



DEUTSCHER VERBAND  
FORSTLICHER FORSCHUNGSANSTALTEN

Sektion Ertragskunde

2015

# Tagungsbericht



Jahrestagung  
18. - 20. 05. 2015  
Kammerforst

Thüringen

# Kiefer unter Trockenstress - Zuwachsreaktionsmuster auf Baum- und Bestandesebene

---

*Enno Uhl*

*Lehrstuhl für Waldwachstumskunde, Technischen Universität München*

## Zusammenfassung

Aufgrund des Klimawandels ist in Mitteleuropa mit einer Zunahme von Situationen mit erhöhtem Stress durch Trockenheit zu rechnen. Als Konsequenz daraus ist mit einem veränderten, stressinduzierten Zuwachsverhalten unserer Waldbäume zu rechnen. Die einzelbaumbezogenen Reaktionen, die auch durch die jeweilige, allgemeine Wachstumssituation determiniert werden, können auf Bestandesebene zu einer veränderten Strukturierung und Produktivität führen. Am Beispiel der Baumart Kiefer betrachtet der Beitrag in diesem Zusammenhang die Zuwachsreaktion von Einzelbäumen und Beständen auf Trockenstress. Es wird untersucht, wie das Einzelbaumwachstum und die Zuwachsallokation zwischen den einzelnen Bäumen eines Bestandes durch Trockenstress modifiziert werden. Als Datengrundlage dient ein umfangreicher Kiefernprovenienzversuch mit ausschließlich bayerischen Herkünften. Der Versuch umfasst insgesamt drei Versuchsblöcke, die auf Standorten mit unterschiedlicher Wasserversorgung stocken. Zusätzlich zu den vorliegenden, periodischen ertragskundlichen Erhebungen wurden Stammscheibenanalysen an einer Auswahl von Provenienzen durchgeführt. Erste Auswertung einzelner Provenienzen zeigen keine einheitlichen Reaktionsmuster auf Trockenheit und gleichgerichtete Änderung des Konkurrenzmodus.

## Einleitung

Die Klimaszenarien für Mitteleuropa prognostizieren neben einer allgemeinen Temperaturerhöhung auch eine Veränderung der Niederschlagsverteilung im Jahresverlauf. Vor allem in den Sommermonaten sind künftig längere Phasen mit geringem oder ausbleibendem Niederschlag zu erwarten. Dies führt zu einer höheren Trockenstresssituation für unsere Waldbäume. Baumarten zeigen in diesem Zusammenhang aufgrund ihrer ökologischen Eigenschaften ganz unterschiedliche Reaktionsmuster auf Trockenstress (Zang, 2011; Pretzsch et al. 2012, Taeger et al., 2013). Sowohl das Ausmaß an Zuwachseinbrüchen als auch das Resilienzverhalten nach dem Störungsereignis ist unterschiedlich ausgeprägt. Viele Untersuchungen zur artspezifischen Trockenstressreaktion basieren dabei auf Analysen von Einzelbäumen aus der herrschenden Schicht (Pretzsch et al, 2012; Morán-López et al, 2014). Eine Übertragung der Befunde auf mögliche Zuwachsverluste auf Bestandesebene ist dadurch nicht ohne Weiteres möglich. Denn es bleibt unklar, ob Bäume unterschiedlicher sozialer Klasse gleichermaßen im Zuwachs auf Trockenheit reagieren. Gegebenenfalls könnten kompensatorische Effekte des Unterstandes Zuwachseinbrüche auf Bestandesebene geringer ausfallen lassen, als auf Basis der herrschenden Bäume zu erwarten wäre. Von Interesse ist deshalb, wie verfügbare Ressourcen bei Trockensituationen von den einzelnen Bestandesgliedern genutzt werden können.

Wenn der Zuwachs als ein Maß für die Ressourcenaufnahme aufgefasst wird, kann die Größen-Zuwachs-Beziehung als Verteilungsmodus der Ressourcen zwischen den Bäumen interpretiert werden. Je steiler die Gerade verläuft, desto mehr ziehen größere Bäume einen Vorteil aus ihrer Stellung gegenüber kleineren Bäumen. Schneidet die Gerade den Ursprung liegt ein größenproportionaler Verteilungsschlüssel vor. Bei positivem Interzept nimmt der Größenvorteil lediglich unterproportional zu. Bei einem negativen Interzept hingegen liegt eine überproportionale Ressourcenaufnahme mit zunehmender Baumgröße vor. Die Größenzuwachsbeziehung rangiert bei Pflanzen innerhalb eines Kontinuums von vollständig-symmetrischer bis größen-*asymmetrischer* Beziehung (Schwinning und Weiner, 1998). Pretzsch (2010) untersuchte die Größenzuwachsbeziehung für die vier Hauptbaumarten anhand von Daten langfristiger Versuchsflächen. Für Fichte, Buche und Eiche ließ sich ein Schwerpunkt beim größen-*asymmetrischen* Verteilungsmuster feststellen, Kiefernbestände tendierten zu einer eher größen-symmetrischen Konkurrenzausprägung. Weiterhin wurden standortspezifische Ausprägungen der Verteilungsmuster festgestellt, indem auf ungünstigeren Standorten kleinere Bäume besser an der Ressourcenaufteilung partizipieren. Wenn unter langfristig ungünstigen Bedingungen die Größenzuwachs-Beziehung flacher ausgeprägt ist, liegt der Schluss nahe, dass es auch im Fall von kurzfristigen Verschlechterungen der Wuchsbedingungen zu einem Kippen der Geraden kommen kann.

Der vorliegende Beitrag berichtet über erste Ergebnisse einer Untersuchung zur Trockenstressreaktion von Kiefernbeständen unterschiedlicher bayerischer Herkunft. Im Zentrum der Untersuchung steht die Fragestellung, wie sich Trockenstress im Zuwachs von Bäumen unterschiedlicher Größe niederschlägt und ob sich die Zuwachsrelation von jenen unter ungestörten Wuchsbedingungen unterscheidet. Weiterhin soll der Effekt der Trockenheit auf den Bestandeszuwachs analysiert werden. Die Gemeine Kiefer (*Pinus sylvestris* L.) toleriert eine weite Amplitude an standörtlichen Wuchsbedingungen, wobei sie aufgrund ihrer Konkurrenzschwäche häufig auf Extrembereiche zurückgedrängt wird. Aufgrund der standörtlichen Vielfalt haben sich in Bayern zahlreiche Kiefernrasen ausgebildet, mit einer entsprechenden Anpassung an die Wuchsbedingungen. Im bayerischen Kiefernprovenienzversuch zeigten verschiedene Provenienzen Unterschiede sowohl hinsichtlich ihrer Produktivität als auch in ihrer Qualitätsentwicklung (Bachmann, 2002).

Im Rahmen des vorliegenden Beitrags werden folgende spezifische Fragen adressiert: (1) Unterscheiden sich Kiefern-Provenienzen hinsichtlich ihrer aktuellen Produktivitätskennwerte? (2) Unterscheiden sich die Kiefern-Provenienzen hinsichtlich ihrer allgemeinen Größen-Zuwachsbeziehung? (3) Wie sensitiv reagieren verschiedene Herkünfte auf Trockenstress? (4) Wird die Größen-Zuwachsbeziehung durch Trockenstress modifiziert? (5) Unterscheiden sich die Befunde aus den Fragen 1 bis 4 auf unterschiedlichen Standorten?

## Material und Methoden

### Versuchsstandorte

Die Studie umfasst die noch unter Beobachtung befindlichen, langfristigen Versuchsflächen des 1950/1951 etablierten bayerischen Kiefernprovenienzversuchs. Im Rahmen des Versuchs wurden an fünf verschiedenen Standorten insgesamt 41 bayerische Herkünfte von *Pinus sylvestris* L. angepflanzt, um deren langfristige Produktivität und Qualitätsentwicklung zu beobachten. Von den damals angelegten Versuchsflächen stehen heute noch drei unter Beobachtung, dazu zählen die Standorte Bodenwöhr (BOD 333), Geisenfeld (GEI 335) und Nürnberg (NUE 338). Die Standorte unterscheiden sich hinsichtlich ihrer Wasser- und Nährstoffversorgung und unterstützen dadurch die Analyse der Entwicklung einzelner Kiefernherkünfte unter unterschiedlichen klimatischen und standörtlichen Voraussetzungen. BOD 333 repräsentiert hierbei einen eher ungünstigen Standort mit geringer Nährstoffausstattung und geringem Niederschlagsregime. GEI 335 bietet unter den drei Versuchsstandorten die günstigsten Wuchsbedingungen, dies gilt sowohl hinsichtlich der Wasser- als auch der Nährstoffversorgung. NUE 338 nimmt in Bezug auf die standörtlichen Voraussetzungen eine Mittelstellung unter den drei Standorten ein (Tabelle 1). Eine detaillierte Beschreibung der standörtlichen Verhältnisse sowie der Versuchskonzeption liefert Bachmann (2002).

Tabelle 1: Übersicht über die standörtlichen und klimatischen Wuchsbedingungen auf den Versuchsstandorten

	<b>Bodenwöhr</b>	<b>Geisenfeld</b>	<b>Nürnberg</b>
Anzahl Herkünfte	31 Herkünfte	37 Herkünfte	35 Herkünfte
Abteilungsname	„Haidschlag“	„Kühanger“ / „Ödholz“	„Birkenlach“ / „Kirchenwald“
Höhe über NN [m]	380	375	350
Geländeform	± eben	eben	± eben
Geologie	überprägte Kreideablagerung	Tertiär mit quartären Überlagerungen	dilluvialer Sand bzw. Dünen sand, daneben auch Schotter
Bodenfrische/-art	trockener, nährstoffarmer Sand	frischer, humoser, tw. anmooriger Sand	mäßig frischer bis frischer, tw. trockener bis mäßig trockener Sand bzw. Schotter
Temp. [°C]	8	8,3	8,4
NS [mm] (Veg.P)	700 (370)	770 (420)	730 (370)

## Untersuchte Provenienzen

Im Rahmen der Studie wurde lediglich eine Auswahl der insgesamt vorhandenen Provenienzen einbezogen. Dabei sollten die Provenienzen hinsichtlich ihrer bisherigen Produktivitäts- und Qualitätsentwicklung ein breites Spektrum abdecken. Gleichzeitig sollten nach Möglichkeit verschiedene Herkunftsgebiete abgedeckt werden. Tabelle 2 gibt eine Übersicht über die analysierten Provenienzen.

Tabelle 2: Übersicht über die, in die Untersuchung einbezogenen Provenienzen aus dem Bayerischen Kiefern-Provenienzversuch

bisherige Einschätzung hinsichtlich Produktivitäts- und Qualitätsentwicklung <sup>1)</sup>	Provenienzen	Nr.	Herkunftsgebiet	Wuchsgebiet
günstige Produktivitäts- und Qualitätsentwicklung	Bamberg-Ost	4	Mittelfränkisches Hügelland MFrHI (85 115)	09.05.05
	Mitterteich	14	Nordostbayerische Mittelgebirge NOBayMG (85 112)	09.10.02
	Falkenberg	10	Nordostbayerische Mittelgebirge NOBayMG (85 112)	09.10.02
	Bayreuth-West	5	Alb (85 116)	09.06.04
Produktivität günstig, Qualität weniger befriedigend	Ebern	9	Mittelfränkisches Hügelland MFrHI (85 115)	09.05.04
	Bodenwöhr-K	8	Ostbayerische Mittelgebirge OBayMG (851 17/18)	09.09.01
Produktivität mittelmäßig bei guter Qualitätsentwicklung	Selb	24/25	Nordostbayerische Mittelgebirge NOBayMG (85 112)	09.08.07
	Schwabach-V	29	Mittelfränkisches Hügelland MFrHI (85 115)	09.05.06
Produktivität und Qualität weniger befriedigend ausgeprägt	Waldsassen	32	Nordostbayerische Mittelgebirge NOBayMG (85 112)	09.10.02
	Riedenburg	21	Alb (85 116)	09.06.02
Alpenherkünfte	Altötting	2	Alpenvorland AlpVI (851 21)	09.13.03
	Berchtesgaden	6	Alpen (851 22/23)	09.15.09

<sup>1)</sup> nach Bachmann (2002)

## Datenerhebung

Nach der Vollaufnahme aller Parzellen (BHD) und Messung der Höhen der Höhenmessbäume im Jahr 2013 wurden im Zuge der Durchforstung von den ausgewählten Provenienzen jeweils zwischen acht und zwölf Probestämme ausgewählt. Aufgrund der Z-Baumdurchforstung umfasst das Probekollektiv einen breiten Durchmesserbereich. Von jedem Probestamm wurde je eine Stammscheibe in 1,3m Höhe sowie in 70% der Schaftlänge gewonnen. Zusätzlich wurde die lokale Bestandesdichte um jeden Probestamm mittels doppelter Winkelzählprobe (Zählfaktor 4) aus zwei Himmelsrichtungen erfasst.

## Datenaufbereitung

Die Messdaten der Vollaufnahme aller Versuchspartellen wurden mit Hilfe der lehrstuhleigenen Auswertungsprogramme auf flächenbezogene Ertragswerte verdichtet.

Die Jahrringe der Stammscheiben wurden am Digitalpositionimeter nach Johann (Biritz und Hatzl GmbH, Österreich) in vier Haupthimmelsrichtungen vermessen. Nach einer sukzessiven, visuellen Synchronisation der Jahrringzeitreihen auf Baumebene und auf Versuchsebene wurden die einzelnen Jahreszuwächse der Stammscheiben zu durchschnittlichen Jahreszuwächsen quadratisch gemittelt. Für die vorliegende Auswertung werden lediglich die Ergebnisse der BHD-Scheibe verwendet.

## Statistische Auswertung

Für die Größen-Zuwachs-Beziehungen wurden die Parameter Grundfläche und Grundflächenzuwachs verwendet. Ihr jeweiliger Verlauf wurde mittels eines linearen Regressionsmodells nach folgender Formel ermittelt:

$$ig = \alpha_0 + \alpha_1 \cdot g \quad (1)$$

$ig$  bezeichnet den Grundflächenzuwachs in  $m^2a^{-1}$  und  $g$  die Grundflächen in  $m^2$ .  $\alpha_0$  und  $\alpha_1$  sind die Schätzparameter für die Lage und die Steigung der Geraden. Zur Ermittlung der langfristigen Größen-Zuwachsbeziehung wurde aus der Grundfläche der letzten periodischen Aufnahme (2013) und der Grundfläche der ersten ertragskundlichen Aufnahme (BOD333: 1996, GEI355: 1997, NUE:1998) ein durchschnittlicher jährlicher Grundflächenzuwachs berechnet. Dieser wurde dann auf die Grundfläche im Jahr 2013 bezogen. Für den Vergleich der allgemeinen Ausprägung der Größen-Zuwachsbeziehung zwischen den Standorten wurde Formel 1 auf alle Provenienzen, die auf den Standorten existieren, angewendet.

Zur Prüfung möglicher statistischer Unterschiede im Verlauf der Größen-Zuwachs-Beziehung zwischen einzelnen Provenienzen wurde in Formel 1 die Provenienz als Faktor ( $f$ ) integriert. Zum Test möglicher Unterschiede einer Herkunft zwischen den Standorten wurde der Faktor Standort auf Seite der unabhängigen Variablen eingesetzt.

$$ig = \alpha_0 + \alpha_1 \cdot g * f \quad (2)$$

Die Trockenstressreaktion der Bäume wurde für das Trockenjahr 2003 ermittelt. Hierbei wurde die Resistenz ( $R_t$ ) im Anhalt an Lloret (2011) berechnet. Das Zuwachsverhalten im Trockenjahr wurde dazu am mittleren Zuwachs einer dreijährigen Referenzperiode vor dem Trockenereignis relativiert. Die Zuwachsreaktion wurde auf Basis der durch die Jahrringanalyse ermittelten, jährlichen Zuwächse analysiert. Aufgrund des gleichen Alters der Bäume wurde auf eine vorherige Trendbereinigung und Indizierung der Jahrringserien verzichtet.

Weiterhin wurde anhand der jährlichen Zuwachswerte aus der Jahrringanalyse für das Jahr 2003 spezifische Größen-Zuwachsbeziehungen hergeleitet. Diese wurden dann auf Unterschiede zur langfristigen Ausprägung der Größen-Zuwachs-Beziehung hin getestet (Formel 2).

## Ergebnisse

### Produktivität auf Bestandesebene

Die Kiefernprovenienzen zeigen auf den drei Versuchsstandorten zum Zeitpunkt der letzten Aufnahme 2013 ein unterschiedliches Leistungsniveau. Generell zeigt der feuchtere Standort Geisenfeld (335) über alle Provenienzen eine stärkere Höhenentwicklung des Grundflächenmittelstammes (Abbildung 1). Allerdings unterscheiden sich lediglich die Versuche Geisenfeld und Bodenwöhr (333) signifikant ( $p = 0.0462$ ). Diese Unterschiede schlagen sich tendenziell auch im durchschnittlichen Gesamtwuchs (DGZ) nieder, allerdings nicht auf signifikantem Niveau. Die Variabilität beider Ertragsgrößen zwischen den Provenienzen ist auf dem Standort Bodenwöhr höher im Vergleich zu den anderen Standorten.

Zum überwiegenden Teil liegt die Höhenentwicklung und die Produktivität der Herkünfte deutlich über dem Niveau der I. Bonität nach Wiedemann (1943), mäßige Durchforstung (Abbildung 2). Die meisten Herkünfte erreichen dabei auf den verschiedenen Standorten unterschiedliche Produktivitätsniveaus, die zum Teil beträchtlich ausfallen. Die beiden Albherkünfte Bayreuth/West und Riedenburg zeigen jeweils ähnliche Leistungslevels auf allen drei Standorten. Die Herkünfte Ebern, Schwabach und Berchtesgaden weisen die größte Schwankungsbreite zwischen den Standorten auf. Ihre jeweils höchste Produktivität erreichen sie jedoch auf unterschiedlichen Standorten.

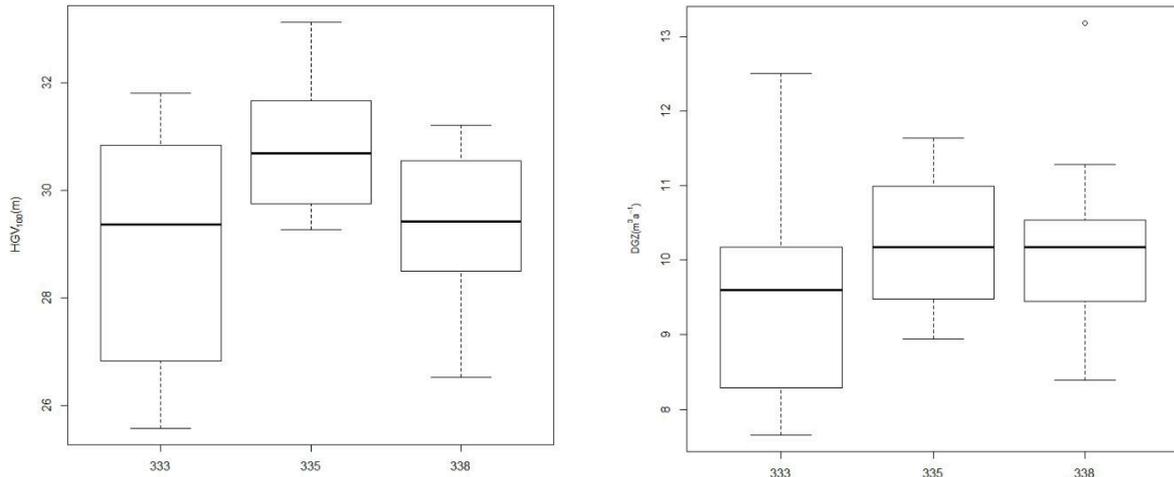


Abb. 1: Verteilung der Höhen der Grundflächenmittelstämme (HGV<sub>100</sub>) in Metern (links) und die Verteilung des durchschnittlichen Gesamtzuwachses in Kubikmetern pro Jahr (rechts) aller Provenienzen pro Standort jeweils als Boxplot dargestellt. Die aktuelle Höhenentwicklung wurde dabei auf das Bezugsalter von 100 Jahre hochgerechnet. 333 = Bodenwöhr, 335 = Geisenfeld, 338 = Nürnberg.

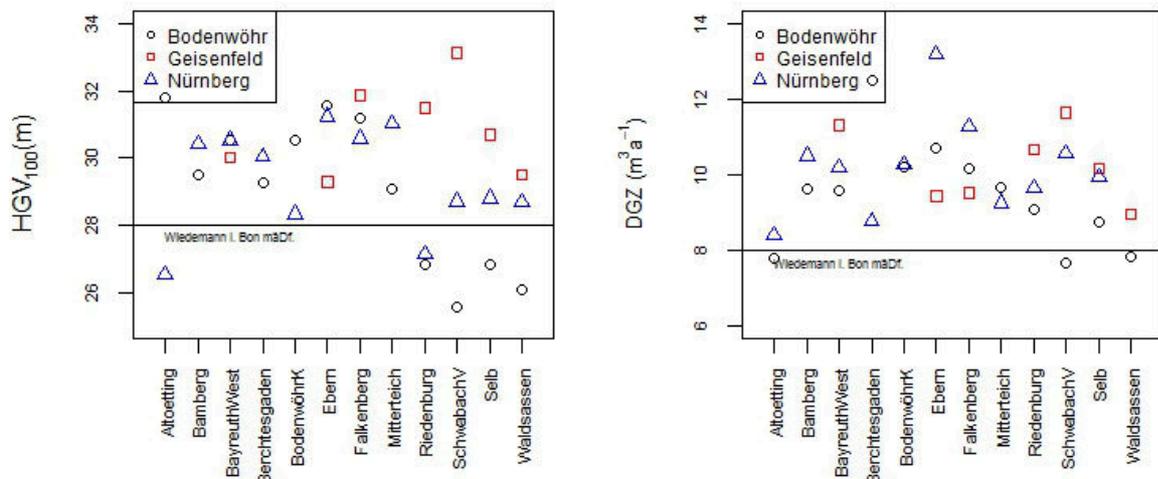


Abbildung 2: Ausprägung der provenienzspezifischen Höhenentwicklung (links) und des durchschnittlichen Gesamtzuwachses (rechts) auf den Standorten Bodenwöhr, Geisenfeld und Nürnberg bis zum Jahr 2013.

### Langfristige Größen-Zuwachs-Beziehung

Der Verlauf der allgemeinen Größen-Zuwachsbeziehung unterscheidet sich zwischen den drei Standorten unter Einbezug aller jeweils vorhandenen Provenienzen signifikant. Dies gilt sowohl für den y-Achsenabschnitt als auch für die Steigung der Geraden. Lediglich Geisenfeld und Nürnberg weisen hinsichtlich der Lage ihrer Interzepts keine signifikanten Unterschiede auf. Die negativen Interzepts (Tabelle 3) deuten auf eine jeweils schwach ausgeprägte überproportionale Zuwachsverteilung hin. Am stärksten ist diese Überproportionalität auf dem Standort in Nürnberg ausgeprägt (Abbildung 3).

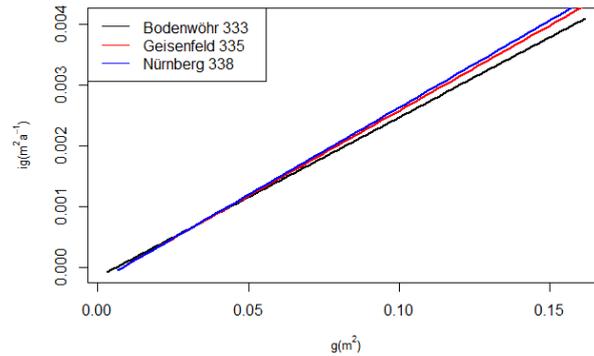


Abbildung 3: Langfristige Größen-Zuwachs-Beziehung auf den untersuchten Standorten für den Zeitraum 1996 bis 2013

Tabelle 3: Regressionsergebnisse nach Formel 2 für den allgemeinen Verlauf der Größen-Zuwachsbeziehung auf den untersuchten Standorten (\*  $p < 0,1$ ; \*\*  $p < 0,05$ ; \*\*\*  $p < 0,001$ ).

	Parameter	Schätzwert	Std. Fehler	Signifikanzniveau
BOD 333	$a_0$	-0,0002	0,0000	***
	$a_1$	0,0262	0,0002	***
GEI 335	$a_0$	-0,0002	0,0000	***
	$a_1$	0,0280	0,0002	***
NUE 338	$a_0$	-0,0002	0,0000	***
	$a_1$	0,0286	0,0002	***

Insgesamt weisen aber die Schätzwerte für die Interzepts und die Steigung der einzelnen Provenienzen eine je nach Standort unterschiedlich hohe Variabilität auf (Abbildung 4). In Bezug auf den Lageparameter zeigt der Standort BOD 333 eine geringere Bandbreite im Vergleich zu den anderen Standorten. Gleichzeitig liegt bei dieser Versuchsfläche der Wert mit der höchsten empirischen Wahrscheinlichkeitsdichte (Kernel density) über denen der anderen Standorten. Der überwiegende Anteil der Schätzparameter weist ein negatives Vorzeichen auf, in diesen Fällen liegt eine überproportionale Zuwachsverteilung vor.

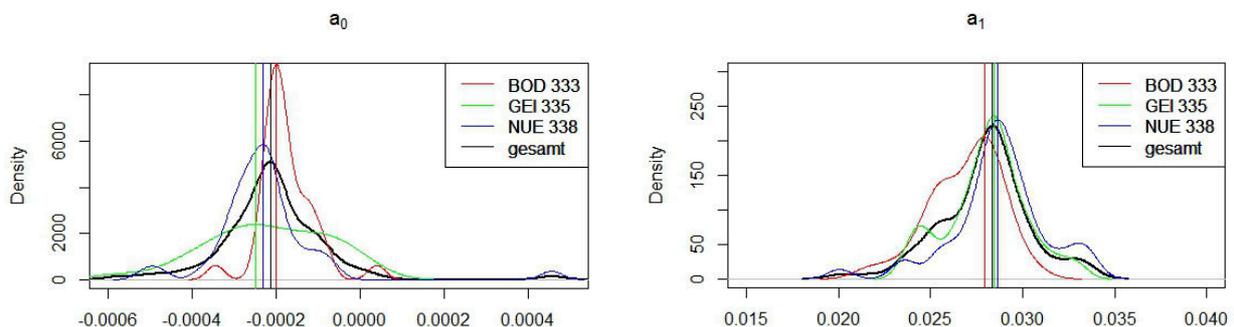


Abbildung 4: Verteilung (Kernel density) der Schätzparameter  $a_0$  (links) und  $a_1$  (rechts) der Regression nach Formel 1 auf den drei Standorten sowie über alle Standorte. Die senkrechten Linien markieren jeweils den Modalwert der Verteilung.

Die Steigungswerte über alle Provenienzen sind auf dem Versuchsstandort Bodenwöhr am breitesten verteilt, der Modalwert der Verteilung ist gleichzeitig von allen Standorten am geringsten. Der Standort Nürnberg weist tendenziell die höchsten Steigungswerte auf. Das heißt, dass größere Bäume mehr von ihrer Größe als Bäume vergleichbarer Größe auf den anderen Standorten.

Im Folgenden werden die Größen-Zuwachs-Beziehungen beispielhaft an einigen Herkünften betrachtet (Ebern, Falkenberg, Schwabach und Waldsassen). Ebern (Herkunftsgebiet: Mittelfränkisches Hügelland) und Falkenberg (Nordostbayerisches Mittelgebirge) repräsentieren Provenienzen mit relativ hoher Produktivität (Abbildung 2). Schwabach (Mittelfränkisches Hügelland) weist diesbezüglich zwischen den drei Standorten die höchste Variabilität auf. Waldsassen (Nordostbayerisches Mittelgebirge) ist von den insgesamt 12 analysierten Herkünften hinsichtlich der Produktivität am schwächsten ausgeprägt.

Abbildung 5 zeigt die langfristige Größen-Zuwachs-Beziehung der betrachteten Herkünfte auf den drei Standorten. Alle Lageparameter liegen mit negativem Vorzeichen alle sehr nahe bei null (in wenigen Fällen nicht signifikant) (Tabelle 4). Auf keinem der Standorte unterscheiden sie sich jedoch signifikant voneinander. Hinsichtlich der Steigung treten auf den Standorten Bodenwöhr und Nürnberg signifikante Unterschiede zwischen den Provenienzen auf. Die Herkunft Ebern weist jeweils die geringste Steigung auf, Waldsassen jeweils die höchste.

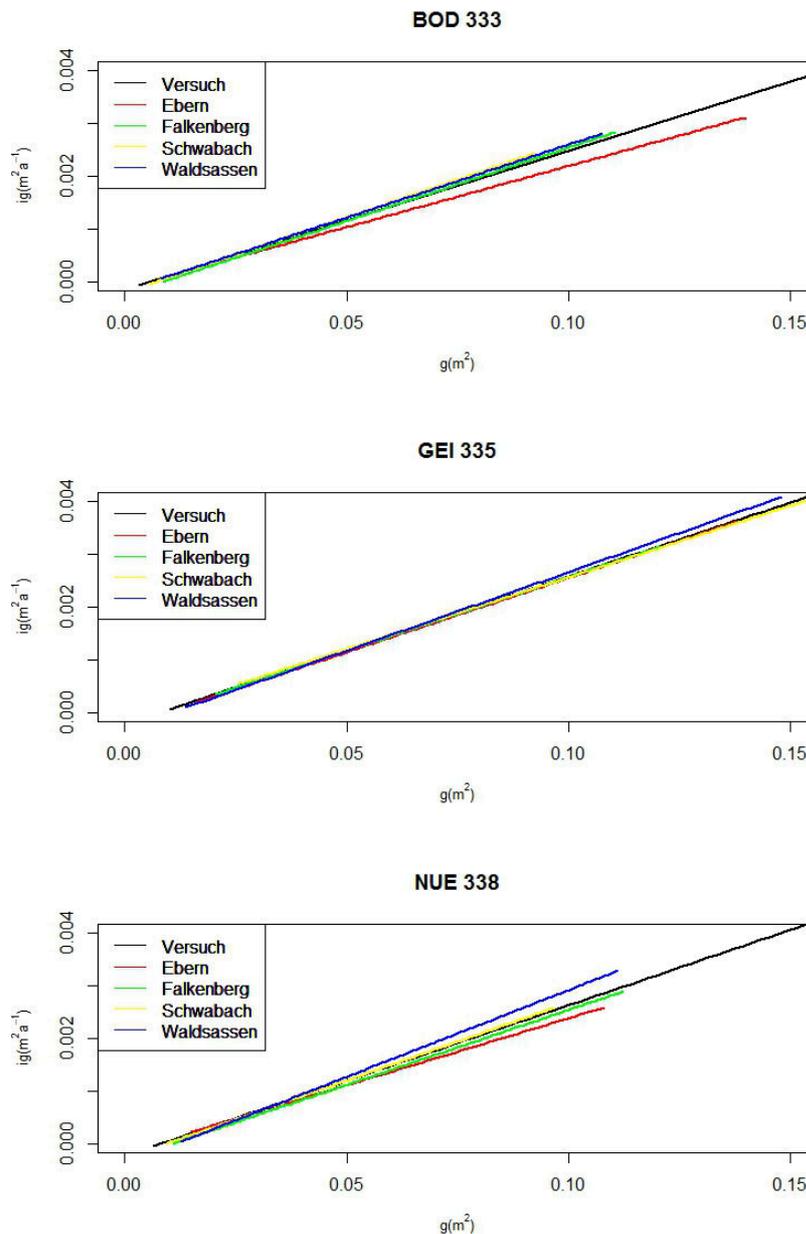


Abbildung 5: Langfristige Größen-Zuwachs-Beziehung für die Herkünfte Ebern, Falkenberg, Schwabach und Waldsassen für den Zeitraum 1996 bis 2013, getrennt nach Versuchsstandorten.

Tabelle 4: Schätzwerte und Signifikanzniveaus für die Größen-Zuwachsbeziehung ausgewählter Herkünfte auf verschiedenen Standorten nach Formel 2; Sig. = Signifikanzniveau mit \*  $p < 0,1$ ; \*\*  $p < 0,05$ ; \*\*\*  $p < 0,001$ .

Referenz	$a_0$				$a_1$				
	Referenz		Provenienz		Referenz		Provenienz		
	Schätzwert	Sig.	Schätzwert	Sig.	Schätzwert	Sig.	Schätzwert	Sig.	
<b>BOD 333</b>	-0,00015	***	---	---	0,026	***	Ebern	-0,0031	**
							Schwabach	0,0022	*
Ebern	-0,00012		---	---	0,023	***	Falkenberg	0,0047	**
							Schwabach	0,0053	***
							Waldsassen	0,0045	**
Falkenberg	-0,00024	***	---	---	0,028	***	Ebern	-0,0047	**
Schwabach	-0,00020	***	---	---	0,028	***	Ebern	-0,0053	***
Waldsassen	-0,00016	***	---	---	0,028	***	Ebern	-0,0045	**
<b>GEI 335</b>	-0,00022	***	---	---	0,028	***		---	
Ebern	-0,00026	*	---	---	0,028	***		---	
Falkenberg	-0,00022		---	---	0,028	***		---	
Schwabach	-0,00015		---	---	0,027	***		---	
Waldsassen	-0,00031	***	---	---	0,03	***		---	
<b>NUE 338</b>	-0,00023	***	---	---	0,029	***	Ebern	-0,0032	*
							Waldsassen	0,0044	***
Ebern	-0,00016		---	---	0,025	***	Schwabach	0,004	*
							Waldsassen	0,0075	***
Falkenberg	-0,0003	***	---	---	0,028	***	Waldsassen	0,0045	*
Schwabach	-0,00027	***	---	---	0,029	***	Ebern	-0,004	*
Waldsassen	-0,00037	***	---	---	0,033	***	Ebern	-0,008	***
							Falkenberg	-0,004	*

### Reaktion auf Trockenstress

Die analysierten Bäume der vier Provenienzen reagierten auf den Trockenstress im Jahr 2003 nicht einheitlich (Abbildung 6). Die stärksten Zuwachseinbrüche sind am Versuchsstandort Geisenfeld aufgetreten. Während in Bodenwöhr und Nürnberg der mittlere Resistenzwert jeweils bei 0,934 liegt, sinkt er in Geisenfeld auf 0,82 ab. Auch die Unterschiede in der Trockenstressreaktion sind in Geisenfeld am stärksten ausgeprägt. Relativ widerstandsfähig erweist sich die Herkunft Waldsassen auf allen Standorten. Die Provenienzen Falkenberg und Schwabach brechen jeweils stärker im Zuwachs ein.

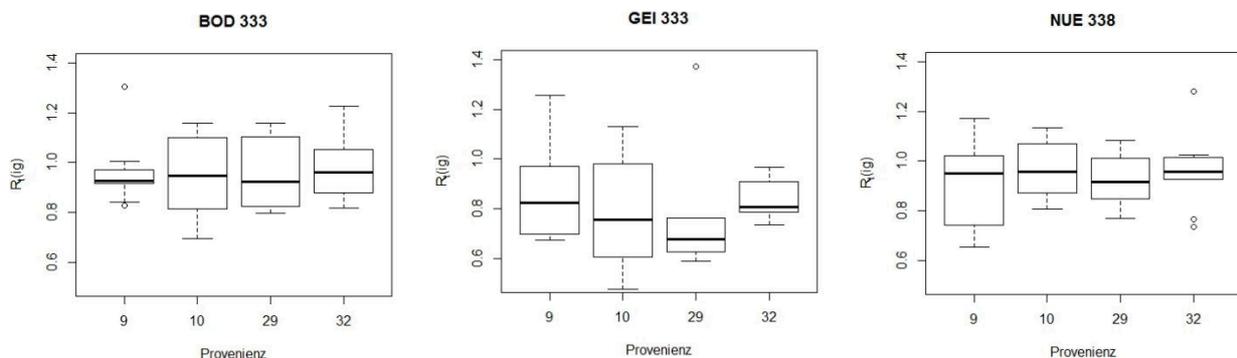


Abbildung 6: Variabilität der Zuwachsreaktion auf Trockenstress ( $R_t$ ) ausgewählter Provenienzen auf verschiedenen Standorten (9 = Herkunft Ebern, 10 = Falkenberg, 29 = Schwabach, 32 = Waldsassen) Standort

Insgesamt zeigen die beprobten Bäume eine signifikant abnehmende Resistenz mit zunehmender Baumgröße (Abbildung 7). Auf den Standorten herrschen dabei tendenzielle Niveauunterschiede, allerdings auf nicht signifikantem Niveau. Am stärksten ist der Zusammenhang auf dem Standort Geisenfeld

ausgeprägt. Jedoch gilt der Zusammenhang nicht für jede Herkunft auf jedem Standort. In fünf Fällen ist ein positiver Zusammenhang zwischen Baumgröße und Trockenstressresistenz feststellbar.

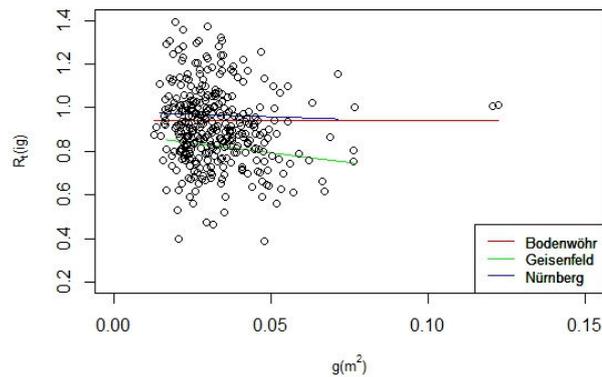


Abbildung 7: Größenabhängiges Resistenzverhalten ( $R_t$ ) auf Trockenstress auf verschiedenen Standorten.

### Größen-Zuwachs-Beziehung unter Trockenstress

Die Größenzuwachsbeziehung im Jahr der Trockenheit (2003) wurde mit der langfristigen Größenzuwachsbeziehung (1996 – 2013) der Probestämme verglichen. Lageparameter und Steigung wurden nach Formel 2 ermittelt. Eine provenienz- und standortsübergreifende, einheitliche Änderung ist dabei nicht zu beobachten (Abbildung 8, Tabelle 5). Die jeweiligen Abweichungen der Parameter für die Lage ( $a_0$ ) und die Steigung ( $a_1$ ) zwischen der langfristigen Größen-Zuwachs-Beziehung und der Größen-Zuwachs-Beziehung im Trockenjahr 2003 sind nicht signifikant. Die Lageparameter sind allesamt gering und nicht signifikant von null verschieden. Jedoch sind die Schätzwerte für die Steigungen signifikant (2 Ausnahmen) von null verschieden und schwanken zwischen 0,0135 und 0,0454 im Trockenjahr und zwischen 0,0178 und 0,0377 im langfristigen Trend (Tabelle 5). Dabei kommen jeweils gleich viele Fälle mit einer Zunahme der Steigung als auch mit einer Abnahme vor. Nur auf dem Standort Nürnberg zeigen alle Provenienzen im Jahr 2003 eine höhere Steigung der Größen-Zuwachs-Beziehung im Vergleich zur langfristigen Relation. Tendenziell schlägt sich die provenienz- und standortspezifische, größenbezogene Trockenstressreaktion auch in der Veränderung der Größen-Zuwachs-Beziehung unter Trockenstress nieder. Lediglich bei der Provenienz Waldsassen verhalten sich die größenbezogene Stressreaktion und die Veränderung der Größen-Zuwachs-Relation gegenläufig.

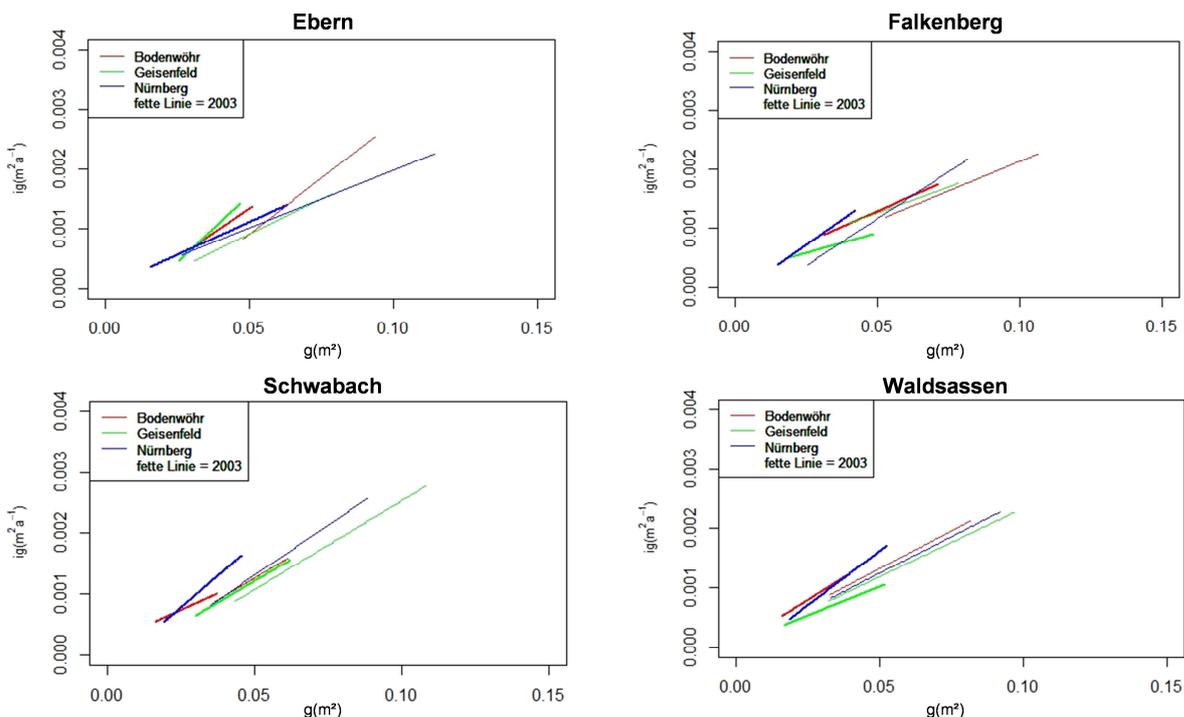


Abbildung 8: Langfristige Größenzuwachsbeziehung und Größenzuwachsbeziehung im Trockenjahr 2003 ausgewählte Provenienzen im Vergleich. Die Veränderung ist für jede Herkunft für die drei unterschiedlichen Versuchsstandorte dargestellt.

Tabelle 5: Schätzwerte und Signifikanzniveaus für die langfristige und trockenstressbezogene Größen-Zuwachs-Beziehung ausgewählter Herkünfte auf verschiedenen Standorten nach Formel 2; Sig. = Signifikanzniveau mit \*  $p < 0,1$ ; \*\*  $p < 0,05$ ; \*\*\*  $p < 0,001$ .

			<u>a<sub>0</sub></u>		<u>a<sub>1</sub></u>	
			Schätzwert	Sig.	Schätzwert	Sig.
Ebern BOD 333	langfristig		-0,0010		0,0377	***
		2003	-0,0003		0,033	*
GEI 335	langfristig		-0,0003		0,0235	**
		2003	-0,0007		0,0454	**
NUE 338	langfristig		0,0000		0,0194	***
		2003	0,0000		0,022	**
Falkenberg BOD 333	langfristig		0,0001		0,0201	**
		2003	0,0002		0,0214	*
GEI 335	langfristig		0,0004		0,0178	*
		2003	0,0002		0,0135	
NUE 338	langfristig		-0,0004		0,0318	***
		2003	-0,0001		0,0339	**
Schwabach BOD 333	langfristig		-0,0002		0,0285	**
		2003	0,0002		0,0215	
GEI 335	langfristig		-0,0004		0,0291	***
		2003	-0,0002		0,0282	**
NUE 338	langfristig		-0,0003		0,0327	***
		2003	-0,0002		0,0411	***
Waldsassen BOD 333	langfristig		0,0001		0,0254	***
		2003	0,0000		0,0300	**
GEI 335	langfristig		0,0000		0,0230	***
		2003	0,0001		0,0192	**
NUE 338	langfristig		0,0000		0,0246	***
		2003	-0,0002		0,0361	***

## Diskussion

Die Größen-Zuwachs-Beziehung gibt Auskunft über den größenbezogenen Konkurrenzmodus zwischen den Individuen eines Bestandes (Schwinning und Weiner, 1998). Je steiler die Größen-Zuwachs-Gerade verläuft, desto eher ziehen große Bäume einen Nutzen aus ihrer prominenten Stellung. Allgemein wird angenommen, dass sich auf Standorten, auf denen eher Licht limitierend wirkt, Wasser und Nährstoffe aber ausreichend zur Verfügung stehen, eine größen-*asymmetrische* Konkurrenz einstellt. Große Bäume haben hier einen besseren Zugang zum Licht und können diese Ressource ausschöpfen. Sind eher bodengebundene Ressourcen im Mangel, schlägt sich der Größenvorteil bei der Ressourcenausbeute nicht so durch, so dass sich hier eher größen-*symmetrische* Konkurrenzsituationen einstellen (Schwinning und Weiner, 1998; Pretzsch, 2010). Wenn auch schwach ausgeprägt, so reihen sich die allgemeinen, langfristigen Größen-Zuwachs-Beziehungen auf den Standorten Bodenwöhr (trocken, geringe Nährstoffausstattung) und Geisenfeld (frisch, gute Nährstoffausstattung) in diese Systematik ein. Auf dem Standort Nürnberg, der aufgrund der beschriebenen Standortbedingungen eher zwischen den Bedingungen in Bodenwöhr und in Geisenfeld liegt, wurde der steilste Verlauf der Größen-Zuwachs-Beziehung festgestellt. Insgesamt entsprechen die Verläufe einer größen-*symmetrischen* Konkurrenzsituation. Auf den einzelnen Standorten treten provenienzenspezifisch mehr oder weniger starke Abweichung vom mittleren Verlauf der Größen-Zuwachsbeziehung auf. Die Rangfolge der Provenienzen bleibt dabei jeweils annähernd gleich.

Die in Verbindung mit dem Klimawandel prognostizierten Veränderungen der Wuchsbedingungen für Bäume in Mitteleuropa umfassen neben einem generellen Temperaturanstieg auch eine Zunahme ext-

remer Witterungsbedingungen, insbesondere eine Zunahme länger anhaltender Trockenperioden während der Vegetationszeit. Eine ausgeprägte Trockenheit bewirkt in der Regel eine Reduzierung des Baumwachstums, da die Wasserversorgung limitiert ist. Zahlreiche Studien belegen einen Zuwachsrückgang bei Bäumen in Verbindung mit Trockenheit (z.B. Pretzsch et al., 2012; Zang et al., 2011; Lloret, et al., 2011). Art- und herkunftsspezifische Unterschiede der Zuwachsreaktion auf Trockenheit sind jedoch aufgrund regionaler Anpassung an jeweils vorherrschende Witterungsbedingungen keine Seltenheit (Taeger et al. 2013, Zang et al 2011). Die hier untersuchten Provenienzen unterscheiden sich in ihrer Reaktion auf Trockenstress insbesondere auf dem besser versorgten Standort Geisenfeld, auf dem auch der Zuwachsrückgang am stärksten ausfällt. Untersuchungen von Taeger et al. (2013) zu Trockenstressreaktionen anhand internationaler Kiefernprovenienzversuche offenbarten auch Provenienz bezogene Reaktionsmuster auf Trockenheit, die Autoren diskutieren Anpassungen an regionalspezifische Wuchsbedingungen als mögliche Ursachen. Da sich die Provenienzen in vorliegender Studie im Wesentlichen auf Geisenfeld beschränken, spielt vermutlich der Standort eine maßgeblichere Rolle. Das, auf dem Standort in Geisenfeld hoch anstehende Grundwasser könnte zur Ausbildung eines nur flachstreichenden Wurzelwerks geführt haben. Dieses erschließt dann nur bodennahe Schichten, die bei Trockenheit schnell trocken fallen.

Zang (2012) stellte an Kiefern eine Abhängigkeit der Trockenstressreaktion von der Größe der Bäume fest, indem größere Bäume im Trockenjahr 2003 stärker im Zuwachs einbrachen als kleinere Bäume. Auch wenn dieser Zusammenhang auf den hier untersuchten Standorten allgemein zutrifft, ist er nur schwach ausgeprägt und es finden sich auf Provenienzebene auch Fälle mit entgegengesetztem Zusammenhang. Im Falle der hier zunächst analysierten vier Provenienzen korreliert die Veränderung der Größen-Zuwachs-Beziehung im Trockenjahr stark mit der Ausprägung der größenbezogenen Trockenstressreaktion, eine generelle Abflachung der Größen-Zuwachs-Beziehung tritt nicht ein. Ergänzende Analysen werden weitere, beprobte Provenienzen einbeziehen und auch Zuwachsreaktionsmuster anderer Trockenereignisse betrachten.

## Literatur

- Bachmann, M. (2002) Der Bayerische Kiefern-Herkunftsversuch von 1950/1951. Allgemeine Forst und Jagdzeitung 173[6], S. 104 – 114
- Lloret, F., Keeling, E. und Sala, A. (2011) Components of tree resilience: effects of successive low-growth episodes in old ponderosa pine forests. *Oikos*, doi: 10.1111/j.1600-0706.2011.19372.x
- Morán-López, T., Poyatos, R., Llorens, P., Sabaté, S. (2014) Effects of past growth trends and current water use strategies on Scots pine and pubescent oak drought sensitivity. *European Journal of Forest Research* 133, S. 369-382
- Pretzsch, H. (2010) Zur Verteilung des Zuwachses zwischen den Bäumen eines Bestandes und Abhängigkeit des Verteilungsschlüssels von den Standortbedingungen. *Allgemeine Forst und Jagdzeitung* 181[1/2], S. 4-13
- Pretzsch, H., Schütze, G., Uhl, E. (2012): Resistance of European tree species to drought stress in mixed versus pure forests: evidence of stress release by inter-specific facilitation. *Plant Biology* 15, S. 483-495.
- Schwinning, S. und Weiner, J. (1998) Mechanisms determining the degree of size asymmetry in competition among plants. *Oecologia* 113, S. 447-455
- Taeger, S., Zang, C., Liesebach, M., Schneck, V., Menzel, A. (2013) Impact of climate and drought events on the growth of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) provenances. *Forest Ecology and Management* 307, S. 30-42
- Zang, C., Rothe, A., Weis, W., Pretzsch, H. (2011) Zur Baumarteneignung bei Klimawandel: Ableitung der Trockenstress-Anfälligkeit wichtiger Waldbaumarten aus Jahrringbreiten. *Allgemeine Forst und Jagdzeitung*, 182[5/6], S. 98-112
- Zang, C., Pretzsch, H., Rothe, A. (2012) Size-dependent responses to summer drought in Scots pine, Norway spruce and common oak. *Trees* 26, S. 557-569