



Kiefer und Fichte: gemischt ein starkes Doppel

Ein Waldtyp der Vergangenheit zeigt
in Mischung seine Zukunft auf

1 Fichte (li.) und Kiefer (re.) werden es unter den veränderten Klimabedingungen in der Zukunft nicht leicht haben. Aber gemeinsam könnten sie stärker sein, als man ihnen gemeinhin zutraut.

Fotos: L. Dragon, T. Kulikova, fotolia.com



Klaas Wellhausen und Hans Pretzsch

Kiefern-Fichten-Mischwälder verbindet man typischerweise mit Ländern wie Schweden, Finnland, Russland oder dem Baltikum. Aber auch in Deutschland und Bayern sind sie historisch bedingt noch weit verbreitet – alleine in Bayern auf rund 140.000 ha. Das Wissen über diesen Waldtyp ist aber vergleichsweise gering. Welchen Einfluss haben die Arten aufeinander? Und in wie weit kann dieser »aus der Mode gekommene« Waldtyp den aktuellen und zukünftigen Waldbau ergänzen? Jüngste Untersuchungen über das Wachstum der beiden Arten zeigen interessante Ergebnisse und Optionen.

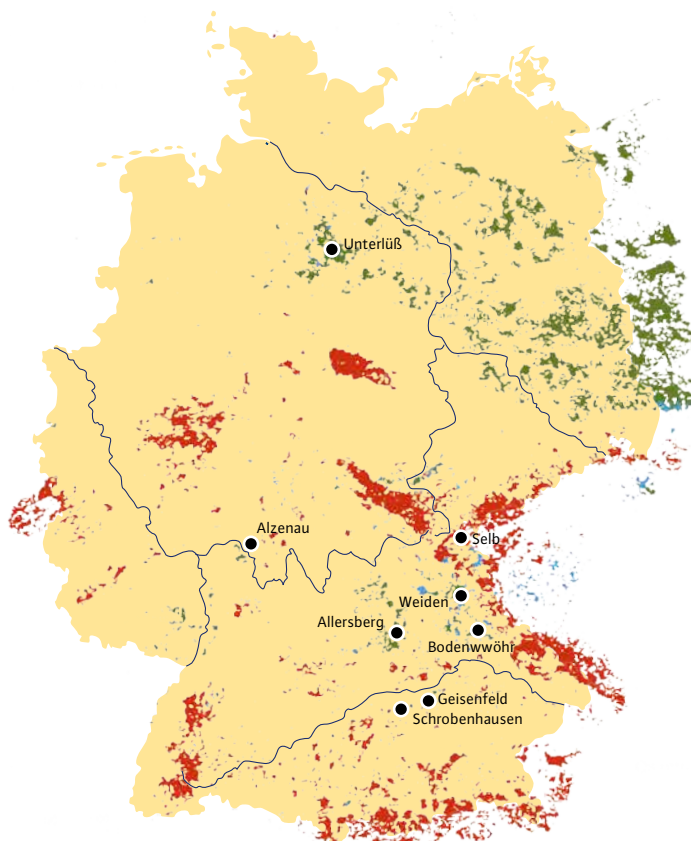
Kiefer (*Pinus sylvestris*) und Fichte (*Picea abies*) sind die in Mittel- und Nordeuropa verbreitetsten und wirtschaftlich bedeutsamsten Baumarten. Rein- und Mischbestände mit führender Kiefer und Fichte machen zusammen etwa 26% der europäischen Waldfläche aus (Brus et al. 2012). In Deutschland haben die Nutzungsgeschichtlich sehr hohen Flächenanteile beider Baumarten hingegen allein im letzten Jahrzehnt um etwa 300.000 ha beziehungsweise 11% abgenommen (Thünen-Institut 2016). Mit einem Waldflächenanteil von 7,7 Millionen ha beziehungsweise 53% zählen Kiefer und Fichte allerdings weiterhin zu den wichtigsten Baumarten in Deutschland.

Die natürlichen Vorkommen

Das natürliche Hauptverbreitungsgebiet der Kiefer reicht von Nordskandinavien und Russland bis in das südliche Frankreich. Hinzu kommen »Inselvorkommen« in Spanien, Frankreich, Italien, Schottland und auf dem Balkan, die sich aber in ihrer genetischen Ausstattung zum Teil deutlich von den Hauptvorkommen unterscheiden (Prus-Głowacki et al. 2012; Taeger et al. 2013). Natürliche Vorkommen der Fichte sind in den gemäßigten

Breiten ursprünglich auf die submontanen bis alpinen Lagen der Mittel- und Hochgebirge beschränkt. Damit überschneiden sich die natürlichen Hauptverbreitungsgebiete von Kiefer und Fichte

insbesondere in den Übergängen zu den Mittelgebirgen der temperierten Zone und im Boreal (EUFORGEN 2009a und b).



Baumartenvorkommen

- Kiefer
- Kiefer-Fichte
- Fichte
- Versuchsstandorte

2 Karte der acht temporären waldwachstumskundlichen W40-Versuchsstandorte und den aus Ergebnissen von Brus et al. (2012) abgeleiteten Vorkommen von Kiefern und Fichte in Rein- und Mischbeständen



3 Temporäre waldwachstumkundliche Versuchsflächen (»Tripletts«) des Projekts W40 am Versuchsstandort Allersberg: Fichten-Reinbestand, Mischbestand, Kiefern-Reinbestand (v.l.n.r.) Fotos: K. Wellhausen

Kiefern und Fichten in Bayern

Bayern liegt zwar am südwestlichen Rand des großen europäischen Kiefernhauptvorkommens, weist aber gemäß der Bundeswaldinventur III mit 417.000 ha immerhin noch fast ein Fünftel der gesamten Kiefernfläche der Bundesrepublik Deutschland auf (Thünen-Institut 2016). Eine Analyse der Ergebnisse von Immitzer et al. (2015) zeigt, dass die Kiefer in Bayern dabei auf etwa 137.000 ha in Mischung mit Fichte vorkommt und nur auf rund 87.000 ha im Reinbestand. Der aktuelle Verbreitungsschwerpunkt der Kiefern-Fichten-Mischbestände liegt in der Mitte und im Nordosten Bayerns.

100 Jahre Kiefern- und Fichtenversuche

Bereits vor 100 Jahren war man sich der großen Flächen- und Wirtschaftsbedeutung der Kiefern-Fichten-Mischbestände und der großen Zahl an offenen wissenschaftlichen und praktischen Fragen bewusst. Der Deutsche Verband Forstlicher Forschungsanstalten (DVFFA) forderte daher bereits 1926, auch für Kiefer und

Fichte vergleichende Versuche in Rein- und Mischbeständen anzulegen. Viele der zu Beginn des 20. Jahrhunderts, insbesondere von Schwappach (1909, 1914) und Wiedemann, angelegten Flächen sind in den Wirren der Weltkriege und der Folgezeit untergegangen (Schilling 1925; Wiedemann 1948). Nur wenige sind erhalten geblieben und konnten von Bielak et al. im Jahr 2014 erneut ausgewertet werden. Erst wieder in den 1950/60er Jahren legte man im Rahmen von Wiederaufforstungsprojekten in England und Schweden systematische vergleichende Blockversuche an (Brown 1992; Jonsson 2001). Nur wenig später begann man auch damit, das Wachstum von Mischbeständen anhand des Einzelbaumwachstums näher zu analysieren (Jonsson 1962; Agestam 1985). Dies mündete in den 1980/90er Jahren auch in Deutschland und Österreich in der Anlage einzelbaumorientierter Mischbestandsversuchsflächen und der Entwicklung einzelbaumbezogener Waldwachstumssimulatoren für Mischbestände (Pretzsch 1992; Hasenauer 1994).

W40: »Kiefern-Fichten-Mischbestände in Bayern«

Bis heute gibt es damit in Deutschland und den Nachbarstaaten nur wenige langfristige Versuche in Kiefern-Fichten-Mischbeständen (Pretzsch und Schütze 2004; Satlawa 2013). Der Großteil der Versuche wurde als temporäre Versuchsflächen angelegt (Künstle 1962; Poleno 1975, 1979, 1981, 1986; Schulze 1972; Kasa 1975;). Den meisten dieser Versuche fehlen zudem Reinbestände als Referenz, so dass bei der Auswertung Reinbestandsertragstabellen als Behelf verwendet werden mussten (Bielak et al. 2014; Pretzsch und Schütze 2004 a). Vor diesem Hintergrund wurden im Rahmen des Kuratoriumsprojekts W40 »Kiefern-Fichten-Mischbestände in Bayern« in den Jahren 2013 und 2014 acht Versuche in etwa 70-jährigen möglichst wenig oder undurchforsteten Waldbeständen angelegt. Die Versuche, auch »Tripletts« genannt, umfassen jeweils eine Fläche mit reiner Kiefer und reiner Fichte sowie eine Fläche mit beiden Baumarten in einzelstamm-

Bestandstyp	Statistik	Fläche	Alter	Stammzahl		Grundfläche	Vorrat	Durchmesser		Höhe		Zuwachs	
				Anzahl	SDI	g	v	dg	do	hg	ho	ig	iv
		[m ²]	[Jahre]	[N/ha]		[m ² /ha]	[m ³ /ha]	[cm]		[m]		[m ² /ha*a]	[m ³ /ha*a]
Mischbestand	min	586	60	853	937	43,8	426	21,0	32,4	20,4	24,0	0,73	12,6
	mittel	779	74	1178	1049	51,3	603	25,2	37,6	24,1	28,3	1,08	18,5
	max	1212	89	1846	1268	63,8	875	30,7	45,3	28,5	32,8	1,42	28,4
Kiefer, rein	min	251	60	472	734	36,3	394	25,6	31,7	22,3	23,2	0,59	10,9
	mittel	392	69	725	874	44,6	520	28,5	35,9	25,6	26,9	0,90	15,4
	max	541	85	989	1081	52,8	668	33,7	42,9	29,2	29,8	1,18	21,9
Fichte, rein	min	251	60	635	853	42,5	495	19,3	32,1	20,0	23,9	0,81	15,0
	mittel	417	72	1052	1034	51,2	643	25,8	38,7	25,3	29,1	1,04	19,3
	max	637	93	1866	1215	62,5	932	32,7	46,0	30,6	35,1	1,36	24,8

4 Ertragskundliche Kennwerte der acht temporären Versuchsstandorte zum Aufnahmezeitpunkt 2013/14

dg = Durchmesser des Grundflächenmittelstammes
do = Durchmesser der 100 stärksten Bäume
ig = Grundflächenzuwachs
hg = Höhe des Grundflächenmittelstammes
ho = Oberhöhe
iv = Volumenzuwachs

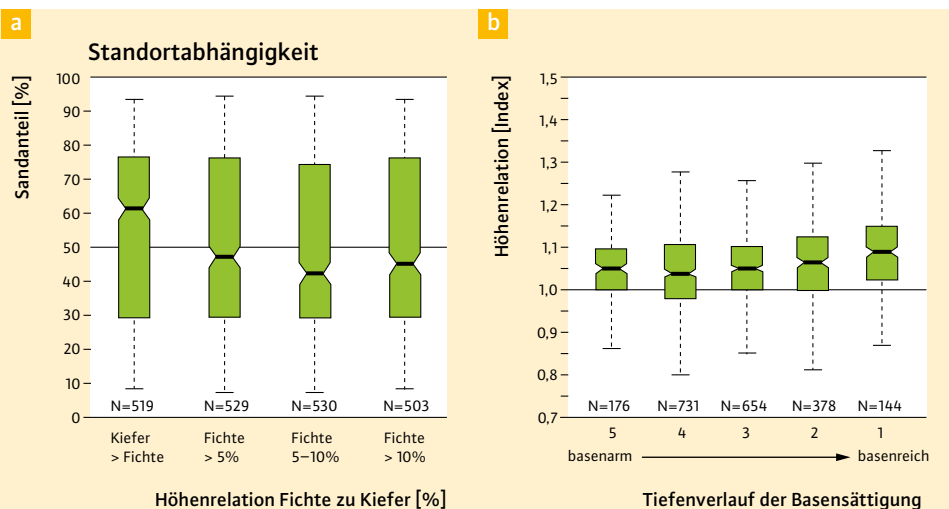
weiser Mischung (Abbildung 3; Ertragskundliche Basisdaten in Abbildung 4). Die Flächen wurden waldmesskundlich erfasst und zusätzlich an etwa 480 Bäumen Bohrspäne entnommen und an weiteren 160 Bäumen Stammanalysen auf Basis von Stammscheiben durchgeführt. Die Durchmesser- und Höhenrückmessungen bilden die Grundlage für eine Rekonstruktion der Bestands- und Volumenentwicklung über einen Zeitraum von 30 Jahren. Der im Betrachtungszeitraum ausgeschiedene Baumbestand wurde über eine Stockinventur abgebildet. Weiterhin wurden analog zur bundes- bzw. bayernweiten Bodenzustandserhebung Bodenproben auf den Versuchsflächen gewonnen. Die Abhängigkeit des Höhenwachstums und der Bestandsstruktur von den Standortbedingungen wurde auf Basis dieser Bodeninformationen analysiert. Für den Staatswald wurden auch die Daten der Stichprobeninventur und des Bayerischen Standortinformationssystem BASIS analysiert (BaySF 2015; LWF 2016).

Horizontale und vertikale Raumbesetzung
Die horizontale und vertikale Raumbesetzung in Mischbeständen wird maßgeblich von den ökologischen Eigenschaften der beteiligten Arten bestimmt. Kiefer und Fichte unterscheiden sich nicht nur in ihrer altersabhängigen Wuchsdynamik (frühkulminierend vs. spätkulminierend), sondern auch in ihrer Lichtökologie (lichtbedürftig vs. schattenertragend). Dabei verfügt die Kiefer über einen deutlich geringeren Blattflächenindex und einen geringeren Lichtextinktionsfaktor. Fichten haben einen niedrigen Lichtkompensationspunkt (Halbschattbaumart) und können auch in enger Nachbarschaft zu den lichtdurchlässigeren Kiefern positive Nettophotosyntheseleistungen erbringen. Kiefern-Fichten-Mischbestände weisen daher eine heterogenere und dichtere horizontale und vertikale Besetzung des Kronenraumes auf (Abbildung 3). Die Spannweite der Durchmesser- und Höhenverteilung ist im Mischbestand meist

signifikant höher als in den entsprechenden Reinbeständen. Es ergeben sich rechtsschiefe Verteilungen mit mehr lebensfähigen kleinen und mittleren Fichten (Pretzsch und Schütze 2015). Die Kronenschirmfläche in den Mischbeständen übersteigt die Erwartungswerte der korrespondierenden Reinbestände um etwa 40% (Spatz 2015). Die normierte Stammzahl (SDI: Stand-Density-Index nach Reineke, s. Pretzsch 2005, 2009) steigt um etwa 10% und die Grundfläche um 9%.

Höhenwachstum

Die Höhenwuchsleistung herrschender Fichten unterscheidet sich in der untersuchten Altersphase von 35 bis 85 Jahren nicht zwischen Rein- und Mischbestand. Auch für die Kiefer war kein verändertes Höhenwachstum nachweisbar. Offenbar gibt es in den Mischbeständen keine Mischungseffekte, die das Höhenwachstum steigern oder bremsen. Spatz (2015) konnte allerdings auf Basis von Schaftformanalysen nachweisen, dass das Verhältnis von Höhe zu Durchmesser (H/D-Verhältnis) im Jungbestand (Alter 20) sehr wohl noch Unterschiede zwischen Rein- und Mischbestand zeigt. Kiefern wachsen in dieser Altersphase in Mischung offenbar mit geringerem Konkurrenzdruck auf und haben entsprechend niedrigere H/D-Werte. Die Baumart Fichte gerät in dieser Altersphase durch das rasche Jugendwachstum der Kiefer un-



5 Standortabhängigkeit der Höhenrelation von Fichte und Kiefer an Inventurpunkten im Bayerischen Staatswald (Mischung mit Alter > 70 Jahre) in Abhängigkeit (a) vom Sandanteil und (b) vom Tiefenverlauf der Basensättigung

ter Konkurrenzdruck und zeigt deutlich schlankere Stämme als im Reinbestand. Dieser Unterschied zwischen Rein- und Mischbestand gleicht sich bis zum Alter von 60 bis 70 Jahren wieder aus.

Viel Sand und wenig Basen: Gut für die Kiefer, schlecht für die Fichte

In der Höhenkonkurrenz ist die Fichte der Kiefer in Mischbeständen im Allgemeinen um etwa 5% überlegen. Diese Höhenrelation der beiden Baumarten verschiebt sich mit dem Alter und den standörtlichen Wachstumsbedingungen (Künstle 1962; Schulze 1972; Kasa 1975). In der Jugend dominiert die Kiefer noch auf den meisten Standorten. In Beständen älter als 70 Jahre dominiert die Kiefer nur noch auf sandigen basenarmen Standorten. Inventurdaten aus dem Bayerischen Staatswald zeigen, dass die Konkurrenzkraft der Fichte mit zunehmendem Sandanteil nachlässt (Abbildung 5 a). Bereits bei einem Sandanteil von etwa 50% erreicht die Fichte bestenfalls die Höhe der Kiefer, kann diese aber nicht mehr überwachsen. Auch bei vergleichsweise geringem Nährstoffangebot (Tiefenverlaufstypen der Basensättigung 4 und 5 in Abbildung 5 b) lässt die Konkurrenzkraft der Fichte erkennbar nach. Die temporären Versuchsflächen des Projekts W40 bewegen sich überwiegend in diesem Bereich geringer Basenausstattung (Basenverlaufstypen 4(5)) und hoher Sandanteile von über 60%. Entsprechend findet sich dort bis zum untersuchten Alter von durchschnittlich etwa 70 Jahren ein ausgeglichenes Höhenverhältnis von Kiefer und Fichte.

Produktivität

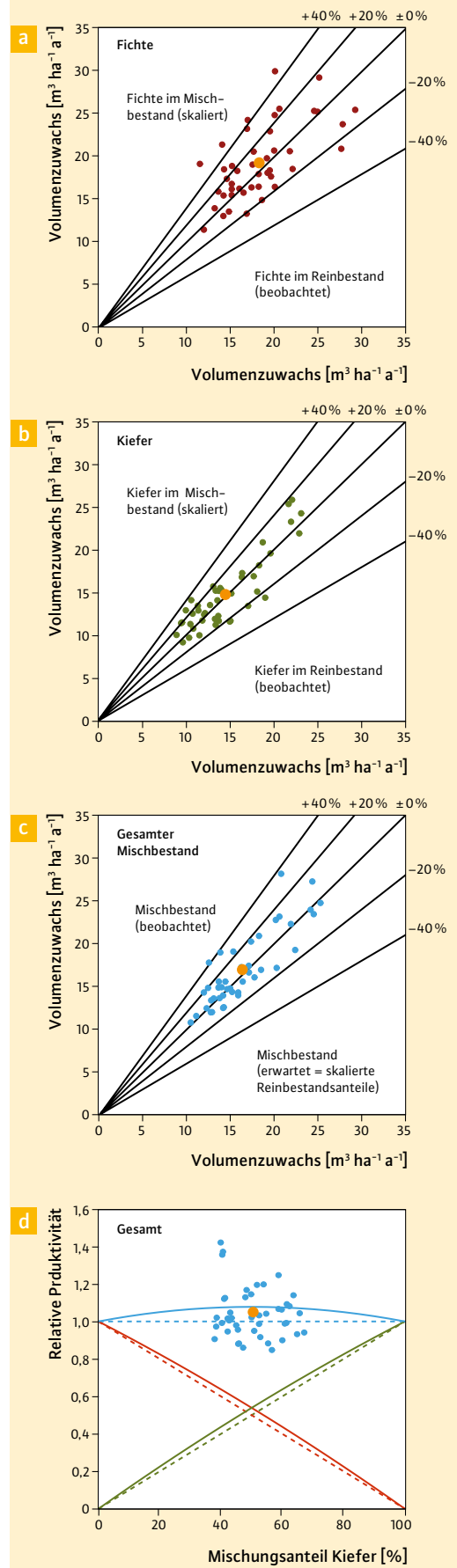
Die Grafiken (a) und (b) in der Abbildung 6 vergleichen den »rekonstruierten« beobachteten Zuwachs im Reinbestand mit dem auf Basis des Wachstums von Kiefer oder Fichte im Mischbestand erwarteten Zuwachs. Grafik (c) zeigt hingegen den Vergleich des beobachteten Zuwachses im Mischbestand mit dem auf Basis der korrespondierenden Reinbestände erwarteten Zuwachses. Grafik (d) stellt das Verhältnis der Zuwächse aus (c) im Kreuzdiagramm (relative Produktivität), inklusive der Beiträge der einzelnen Baumarten (Kiefer=grün; Fichte=rot), zusammenfassend dar. Das auf den Versuchsflächen vergleichsweise ausgegliche-

ne Konkurrenzverhältnis zwischen Kiefer und Fichte führt zu einer höheren Bestandsproduktivität und zu einem relativen Mehrzuwachs der Mischbestände (Abbildung 6 a/d). Vergleicht man den Volumenzuwachs der Mischbestände mit dem auf Basis der benachbarten Reinbestände erwarteten Zuwachs, so zeigt sich in Abbildung 6 c/d ein Mehrzuwachs von insgesamt +4%. Dieser Mehrzuwachs wird offenbar im Wesentlichen von der Baumart Fichte (a) getragen (+7%). Dies bestätigt auch die Analyse des Grundflächenzuwachses. Demzufolge leisten die Mischbestände einen relativen Mehrzuwachs von +8% (Fichte: +22%, Kiefer: -2%).

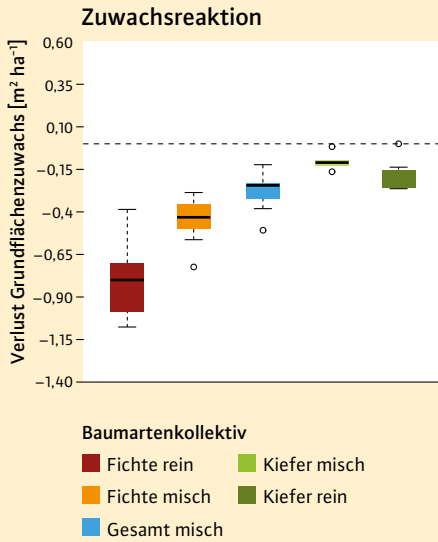
Eine weiterführende Analyse auf Einzelbaumebene bestätigt, dass die Fichte offenbar besonders vom Wachstum in Mischung mit der Kiefer profitiert. Demnach führt eine Kiefernbeimischung von 50% in unmittelbarer Nachbarschaft zu einer Fichte zu einem jährlichen Volumenmehrzuwachs von +18%. Eine vergleichbare Kiefer mit einer 50%igen Fichtenbeimischung in der unmittelbaren Umgebung büßt hingegen 7% an Volumenzuwachs ein. Dies deckt sich mit den Ergebnissen von Spatz (2015) zur Kronenentwicklung. Spatz zeigt auf Basis von 1.675 Kronenablotungen, dass eine Kiefernkrone eines 30 m hohen sowie eines 25 cm dicken Baumes im beobachteten Alter von durchschnittlich etwa 70 Jahren um 5% kleiner und 5% kürzer ist. Gleichzeitig weisen vergleichbare Fichten eine um 10% größere und fast 35% längere Krone auf.

Zuwachsreaktion auf Trockenstress

Auf den temporären Versuchsflächen zeigt sich weiterhin die größere Trockenheitssensitivität der Baumart Fichte. Im Vergleich zu einer jeweils dreijährigen Vorperiode beträgt der durchschnittliche trendbereinigte Zuwachseinbruch herrschender Fichten im Rein- und Mischbestand in den Trockenjahren von 1947 bis 2003 und den jeweils folgenden zwei Verlustjahren etwa -38% (Kiefer -18%). Darüber hinaus zeigt sich auch, dass die Baumarten abweichende Erholungsfähigkeiten aufweisen. Brauchen Kiefern rechnerisch 2,3 Jahre, um wieder das Zuwachsniveau vor dem Trockenjahr zu erreichen, so sind dies bei der Baumart Fichte 2,7 Jahre.



6 Vergleich des periodischen jährlichen Volumenzuwachses in den Kiefern- und Fichten-Rein- und Mischbeständen der acht temporären Versuchsstandorte



8 Entwicklungstypen in Kiefern-Fichten-Mischbeständen in Anlehnung an die Arbeiten von Schilling (1925), Schulze (1972) und Schwappach (1909). Die Konkurrenzverhältnisse determinieren den Bestandsaufbau (oben), die Alters-Höhen-Verläufe (Mitte) und die Entwicklung der Bestandsvorräte (unten).

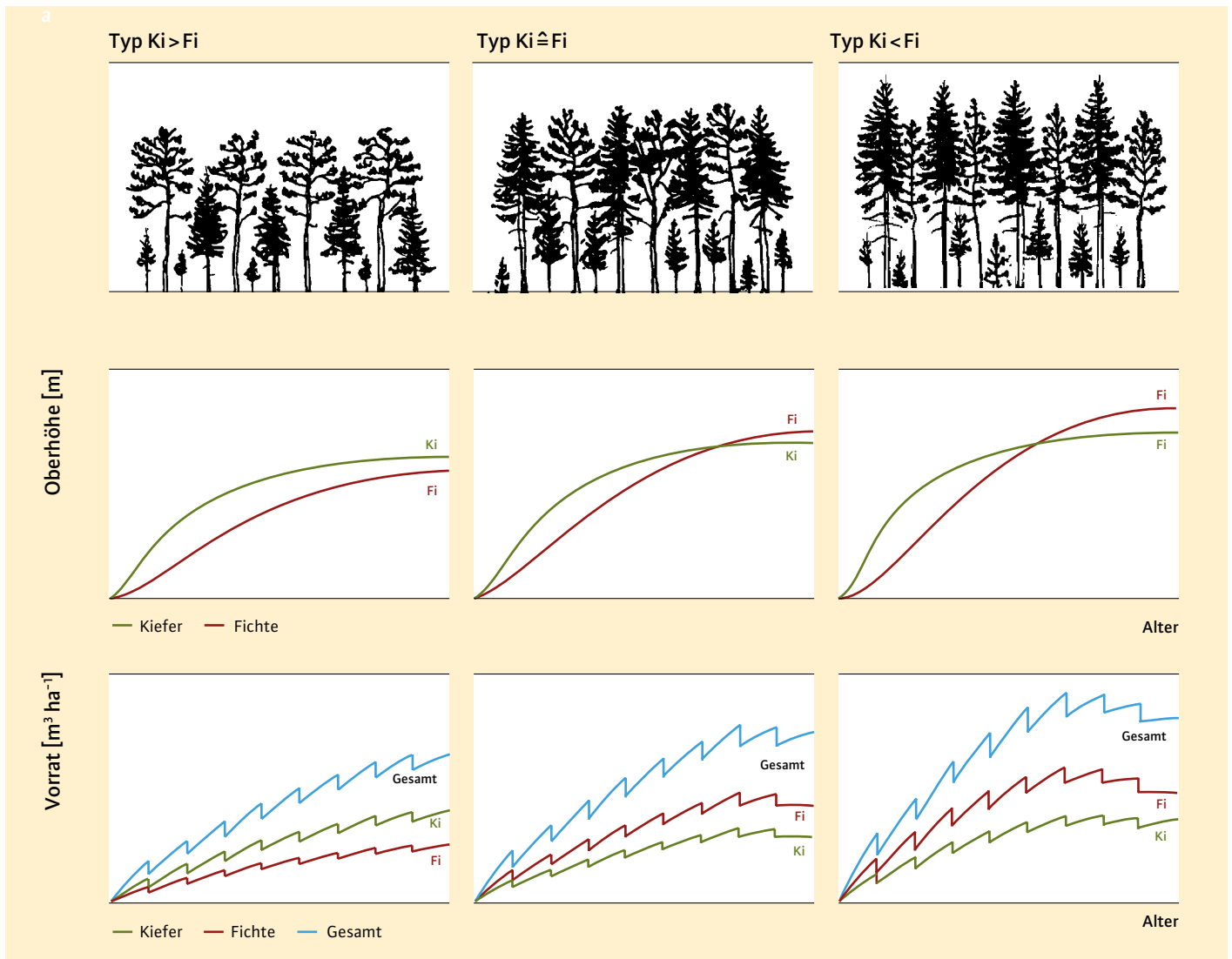
7 Jahringbasierte Analyse der Zuwachsreaktion in Trockenjahren an den acht temporären Versuchsstandorten; Zuwachsverlust gebohrter und nicht gebohrter Parzellenbäume ($n=1.361$) im Trockenjahr 2003 und den darauffolgenden zwei Verlustjahren;

Überträgt man das Zuwachsverhalten der ausgewählten Bohrungs-bäume auf das gesamte Bestandeskollektiv und die Einheitsfläche von 1 ha, so zeigt sich in Fichten-Reinbeständen für das Trockenjahr 2003 und für die darauf folgenden zwei Verlustjahre ein Zuwachseinbruch von insgesamt $-0,80 \text{ m}^2/\text{ha}$ (Abbildung 7). Dieser Verlust entspricht etwa 80 % des Zuwachses eines durchschnittlichen Jahres. Fichten im Mischbestand weisen im direkten Vergleich einen geringeren Zuwachsverlust auf. Gepaart mit einem noch geringeren Zuwachseinbruch der Baumart Kiefer ($-0,15 \text{ m}^2/\text{ha}$) führt dies in der Summe in Kiefern-Fichten-Mischbeständen zu einer Abpufferung trockenheitsbedingter Zuwachsverluste. Bei einer Zunahme von Trockenereignissen könnte

dieser Effekt darüber hinaus sogar die allgemeine Produktivitätsrelation zwischen Kiefer und Fichte und zwischen Rein- und Mischbeständen weiter zu Gunsten der Mischbestände verschieben.

Entwicklungstypen

Die Auswertung der temporären Versuchsflächen und Inventurdaten aus dem Bayerischen Staatswald ermöglicht eine allgemeine Differenzierung unterschiedlicher Entwicklungstypen in gleichartigen Kiefern-Fichten-Mischbeständen (Abbildung 8). Die Abgrenzung der Bestandstypen orientiert sich dabei an den Arbeiten von Schwappach (1909; 1914), Schilling (1925) und Schulze (1972). Der Typ *Kie=Fi* spiegelt ein überwiegend ausgewogenes Konkurrenzverhältnis von Kiefer und Fichte wider (Abbildung 8, Mitte). Unter heutigen Wachstumsbedingungen repräsentiert dieser Bestandstypus das Standortspektrum mäßig nährstoff- und wasserversorgter,



schwach lehmiger oder toniger Sande. Dieser Bestandstyp entspricht in etwa den Standortverhältnissen auf den temporären Versuchsflächen des Projekts W40. Waldbauliche Eingriffe dienen hier im Wesentlichen der Steuerung von Mischungsanteilen. Solche Eingriffe können den Wuchsraum und die Größenentwicklung der jeweiligen Art fördern, sind aber nicht für den Erhalt der Arten im Bestandsgefüge erforderlich

Auf noch trockeneren, nährstoffärmeren und flachgründigen Standorten oder noch sandigeren sowie sehr feuchten Standorten nimmt die Höhenwuchsleistung der Fichte stärker ab als jene der Kiefer, so dass die Kiefer von der Jugend an dominiert und sich der Bestandstypus *Kie > Fi* ausbildet (Abbildung 8, links). Waldbauliche Eingriffe orientieren sich an den Vorgehensweisen in Kiefern-Reinbeständen.

Auf besser wasserversorgten und nährstoffreicheren, in der Regel lehmigeren Standorten, bildet sich der Entwicklungstyp *Kie < Fi* aus (Abbildung 8, rechts). In diesem Typus dominiert die Fichte die Höhenentwicklung deutlich früher im Bestandsleben (ab ca. 50–70 Jahren), unter besonders günstigen Bedingungen in Mitteleuropa zum Teil sogar bereits ab der frühesten Jugend (Kasa 1972; Künstle 1962 a; Schulze 1972; Wiedemann 1951). Mit zunehmender Höhenüberlegenheit der Fichte gerät die Kiefer unter Lichtkonkurrenz und wird in ihrer seitlichen Kronenentwicklung eingeengt, was schließlich zu ihrem Ausfall führen kann. Ohne kontinuierliche Förderung wird die Kiefer in diesem Bestandstyp fortlaufend an Mischungsanteilen verlieren (s. hierzu z. B. Schilling 1925). Zum Erhalt müssten bereits in mittelalten Beständen Fichten im Umfeld der Kiefer entnommen werden. Das führt unweigerlich zu Grundflächenabsenkungen und Zuwachsrückgängen, die von der Kiefer in Altbeständen kaum kompensiert werden können. Vor dem Hintergrund laufender klimatischer Veränderungen und vergleichsweise hoher Risikoeinstufung fichtendominierter Waldbestände in weiten Teilen Bayerns (Beck et al. 2012; Taeger und Kölling 2016; Taeger et al. 2016) erscheinen Eingriffe zugunsten der Baumart Kiefer und zulasten der Baumart Fichte im Bestandstyp *Kie < Fi* aber durchaus als sinnvoll.



9 Stammzahlreicher, wüchsiger Kiefern-Fichten-Bestand auf einem wuchskräftigen, schwach lehmigen Tertiärsand (Versuchsstandort Geisenfeld): Auf solchen Standorten entwickeln sich Kiefern-Fichten-Bestände häufig hin zu fichtenreichen Folgebestockungen. Foto: Lehrstuhl für Waldwachstumskunde, TUM

Entwicklungsperspektiven

Die Zukunft von Kiefern-Fichten-Mischbeständen hängt maßgeblich von den zukünftigen klimatischen und standörtlichen Entwicklungen ab. Für Bayern liegt mit dem digitalen Standortinformationssystem BaSIS und den darin enthaltenen Anbauriskokarten eine regelbasierte Abschätzung des zukünftigen Anbaurisikos für fast alle heimischen Baumarten vor (Beck et al. 2012; Taeger und Kölling 2016; Taeger et al. 2016). Diese Einschätzung beruht auf aktuellen klimatisch beeinflussten Vorkommenswahrscheinlichkeiten sowie Klimaprojektionen, Bodeninformationen und Expertenwissen. Praktikern steht damit ein wichtiges Hilfsmittel für waldbauliche und betriebliche Entscheidungen zur Verfügung.

Klimawandel schwächt Fichte mehr als Kiefer

Diese aus einer Vielzahl von Faktoren abgeleitete zukünftige Überlebensfähigkeit einer Baumart bietet aber letztlich noch keinen unmittelbaren waldwachstumskundlichen Hinweis auf eine etwaige Verschiebung der Konkurrenzverhältnisse zwischen den Baumarten. Verwendet man statt einer globalen Überlebensfähigkeit das Jahrringwachstum als Vitalitätsweiser, lassen sich aus der Reaktion auf Klima- und Witterungsschwankungen allgemeine baumartenspezifische Verhaltensmuster ableiten. Auf Grundlage der hier vorgestellten Ergebnisse und der Arbeiten von Pichler und Oberhuber (2007),

Schuster und Oberhuber (2013) sowie Zang (2011) bestätigt sich die größere Zuwachsreduktion der Baumart Fichte bei Trockenstress. Damit dürfte die Fichte bei einer prognostizierten allgemeinen Erwärmung und einer häufigeren Wiederkehr von Trockenereignissen in fast allen Entwicklungstypen der Kiefern-Fichten-Mischbestände (Abbildung 8) außerhalb der Gebirgslagen an Vitalität und Konkurrenzkraft einbüßen (Falk et al. 2015) und Flächenanteile verlieren. Die Kiefer könnte ihre heutigen Flächenanteile entsprechend halten, beziehungsweise sogar ausbauen.

Waldbau fördert Schattbaumarten

Diese klimatisch bedingte natürliche Dynamik zugunsten der Baumart Kiefer wird allerdings von folgenden, im Wesentlichen menschlich beeinflussten Entwicklungen überlagert: Beispielsweise begünstigen etablierte waldbauliche Verfahren mit einzelstammweiser Nutzung und langen Verjüngungszeiträumen schattentolerantere Klimaxbaumarten. Ferner führen die erhöhten Stickstoff- und drastisch reduzierten Schwefeldepositionen sowie die abschließende Aufgabe der Streunutzung in den 1950er Jahren zu standörtlichen Verbesserungen. Dies ermöglicht eine hohe Verjüngungsdynamik der Baumart Fichte und erschwert zugleich die Verjüngungsbedingungen für die Baumart Kiefer (Brosinger und Tretter 2007).

In Kombination führen diese Faktoren letztlich zu einem deutlichen Rückgang der Kiefern-Reinbestände und Kiefern-Fichten-Mischbestände. Mit Blick auf eine ökonomische und ökologische Diversifizierung und Risikostreuung sowie die höhere Produktivität und Stabilität von Mischbeständen erscheint es allerdings durchaus sinnvoll, auch zukünftig die Chancen und Möglichkeiten von Kiefern-Fichten-Mischbeständen, gegebenenfalls als Zeitmischung sowie unter Beteiligung weiterer Mischbaumarten, zu nutzen (Brosinger und Tretter 2007). Anders als in der Vergangenheit sollte dies jedoch nicht zu großen einförmigen Beständen führen, sondern zu kleineren, aber noch gut zu bewirtschaftenden Teilflächen. Hierzu sind in geeigneten Wuchsräumen Nord- und Nordostbayerns angepasste Waldbauverfahren und Verjüngungstechniken erforderlich. Dazu gehören räumlich differenzierte, sehr leichte Schirmstellungen und gegebenenfalls auch standörtlich angepasste Bodenbearbeitungsverfahren. Zur optimalen Ausschöpfung der Wirkung von Mischbeständen (Mischbestandeffekten) sollten hierbei auch einzelstammweise Mischungsformen ermöglicht werden.

Zusammenfassung

In Bayern stocken auf 140.000 ha Kiefern-Fichten-Mischbestände. Zur Analyse des Wachstums in Rein- und Mischbeständen wurden acht temporäre Versuchsflächen angelegt und Daten der Stichprobeninventur im Bayerischen Staatswald ausgewertet. Ergebnis: Auf sandigen Bodensubstraten mit geringer Basenausstattung ist das Verhältnis der Höhenkonkurrenz von Kiefer und Fichte ausgeglichen. In entsprechenden Beständen führt das gemeinsame Wachstum der Lichtbaumart Kiefer und der Halbschattbaumart Fichte zu einer intensiveren Raumbesetzung und höheren Bestandsdichte. Gleichzeitig steigen Volumen- und Grundflächenzuwachs im Vergleich zum Erwartungswert der benachbarten Reinbestände. Der Einzelbaumzuwachs der Fichte nimmt auf Kosten der Kiefer zu. Trockenheit reduziert den Zuwachs der Fichte stärker als den der Kiefer. Der Mischbestand mindert den starken Zuwachseinbruch der Fichte. In Abhängigkeit von der Größen- beziehungsweise Konkurrenzrelation werden drei Entwicklungstypen von Kiefern-Fichten-Mischbeständen unterschieden: Kie>Fi, Kie=Fi, Kie<Fi. Aufgrund der vergleichsweise hohen Produktivität und Stabilität sollten auch zukünftig einzelstammweise gemischte Kiefern-Fichten-Mischbestände insbesondere vom Typ Kie=Fi unter Beteiligung weiterer Mischbaumarten in geeigneten Wuchsräumen in Nord- und Nordostbayern am Waldaufbau beteiligt werden.

Literatur

- Agestam, E. (1985):** En produktionsmodell för blandbestånd av tall, gran och björk i Sverige. Garpenberg, Swede (Sveriges Lantbruksuniversitet Rapportser, 91-576-2528-x, 0348-7636)
- BaySF (2015):** Daten der Stichprobeninventur im Bayerischen Staatswald
- Beck, J.; Dietz, E.; Falk, W. (2012):** Digitales Standortinformationssystem für Bayern. LWF aktuell 87, S. 20-23
- Bielak, K.; Dudzinska, 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 experiments. *Forest Systems* 23 (3), S. 573-589. DOI: 10.5244/fs/2014233-06195
- Brosinger, F.; Tretter, S. (2007):** Waldbau im Zeichen des Klimawandels. Anpassung durch Waldbau und naturnahe Forstwirtschaft. LWF aktuell 60, S. 21-23
- Brown, A. (1992):** Functioning of mixed-species stands at Gisburn, NW England. In: Cannell, Malcolm und Robertson (Hg.): *The ecology of mixed-species stands of trees*. Oxford: Blackwell
- Brus, D. J.; Hengeveld, G. M.; Walvoort, D. J. J.; Goedhart, P. W.; Heidema, A. H.; Nabuurs, G. J.; Gunia, K. (2012):** Statistical mapping of tree species over Europe. *European Journal of Forest Research* 137(1), S. 145-157
- DVFFA – Deutscher Verband Forstlicher Forschungsanstalten (1926):** Anleitung zur Ausföhrung von Untersuchungen in gemischten Beständen. In: *Forstwissenschaftliches Centralblatt* 48 (11), S. 813-816. DOI: 10.1007/bfo2424307
- EUFORGEN (2009a):** Distribution map of Norway spruce (*Picea abies* L.). EUFORGEN. Online verfügbar unter www.euforgen.org
- EUFORGEN (2009b):** Distribution map of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.). EUFORGEN. Online verfügbar unter www.euforgen.org
- Falk, W.; Brandl, S.; Klemm, H.-J.; Bender, A.; Stricker, G.; Rötzer, T. et al. (2015):** Wachstumspotenzial der Hauptbaumarten. LWF-Projekt zeigt flächendeckend für Bayern das potenzielle Höhenwachstum von Fichte, Kiefer und Buche. LWF aktuell 106, S. 53-56
- Hasenauer, H. (1994):** Ein Einzelbaumwachstumssimulator für ungleichaltrige Fichten- Kiefern- u. Buchen-Fichtenmischbestände. Wien: Österreichische Gesellsch. f. Waldökosystemforschung u. Experimentelle Baumpförschung (Forstl. Schriftenreihe Universität für Bodenkultur, Wien)
- Immitzer, M.; Einzmann, K.; Böck, S.; Mattiuzzi, M.; Ng, W. T.; Wallner, A. et al. (2015):** Erstellung von Fichten- und Kiefernanteilkarten auf Basis von Satellitendaten für Bayern. Bd. 214: Zentrum Wald-Forst-Holz Weihenstephan (Forstliche Forschungsberichte München), S. 19-32
- Jonsson, B. (1962):** Yield of mixed coniferous forests – The height and diameter growth of Scots pine and Norway spruce in virgin stands at various proportions mixture in northern Sweden and the provinces of Kopparberg and Värmland. Stockholm (Meddelanden från Statens skogsforskningsinstitut)
- Jonsson, B. (2001):** Volume yield to mid-rotation in pure and mixed stand of *Pinus sylvestris* and *Picea abies* in Sweden. Unter Mitarbeit von Dept. of Forest Resource Management. Uppsala (Studia forestalia Suecica, 0039-3150)
- Kasa, H. (1975):** Untersuchungen an Kiefern-Fichten-Mischbeständen des niedersächsischen Tieflands in ertragskundlich-standörtlicher Sicht. Dissertation. Göttingen, Georg-August-Universität, Göttingen. Forstliche Fakultät
- Künstle, E. (1962):** Das Höhenwachstum von Fichte, Tanne und Kiefer in Mischbeständen des östlichen Schwarzwaldes. Allg. Forst- u. Jagdztg. 133, S. 67-79, 89-102
- Küsters, E.; Bachmann, M.; Steinacker, L.; Schütze, G.; Pretzsch, H. (2004):** Die Kiefer im Rein- und Mischbestand. Produktivität, Variabilität, Wachstumstrend. Mitteilungen aus der Bayer. Staatsforstverwaltung. München: Bayerische Staatsforstverwaltung, S. 345
- LWF – Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (2016):** Bayerisches digitales Standortinformationssystem BaSIS
- Pichler, P.; Oberhuber, W. (2007):** Radial growth response of coniferous forest trees in an inner Alpine environment to heat-wave in 2003. *Forest Ecology and Management* 242 (2-3), S. 688-699. DOI: 10.1016/j.foreco.2007.02.007
- Poleno, Z. (1975):** Smisene porosty smrk s borovicí (21). In: *Lesnictví* (10), S. 899-912
- Poleno, Z. (1979):** Complex evaluation of mixed forest stands. In: *Communications Instituti Forestalis* (11), S. 113-126

Autoren

Klaas Wellhausen war Mitarbeiter am Lehrstuhl für Waldwachstumskunde der Technischen Universität München und hat das Projekt W40 »Kiefern-Fichten-Mischbestände in Bayern« federführend bearbeitet. Prof. Dr. Hans Pretzsch ist Leiter des Lehrstuhls für Waldwachstumskunde der Technischen Universität München und hat das Projekt W40 wissenschaftlich geleitet.

Kontakt: Hans.Pretzsch@lrz.tum.de

Links

Weiterführende Informationen zu waldwachstumskundlichen Untersuchungen in Mischbeständen unter <http://waldwachstum.wzw.tum.de/publications.html>

Projekt

Das Kuratoriumsprojekt W40 »Kiefern-Fichten-Mischbestände in Bayern« wurde vom Bayerischen Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten gefördert.

- Poleno, Z. (1981):** Vyvoj smisených porostu (Development of mixed forest stands). (In Czech with English summary). In: *Prace VULHM* (59), S. 179-202
- Poleno, Z. (1986):** Bežny prírúst ve smisených porostech (The current increment of mixed forest stands). (In Czech with English summary). In: *Prace VULHM* (68), S. 179-214
- Pretzsch, H. (1992):** Konzeption und Konstruktion von Wuchsmo-dellen für Rein- und Mischbestände. Forstliche Forschungsberichte München – Schriftenreihe der Forstwissenschaftlichen Fakultät der Universität München und der Bayer. Forstlichen Versuchs- und Forschungsanstalt
- Pretzsch, H. (2005):** Link between the self-thinning rules for herbaceous and woody plants. *Scientia Agriculturae Bohemica* 36 (3), S. 96-107
- Pretzsch, H. (2009):** Forest Dynamics, Growth and Yield. From Measurement to Model. Berlin Heidelberg: Springer
- Pretzsch, H.; Schütze, G. (2004a):** Die Kiefer im Mischbestand. Analyse zu Diversität, Produktivität und Struktur von Kiefern-Mischbeständen. In: *Bayerische Staatsforstverwaltung (Hg.): Die Kiefer im Rein- und Mischbestand. Produktivität, Variabilität, Wachstumstrend, Bd. 52. München (Mitteilungen aus der Bayerischen Staatsforstverwaltung, 52), S. 231-326*
- Pretzsch, H.; Schütze, G. (2004b):** Analyse zu Diversität, Produktivität und Struktur von Kiefern-Mischbeständen. In: *Bayerische Staatsforstverwaltung (Hg.), Bd. 52. München: Bayerisches Staatsministerium für Landwirtschaft und Forsten (Mitteilungen aus der Bayerischen Staatsforstverwaltung), S. 345*
- Pretzsch, H.; Schütze, G. (2015):** Effect of tree species mixing on the size structure, density, and yield of forest stands. *Europ. J. of Forest Research*, S. 1-22. DOI: 10.1007/s10342-015-0913-2
- Prus-Głowacki, W.; Urbaniak, L.; Bujas, E.; Curtu, A. L. (2012):** Genetic variation of isolated and peripheral populations of *Pinus sylvestris* (L.) from glacial refugia. *Flora – Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants* 207 (2), S. 150-158. DOI: 10.1016/j.flora.2011.11.006
- Satlawa, P. (2013):** Die Entwicklung der Dauerbeobachtungsflächen des Beobachtungsnetzes »Litschau«. Masterarbeit Institut für Waldwachstum, Universität für Bodenkultur Wien, S. 88
- Schilling, L. (1925):** Ostpreußische Kiefern-Fichtenmischbestände. Zeitschrift für das Forst- und Jagdwesen 57 (5), S. 267-297
- Schulze, W. (1972):** Beispiele der Anreicherung von Kiefernbeständen mit Fichte in zwei Waldgebieten Bayerns. Dissertation. München, Ludwig-Maximilians-Universität, München. Forstwissenschaftliche Fakultät
- Schuster, R.; Oberhuber, W. (2013):** Drought sensitivity of three co-occurring conifers within a dry inner Alpine environment. *Trees* 27 (1), S. 61-69. DOI: 10.1007/s00468-012-0768-6
- Schwappach, A. F. (1909):** Untersuchungen in Mischbeständen. Zeitschrift für das Forst- und Jagdwesen 41
- Schwappach, A. F. (1914):** Untersuchungen in Mischbeständen. Zeitschrift für das Forst- und Jagdwesen 46
- Spatz, S. (2015):** Vergleichende Analyse morphologischer und holzqualitätsbestimmender Merkmale in Rein- und Mischbeständen aus Fichte (*Picea abies* (L.) Karst) und Kiefer (*Pinus sylvestris* L.). Masterarbeit. München, Technische Universität, Freising. Lehrstuhl für Waldwachstumskunde, Studienfakultät für Forstwissenschaft und Ressourcenmanagement
- Taeger, S.; Fussi, B.; Konner, M.; Menzel, A. (2013):** Large-scale genetic structure and drought-induced effects on European Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) seedlings. *Europ. J. of Forest Research* 132 (3), S. 481-496. DOI: 10.1007/s10342-013-0689-y
- Taeger, S.; Jantsch, M.; Kölling, C. (2016):** Einfluss besonderer Standortfaktoren auf die Baumartenwahl. *AFZ-Der Wald* (4), S. 18
- Taeger, S.; Kölling, C. (2016):** Standortinformationssystem BaSIS. *AFZ-Der Wald* (4), S. 10-13. Online verfügbar unter www.forst-praxis.de
- Thünen-Institut (2016):** Dritte Bundeswaldinventur – Ergebnisdatabank, Mai 2016
- Wiedemann, E. (1948):** Die Kiefer 1948; waldbauliche und ertragskundliche Untersuchungen. Hannover: M. & H. Schaper, 337 S.
- Zang, C. (2011):** Growth reactions of temperate forest trees to summer drought – a multispecies tree-ring network approach. Dissertation. München, Technische Universität, Freising. Fakultät Wissenschaftszentrum Weihenstephan für Ernährung, Landnutzung und Umwelt