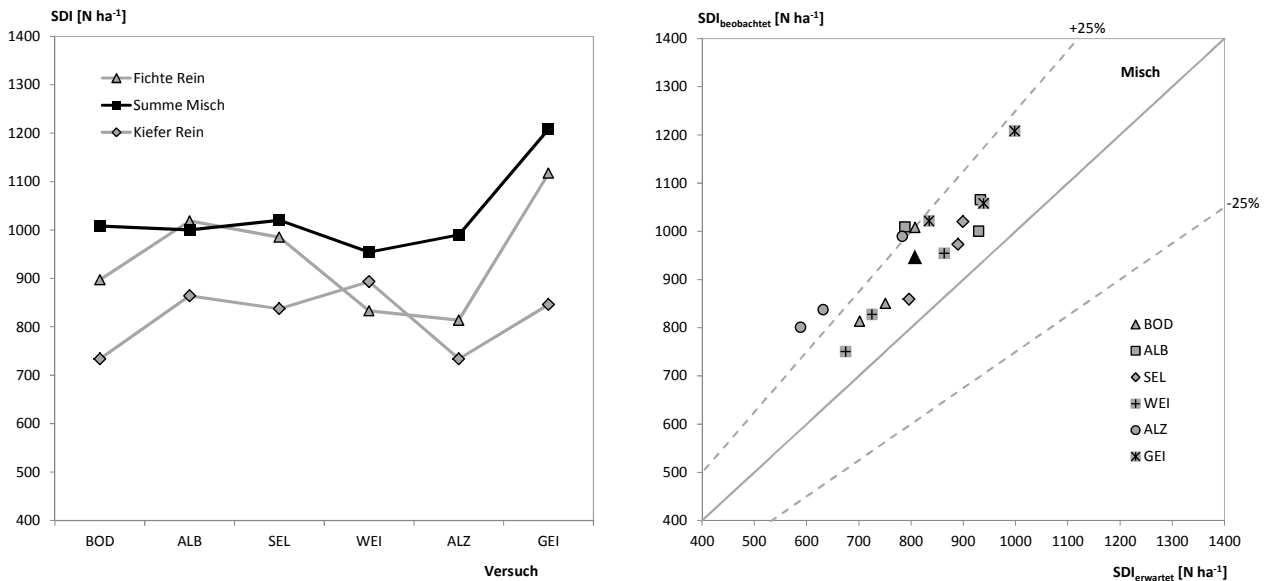


Abbildung 7: Vergleich des Stand-Density-Index (SDI) nach REINEKE für die unterschiedlichen Bestandestypen und Baumartenkollektive. Links: SDI-Werte von Rein- und Mischbeständen zum Aufnahmezeitpunkt 2013. Der SDI im Mischbestand berechnet sich dabei als die Summe der SDIs der Baumartenanteile von Kiefer und Fichte. Rechts: Gegenüberstellung von beobachtetem und erwartetem Mischbestands-SDI. Zur Berechnung des erwarteten Mischbestands-SDI werden die Reinbestands-SDIs über baumartenspezifische Anteile in den korrespondierenden Mischbeständen reduziert und aufsummiert.

5 Diskussion und Schlussfolgerungen

i) Für den untersuchten Altersrahmen und das untersuchte Standortspektrum konnte für Fichte (18,9 m³ha⁻¹a⁻¹) und Kiefer (14,4 m³ha⁻¹a⁻¹) eine absolute Zuwachsdifferenz von durchschnittlich rund 31% festgestellt werden. Mit Blick auf den Vorrat beträgt der Baumartenunterschied etwa 27% (Fichte: 504 m³ha⁻¹, Kiefer 396 m³ha⁻¹). Diese Zuwachs- und Vorratsunterschiede bewegen sich in einem Rahmen der für bayerische Wachstumsbedingungen auch bei KÜSTERS et al. (2004) und PRETZSCH und UTSCHIG (2000) sowie in einer Mehrzahl von Einzelauswertungen von langfristigen Versuchsflächen zu finden ist. Wobei die hier untersuchten temporären Versuchsflächen tendenziell etwas höhere Bestandesdichten und Zuwachswerte aufweisen. Dies kann unter anderem darauf zurückgeführt werden, dass in der vorliegenden Untersuchung gezielt besonders dichte Bestandespartien ausgewählt wurden und die genannten Referenzuntersuchungen zum Teil auf älteren Versuchsflächen mit abweichender Bestandesgeschichte oder sogar auf Inventurdaten mit deutlich abweichender Behandlungsgeschichte aufbauen. Insgesamt erscheint es bei den hier vorgestellten Zuwachswerten erstaunlich, dass die Fichte ihre Wuchsüberlegenheit auch auf dem ausgewählten, für die Baumart Fichte nach heutiger Einschätzung (BAYERISCHE FORSTVERWALTUNG 2013) eher ungünstigen Standortspektrum behaupten kann.

ii) Weiterhin konnte gezeigt werden, dass der Zuwachs der Baumart Fichte im Mischbestand im Vergleich zum Reinbestand mit 19,9 m³ha⁻¹a⁻¹ deutlich höher ausfällt (Reinbestand 17,9 m³ha⁻¹a⁻¹). Bei der Kiefer ergeben sich dahingegen keine nachweisbaren Zuwachsunterschiede. Normiert man das Zuwachsniveau der Baumarten im Mischbestand wie unter anderem bei KENNEL (1965), VANDERMEER (1989) und KELTY (1992) dargestellt am jeweils korrespondierenden Reinbestand, so zeigt insbesondere die Baumart Fichte relative Mehrzuwächse von rund 12%. Das entspricht einem absoluten Mehrzuwachs von etwa 2,2 m³ha⁻¹a⁻¹. Für die Baumart Kiefer lässt sich dahingegen ein rechnerischer Minderzuwachs von etwa -1% beziehungsweise 0,1 m³ha⁻¹a⁻¹ nachweisen.

Weitergehende Analysen im Rahmen dieser Untersuchung haben gezeigt, dass die Verteilung des Mehrzuwachses auf die Baumarten stark von der Berechnung der Mischungsanteile abhängt. Die vorliegende Untersuchung basiert auf einer Berechnung der Mischungsanteile über

raumdichtegewichtete Vorratsanteile nach ASSMANN (1961). Orientiert man sich dahingegen an einer grundflächengewichteten Berechnung, ergeben sich höhere Mischungsanteile für die Baumart Fichte, bei gleichbleibender absoluter Produktivität. Bezogen auf den Mischungsanteil führt dies zu einer geringeren relativen Produktivität für die Fichte. Für die Baumart Kiefer verhält es sich entsprechend umgekehrt.

Unabhängig von der Berechnung der Mischungsanteile, verbleibt für die Mischbestände eine relative Mehrproduktion von insgesamt etwa 5,8% beziehungsweise knapp $1,0 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$. Mehrzuwächse in Kiefer-Fichten-Mischbeständen konnten auch von BIELAK (2013), BIELAK et al. (2014) sowie MASON und CONNOLLY (2013) nachgewiesen werden, wobei das Niveau der Mehrzuwächse in diesen Untersuchungen deutlich höher ausfällt. MASON und CONNOLLY konnten in jungen Kiefern-Fichten und Kiefern-Sitkafichtenbeständen Mehrzuwächse von durchschnittlich etwa 40% feststellen. Auch BIELAK stellt mittlere Mehrzuwächse im Mischbestand von etwa 40% fest. LINDEN und AGESTAM (2013) konnten dahingegen für einen 1981 angelegten Kiefern-Fichten-Versuch in Südschweden keine statistisch gesicherten Ergebnisse zum Mehrzuwachs im Mischbestand feststellen, wengleich sich auch dort für die Kiefer ein mittlerer Mehrzuwachs von fast 15% ergab. Beim Vergleich mit diesen Ergebnissen muss allerdings beachtet werden, dass zum Teil ein deutlich abweichender Altersrahmen untersucht wurde und zum Teil andere Verfahren zur Berechnung von Mischungsanteilen verwendet wurden. Zudem handelt es sich bei den genannten Studien überwiegend um Einzelfallstudien auf einem begrenzten Standortspektrum. In der vorliegenden Studie konnte dahingegen ein weiterer Standortgradient untersucht werden.

iii) Erste Analysen zum Einfluss der Standorte (Boden und Klima) konnten nachweisen, dass die Mischungsreaktion von der Standortgüte (Bonität, beziehungsweise erwartete Höhe im Alter 100) abhängt. Die relative Mehrproduktion im Mischbestand nimmt bei der Fichte mit zunehmender Bonität zu, wohingegen die der Kiefer abnimmt. Auch andere Untersuchungen stellen eine Standortabhängigkeit der Mischungsreaktion fest. In Anlehnung an die Stressgradienten-Hypothese beziehungsweise den standortabhängigen Wechsel von gegenseitiger Begünstigung und Konkurrenz (CALLAWAY und WALKER 1994) fällt dabei die Mehrproduktion theoriegemäß auf ärmeren Standorten besonders hoch aus. PRETZSCH (2013) konnte dies sowohl für die Baumart Kiefer als auch für die Fichte nachweisen. Damit deckt sich der Befund zur Baumart Fichte in der vorliegenden Untersuchung zunächst nicht mit den Ergebnissen von PRETZSCH et al (2013). Gleichzeitig erscheinen die hier gemachten Beobachtungen für die Baumart Fichte plausibel, da offenbar jede Verbesserung der Wachstumsbedingungen auf dem ausgewählten Standortspektrum schwach lehmiger Sande zu einem Wachstumsvorteil für die Baumart Fichte führt. Elementare Wachstumsfaktoren wie zum Beispiel Licht (Kronenkonkurrenz), Nährstoffe oder Wasser scheinen damit auf besseren Standorten der Untersuchungsreihe für die Baumart Fichte nicht mehr limitierend zu wirken. Analog gibt die standortabhängige Oberhöhenrelation der beiden Baumarten erste Hinweise, dass die Baumart Kiefer auf besseren Standorten gegebenenfalls stärker durch die wuchskräftigere Fichte konkurrenziert und damit in ihrem Wachstum gedämpft wird. Die Fragen zur Standortabhängigkeit der Zuwachsreaktion und zu bodenbürtigen wachstumslimitierenden Faktoren sollen im weiteren Verlauf der Untersuchung auf Basis der Bodenanalysen aufgegriffen werden.

iv) Darüber hinaus sollen auch weitere bereits erfasste Bestandesparameter als Indikatoren der Mehrproduktion im Mischbestand untersucht werden. Mit Blick auf die Bestandesdichte hat sich in der vorliegenden Untersuchung bereits gezeigt, dass das Dichtemaß des Stand-Density-Index (SDI) im Mischbestand deutlich höhere Werte annimmt als im Reinbestand. Die kann als ein Indiz für die von KELTY (1992) beschriebene „facilitation“, das heißt die gegenseitige Begünstigung von Baumarten in Mischbeständen gewertet werden. In diesem Zusammenhang erscheint es beispielsweise plausibel, dass sich die Baumarten Kiefer und Fichte in ihren unterschiedlichen lichtökologischen Ansprüchen und in ihrer abweichenden Phänologie im Mischbestand mutualistisch ergänzen und damit die Tragfähigkeit (Kapazität) eines Standorts bestmöglich ausschöpfen. Offensichtlich ermöglichen zum Beispiel die lichtdurchlässigeren Kiefernkronen, dass sich ein zuwachsrelevanter Fichten-Unter- und -Zwischenstand in den Mischbeständen ausbildet und erhält. Gegebenenfalls werden auch die Kronenform und die Kroneneffizienz von herrschenden Fichten durch die Beimischung von Kiefern positiv beeinflusst. Zu diesen Fragen sollen im weiteren Verlauf der Untersuchung Kronen- und Strukturparameter ausgewertet werden.

Zusammenfassend konnte in der vorliegende Arbeit für die Baumarten Kiefer und Fichte gezeigt werden, dass der jährliche Volumenzuwachs beziehungsweise die relative Produktivität der

untersuchten Mischbestände die der korrespondierenden Reinbestände übertrifft. Weiterhin konnte nachgewiesen werden, dass das relative Zuwachsniveau im Mischbestand von der Standortgüte (Höhenbonität) beeinflusst wird und sich unter anderem in höheren Bestandesdichten widerspiegelt. Darüber hinaus konnten erste Hinweise gegeben werden dass das Ergebnis der Mischungsanalyse im hohen Maße von der bestandesstrukturellen und standörtlichen Vergleichbarkeit der Versuchsbestände abhängt.

6 Danksagung

Mein Dank gilt Hans Pretzsch für die wissenschaftliche Begleitung der Untersuchung sowie meinen Kollegen Gerhard Schütze, Michael Heym und Peter Biber für die Unterstützung bei der Jahrringanalytik sowie bei der Datenaufbereitung und -analyse. Weiterhin danke ich allen studentischen und wissenschaftlichen Hilfskräften, die bei den aufwendigen Außenaufnahmen und Laborarbeiten mitgewirkt haben. Abschließend danke ich dem Bayerischen Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (Bayerische Forstverwaltung) für die Projektförderung und den Bayerischen Staatsforsten und der Stadt Alzenau für die Bereitstellung der Flächen und die personelle Unterstützung.

7 Literatur

- ASSMANN E, FRANZ, F. (1963): Vorläufige Fichtenertragstafeln für Bayern. In: BAYERISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG, LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN (Hrsg.) (1990): Hilfstafeln für die Forsteinrichtung, 334 S.
- ASSMANN, E. (1961): Waldertragskunde. Organische Produktion, Struktur, Zuwachs und Ertrag von Waldbeständen. BLV Verlagsgesellschaft, München, Bonn, Wien, 490 S.
- BAYSF, BAYERISCHE STAATSFORSTEN (2009): Grundsätze zur Bewirtschaftung von Fichten- und Fichtenmischbeständen im Bayerischen Staatswald. <http://www.baysf.de/de/wald-verstehen/waldbau.html>
- BAYSF, BAYERISCHE STAATSFORSTEN (2014): Grundsätze für die Bewirtschaftung von Kiefern- und Kiefern-mischbeständen im Bayerischen Staatswald. <http://www.baysf.de/de/wald-verstehen/waldbau.html>
- BAYERISCHE FORSTVERWALTUNG (2013): Bayerisches Standortinformationssystem (BaSIS), Anbaurisikokarte für die Baumart Fichte
- CALLAWAY, R. M., WALKER, L. R. (1997): Competition and facilitation: a synthetic approach to interactions in plant communities. *Ecology, Special Feature*. 78 (7): 1958-1965.
- BIBER, P. (2013): Kontinuität durch Flexibilität – Standardisierte Datenauswertung im Rahmen eines waldwachstumkundlichen Informationssystems. *Allgemeine Forst- und Jagdzeitung*. 184(7/8): 167-177.
- BIELAK, K. (2013): Produktivität der Kiefer (*Pinus sylvestris* L.) in Mischung mit Fichte (*Picea abies* (L.) Karst.) im Vergleich zum Reinbestand auf langfristigen Versuchsflächen in Polen. In: Tagungsband 2013 der Sektion Ertragskunde im DVFFA, 166 S.
- BIELAK, K., DUDZIŃSKA, M., PRETZSCH, H. (2014): Mixed stands of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) and Norway spruce (*Picea abies* [L.] Karst) can be more productive than monocultures. Evidence from over 100 years of observation of long-term 3 experiments. *Forest Systems, Special issue* (im Druck).
- BMEL, BUNDESMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG UND LANDWIRTSCHAFT (2014): Der Wald in Deutschland: Ausgewählte Ergebnisse der dritten Bundeswaldinventur. Broschüre, 56 S.
- CONDÉS, S., RIO, M. DEL, STERBA, H. (2013): Mixing effect on volume growth of *Fagus sylvatica* and *Pinus sylvestris* is modulated by stand density. *Forest Ecology and Management*. 292: 86-95.
- DWD, DEUTSCHER WETTERDIENST (2014): Räumlich explizite Temperatur- und Niederschlagswerte nach: MÜLLER-WESTERMEIER, G. (1995): Numerisches Verfahren zur Erstellung klimatologischer Karten, Berichte des Deutschen Wetterdienstes, Nr. 193, Offenbach, 17 S. Daten bereitgestellt durch die BAYERISCHE LANDESANSTALT FÜR WALD UND FORSTWIRTSCHAFT (LWF)
- EUFORGEN (2008): Distribution map of Scots Pine (*Pinus sylvestris*). www.euforgen.org
- EUFORGEN (2013): Distribution map of Norway Spruce (*Picea abies*). www.euforgen.org
- HARPER, J. L. (1977): *Population Biology of Plants*. Academic Press, London, New York, 776-778.
- KELTY, M. J. (1992): Comparative productivity of monocultures and mixed stands. In: KELTY, M. J. et al. (eds.): *The ecology and silviculture of mixed-species forests*. Kluwer Academic Publishers, 125–141.
- KENNEL, R. (1965). Untersuchungen über die Leistung von Fichte und Buche im Rein- und Mischbestand. *Allgemeine Forst- und Jagdzeitung*. 136: 149-161, 173-189.
- KÜSTERS, E., BACHMANN, M., STEINACKER, L., SCHÜTZE, G., PRETZSCH, H. (2004): Die Kiefer im Rein- und Mischbestand: Produktivität, Variabilität, Wachstumstrend. *Mitteilungen aus der Bayerischen Staatsforstverwaltung*, 52. Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, München.
- LEBOURGEOIS, F., GOMEZ, N., PINTO, P., MÉRIAN, P., Mixed stands reduce *Abies alba* tree-ring sensitivity to summer drought in the Vosges mountains, western Europe, *Forest Ecology and Management*. 303: 61-71.
- LINDEN, M., AGESTAM, E., (2003): Increment and Yield in Mixed and Monoculture Stands of *Pinus sylvestris* and *Picea abies* based on an experiment in southern Sweden. *Scandinavian Journal of Forest Research*. 18: 155-162.

- LÜPKE, B. von, 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., BARTELINK, H. H., GARDINER, J. J., PRETZSCH, H., HEKHUIS, H. J., FRANCO, A. (Eds.) (1999): Management of mixed-species forest: silviculture and economics. IBN Scientific Contributions 15, Wageningen, 389 S.
- LWF, BAYERISCHE LANDESANSTALT FÜR WALD UND FORSTWIRTSCHAFT (2014): Nachhaltig und naturnah - Wald und Forstwirtschaft in Bayern: Ergebnisse der dritten Bundeswaldinventur. Broschüre, 18 S.
- MASON, W. L., CONNOLLY, T. (2013): Mixtures with spruce species can be more productive than monocultures: evidence from the Gisburn experiment in Britain. *Forestry*. 1-9.
- MIELIKÄINEN, K. (1980) Mänty-koivusekametsiköiden rakenne ja kehitys. Summary: Structure and development of mixed pine and birch stands. *Communications Instituti Forestalis Fenniae* 99: 1-82.
- MIELIKÄINEN, K. (1985) Koivusekoituksen Vaikutus Kuusikon Rakenteeseen ja Kehitykseen, Effect of an admixture of birch on the structure and development of Norway Spruce Stands. *Communications Instituti Forestalis Fenniae* 133: 1-79.
- MORIN, X., FAHSE, L., SCHERER-LORENZEN, M., H. BUGMANN (2011): Tree species richness promotes productivity in temperate forests through strong complementarity between niches. *Ecology Letters*. 14: 1211-1219.
- OLSTHOORN, A. F. M., BARTELINK, H. H., GARDINER, J. J., PRETZSCH, H., HEKHUIS, H. J., FRANCO, A. (Eds.) (1999): Management of mixed-species forest: silviculture and economics. IBN Scientific Contributions 15, Wageningen, 389 S.
- PIOTTO, D. (2007): A meta-analysis comparing tree growth in monocultures and mixed plantations. *Forest Ecology and Management*. 255: 781-786.
- PRETZSCH, H., UTSCHIG, H. (2000): Wachstumstrends der Fichte in Bayern. *Mitteilungen aus der Bayerischen Staatsforstverwaltung*, 49. Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, München.
- PRETZSCH, H., BIBER, P., DURSKY, J. (2002): The single tree-based stand simulator SILVA: construction, application and evaluation. *Forest Ecology and Management*. 162: 3-21.
- PRETZSCH, H., BIBER, P., (2005): A Re-Evaluation of Reineke's Rule and Stand Density Index. *Forest Science* 51(4): 304-320.
- PRETZSCH, H. (2009a): *Forest Dynamics, Growth and Yield*. Springer Verlag, Berlin, 664 S.
- PRETZSCH, H., SCHÜTZE, G. (2009b): Transgressive overyielding in mixed compared with pure stands of Norway spruce and European beech in Central Europe: evidence on stand level and explanation on individual tree level. *European Journal of Forest Research*. 128: 183-204.
- PRETZSCH, H., BLOCK, J., DIELER, J., DONG, P.H., KOHNLE, U., NAGEL, J., SPELLMANN, H., ZINGG, A. (2010): Comparison between the productivity of pure and mixed stands of Norway spruce and European beech along an ecological gradient. *Annals of Forest Science*. 67: 712.
- PRETZSCH, H., BIELAK, K., BLOCK, J., BRUCHWALD, A., DIELER, J., EHRHART, HP., KOHNLE, U., NAGEL, J., SPELLMANN, H., ZASADA, M., ZINGG, A. (2013a): Productivity of mixed versus pure stands of oak (*Quercus pretraea* (Matt.) Liebl. and *Quercus robur* L.) and European beech (*Fagus sylvatica* L.) along an ecological gradient. *European Journal of Forest Research*
- PRETZSCH, H., BIELAK, K., BRUCHWALD, A., DIELER, J., DUDZINSKA, M., EHRHART, HP., JENSEN, AM., JOHANNSEN, VK., KOHNLE, U., NAGEL, J., SPELLMANN, H., ZASADA, M., ZINGG, A. (2013b): Mischung und Produktivität von Waldbeständen. *Ergebnisse langfristiger ertragskundlicher Versuche*. *Allgemeine Forst- und Jagdzeitung*. 184 (7/8):177-196
- PRUS-GLOWACKI, W., URBANIAK, L., BUJAS, E., CURTU, A. L. (2012): Genetic variation of isolated and peripheral populations of *Pinus sylvestris* (L.). *Flora*, 207: 150-158.
- RIO, M. del, SCHÜTZE, G., PRETZSCH H. (2013): Temporal variation of competition and facilitation in mixed species forests in Central Europe. *Plant Biology*. 16: 166-176.
- RIO, M. del, STERBA, H. (2009): Comparing volume growth in pure and mixed stands of *Pinus sylvestris* and *Quercus pyrenaica*. *Annals of Forest Science*. 66: 502-513
- SCHERER-LORENZEN, M., KÖRNER, C., SCHULZE, E.-D. (2005): *Forest diversity and function*. *Ecological Studies* 176, Springer Verlag, Berlin, Heidelberg
- TAEGER, S., FUSSI, B., KONNERT, M., MENZEL, A. (2013): Large-scale genetic structure and drought-induced effects on European Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) seedlings. *European Journal of Forest Research*, 132: 481-496.
- VALLET, P., PERÔT, T. (2011): Silver fir stand productivity is enhanced when mixed with Norway spruce: evidence based on large-scale inventory data and a generic modelling approach. *Journal of Vegetation Science*. 22: 932-942
- VANDERMEER, J. (1992): *The ecology of intercropping*. Cambridge University Press, 237 S.
- WIEDEMANN, E. (1943): Ertragstafel für die Baumart Kiefer, mäßige Durchforstung. In: BAYERISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG, LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN (Hrsg.) (1990): *Hilfstafeln für die Forsteinrichtung*, 334 S.