

Douglasie: eine leistungsstarke und klimarobuste Mischbaumart

Buchenbeimischung steigert Wachstum und Stabilität der Douglasie

Eric Andreas Thurm, Enno Uhl und Hans Pretzsch

Der Umgang mit der Douglasie als nichtheimische Art wird seit geraumer Zeit kontrovers diskutiert. So wird sie beispielsweise vom Bundesamt für Naturschutz (BfN) aufgrund eines möglichen Invasionspotenzials auf der Schwarzen Liste geführt. Der Deutsche Verband Forstlicher Forschungsanstalten (DVFFA) hat sich hingegen bewusst für einen Anbau der Douglasie ausgesprochen, denn sie zeichnet sich durch ihre hohe Zuwachsleistung und ihre höhere Trockenheitstoleranz im Vergleich zur Fichte aus.



Die Empfehlung des Deutschen Verbands Forstlicher Forschungsanstalten DVFFA richtet sich auf die Beteiligung der Douglasie in Mischung mit anderen Baumarten, insbesondere mit der Buche. Die Baumartenmischung Buche-Douglasie ist zwar schon seit einiger Zeit in geringem Anteil in den deutschen Wäldern zu finden, dennoch ist bisher wenig über das Zuwachsverhalten der beiden Baumarten in Mischung veröffentlicht worden. In den vergangenen drei Jahren hat sich der Lehrstuhl für Waldwachstumskunde im Rahmen eines von der Bayerischen Forstverwaltung geförderten Projekts intensiv mit Mischbeständen aus Buche und Douglasie auseinandergesetzt. Ziel dieser Forschungsarbeit war es, die Wechselwirkungen zwischen Douglasie und Rotbuche und ihre Effekte auf Zuwachsverhalten und Resilienz zu beleuchten, die Ergebnisse zu interpretieren und Möglichkeiten für waldbauliche Behandlungsprogramme aufzuzeigen.

Nachdem sich für einige Baumarten (z. B. Buche-Fichte oder Buche-Eiche) gezeigt hat, dass in Mischbeständen ein höherer Zuwachs als in Reinbeständen zu erwarten ist (Pretzsch et al. 2013; Pretzsch et al. 2010), wurde dies zunächst auch für die Mischung aus Buche und Douglasie angenommen. Um dies zu verifizieren, legte der Lehrstuhl für Waldwachstumskunde an verschiedenen Standorten in Bayern und Rheinland-Pfalz temporäre Versuchsflächen an und analysierte den Zuwachs von Buchen und Douglasien in Rein- und Mischbeständen. Auch bei dieser Baumartenkombination stellte sich ein höherer Volumenertrag von rund 8% ein (Thurm und Pretzsch 2016). Abbildung 2 zeigt den Verlauf des Zuwachses in Abhängigkeit des Mischungsanteils

1 Deutlich überragt die Douglasienkrone die Buchen. So kann die Douglasie ihre hohe Lichtnutzungseffizienz voll ausspielen. Die Buche als Schattbaumart hingegen kann immer noch das einfallende Streulicht in spürbares Wachstum umsetzen. Foto: B. Tuerk, clipdealer.de

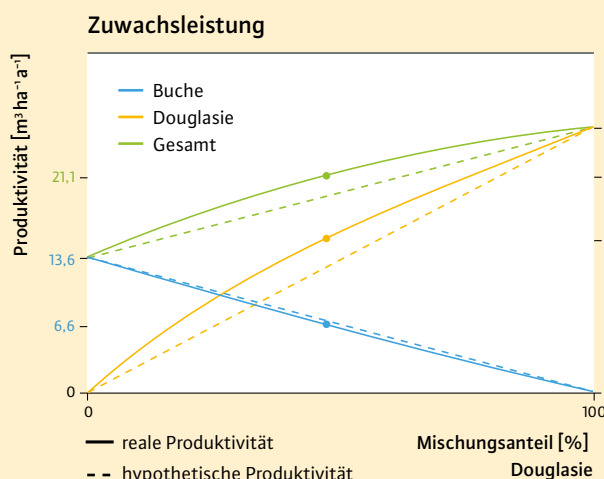
der Douglasie. Der Douglasien-Anteil von 0% spiegelt den Buchen-Reinbestand mit 13,6 Vorratsfestmetern (Vfm) Zuwachs pro Jahr wider, 100% Douglasien Anteil steht für den Douglasie-Reinbestand mit 26,1 Vfm Zuwachs. Der Mischbestand (dickere, obere Linie) in der aktuellen Untersuchung besaß einen durchschnittlichen Mischungsanteil von 47% Douglasien und produzierte 21,1 Vfm, was einem Mehrzuwachs von 8% bzw. 1,63 Vfm entspricht. Die gestrichelten Linien zeigen die rechnerische Produktivität, welche sich aus den Reinbeständen ergeben würden. Die dünneren Linien stellen die Leistung von Buche und Douglasie am Mischbestandszuwachs dar. Beim Zustandekommen des Mehrzuwachses zeigte die Mischung beider Baumarten jedoch einige Besonderheiten.

Zuwachssteigerung durch Mischung

Ausgangspunkt der Untersuchung waren sogenannte Triplets. Diese bestehen aus Untersuchungseinheiten mit jeweils einem Douglasien-Reinbestand, einem Buchen-Reinbestand und einem Mischbestand beider Arten. Die Bestände standen in unmittelbarer Nähe zueinander (rund 200 m Entfernung) und waren dem Bestandsalter und dem Standort nach identisch. Somit konnte für jedes Triplet verglichen werden, wie sich die jeweilige Baumart im Rein- und im Mischbestand verhält.

Mehrzuwachs

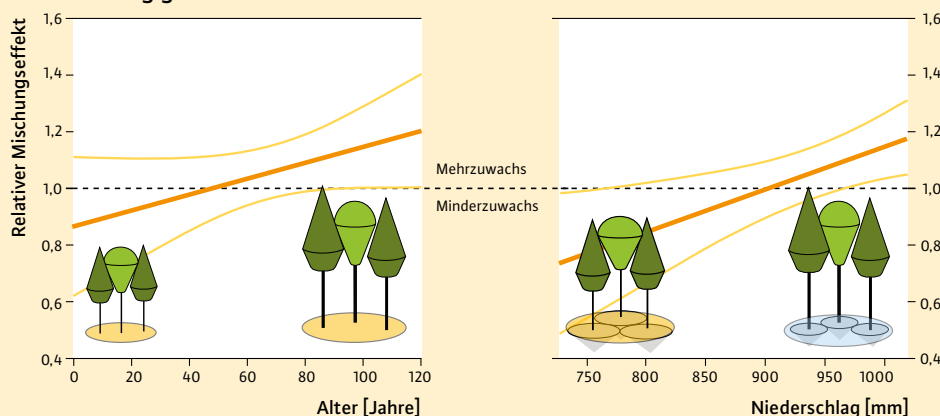
Der Mehrzuwachs ist eine rechnerische Größe, die aus dem Vergleich des Zuwachses eines hypothetischen Mischbestandes (zusammengesetzt aus der Leistung der beiden Reinbestände, gewichtet mit den Baumartenanteilen) mit dem tatsächlich gemessenen Zuwachs im Mischbestand abgeleitet wird. Es hat sich bewährt, diese Mehr- oder auch Minderzuwächse durch ein Kreuzdiagramm darzustellen (Abbildung 2). Bei gegebenem Mischungsanteil (x-Achse) kann dort der gemessene Zuwachs im Mischbestand abgetragen (grüne Kurve) und mit dem hypothetischen Mischbestand (grün gestrichelte Linie) verglichen werden. Wenn der Mischbestandszuwachs den zuwachsstärksten Reinbestand übertrifft, wird dies als transgressiver Mehrzuwachs bezeichnet. Besonders bei Buche und Douglasie sind aber die Leistungsdifferenzen der Baumarten so groß, dass dies kaum zu erwarten ist.



2 Verlauf des Zuwachses anhand des Mischungsanteils der Douglasie

3 Verlauf des Mehrzuwachses in Douglasien-Buchen-Mischbeständen gegenüber Reinbeständen in Abhängigkeit a) Bestandsalter (li.) und b) Jahresniederschlag (re.)

Abhängigkeit des Mehrzuwachses

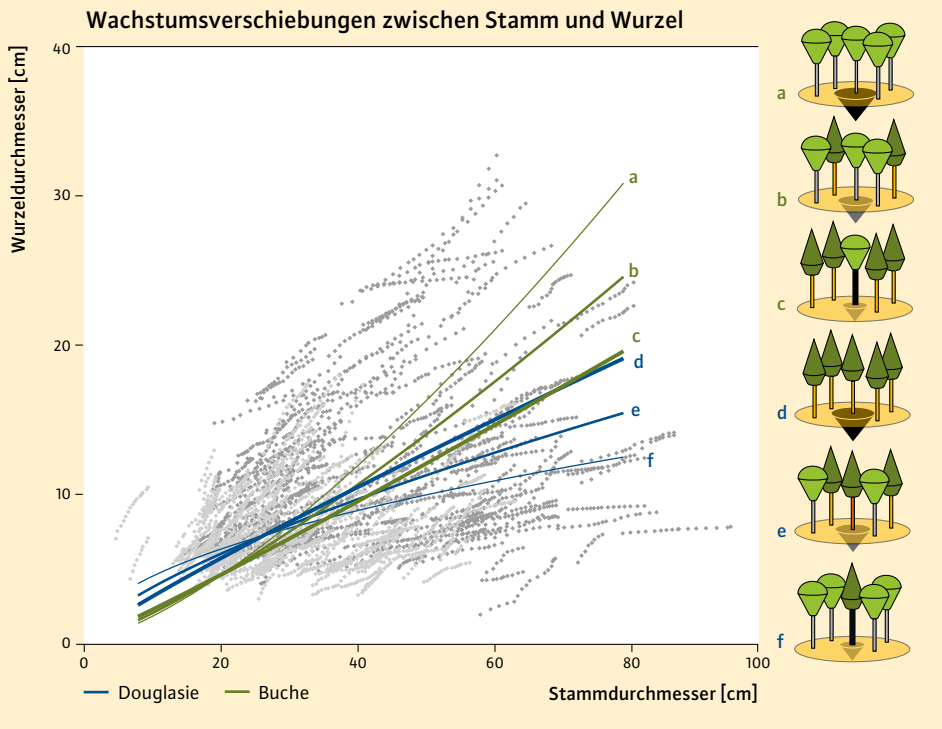


Die Anlage dieser Triplets erfolgte auf unterschiedlichen Standorten und in verschiedenen Altersklassen. Es spannten sich so ein Standortsgradient vom Feuchten zum Trocknen und ein Altersgradient von 30 bis 120 Jahre auf. Mit Hilfe der Gradienten konnte neben dem generellen Mehrzuwachs im Mischbestand aufgezeigt werden, dass der Mehrzuwachs insbesondere auf Standorten mit höherem Niederschlag und bei höherem Bestandsalter auftritt (Abbildung 3). Diese Zuwachssteigerung wird dabei im Wesentlichen durch ein stärkeres Dickenwachstum der Douglasie getragen. Die Buche zeigte ein verhältnismäßig gleiches Wachstumsverhalten im Rein- und im Mischbestand. Sie trägt erst im hohen Alter zum Mehrzuwachs im Mischbestand bei.

Die Struktur macht den Unterschied

Warum verbessert aber nun die Mischung der Baumarten den Zuwachs? Hierzu bestehen unterschiedliche Theorien, wie die einzelnen Baumarten von der Mischung profitieren: Ist es eine Verbesserung (Faszilitation) des Nährstoffangebots wie bei Douglasie und Roterle (*Alnus rubra*)? Oder ist es eine bessere Ausnutzung von Licht oder Wasser wie bei Buche und Kiefer (*Pinus sylvestris*) (Komplementarität)?

Grundsätzlich zeigt sich in der aktuellen Mischbestandsforschung, dass es einen einzigen Mischungseffekt, der für alle Baumartenkombinationen zutrifft, nicht gibt. Die Eigenschaften der jeweils gemischten Baumarten führen zu unterschiedlichen Mischungseffekten und verbessern bzw. verschlechtern die Ressourcenaufnahme der Baumindividuen. Die limitierend wirkende Ressource bestimmt letztlich auch die Abhängigkeit des Mehrzuwachses vom Standort.



4 Verschiebung des Wachstums zwischen Stammdurchmesser und Wurzelradius in Abhängigkeit der umgebenden Mischung von Buche und Douglasie; (a,d) 100 % intraspezifische Konkurrenz für den Baum – Reinbestand, (b,e) 50 % intraspezifische Konkurrenz für den Baum – Baum ist von eigenen Arten und der anderen Art umgeben, (c,f) 100 % interspezifische Konkurrenz für den Baum

Douglasie gewinnt im Licht, Buche ist im Schatten stark

Bei der Mischung von Buche und Douglasie hat sich gezeigt, dass besonders die Höhenstrukturierung den Mischungseffekt bestimmt (Thurm und Pretzsch 2016). So finden sich im Alter von 100 Jahren problemlos Bestände, in denen die Douglasie ($h_{100} = 46$ m) die Buche ($h_{100} = 36$ m) um 10 m überragt. Die Douglasie als Baumart mit einer sehr hohen Lichtnutzungseffizienz kann diese »Freistellung« des oberen Kronenbereiches effektiv nutzen. Die Buche mit ihrem niedrigen Lichtkompensationspunkt ist dennoch in der Lage, auch das einfallende Streulicht noch effizient umzusetzen. Das Licht ist bei dieser Mischung offenbar der limitierende Faktor beider Baumarten. Damit erklärt sich, dass mit höherem Alter und größerer Höhenstrukturierung der Mischungseffekt zunimmt. Der Standort hat einen ähnlichen Effekt: Auf einem besseren Standort gewinnt die Douglasie an Wuchsvorsprung und durch die somit stärkere Strukturierung stellt sich ein höherer Mehrzuwachs ein.

Die biologisch getriebene Strukturierung bietet neben der besseren Lichtausnutzung einen weiteren Vorteil: Die in Mischbeständen auftretende horizontale Struktur führt zu einer Qualifizierung der Stämme, die in Reinbeständen nur durch aufwendige Pflegemaßnahmen zu erreichen ist (Pretzsch und Rais 2016).

Wenn das Licht im Mischbestand limitierend wirkt, stellt sich die Frage, wie die beiden Baumarten im Boden interagieren. Allgemein wird gelehrt, dass sich die Streu verbessert, wenn ein Nadelbaum mit einem Laubbaum gemischt wird. Fakt ist, dass die Douglasie keine so ungünstige Streu hat (Edmonds 1980; Augusto et al. 2002). Auch der positive Effekt der höheren Struktur der gemischten Nadel-Laub-Streu ist bei weitem nicht so ausgeprägt, wie es häufig vermutet wird. Es sind vielmehr die veränderten Umweltbedingungen und die faunistische Zusammensetzung, die im Mischbestand für eine schnellere Umsetzung sorgen (Berger und Berger 2014) (Prietz in diesem Heft).

Mehr Stamm-, weniger Wurzelwachstum

Ein wichtiger Aspekt bei Buche und Douglasie ist vielmehr, dass sich beide Baumarten in der Nährstoffaufnahme ergänzen, weil unterschiedliche Nährstoffe für ihre Versorgung wichtig sind (Pretzsch et al. 2014). Diese Konkurrenzreduzierung im Boden ermöglicht es, dass die Bäume verstärkt in das oberirdische Wachstum investieren können.

Bei unseren Untersuchungen an Wurzel und Stamm der Bäume (Abbildung 4) konnten wir feststellen, dass im Vergleich zum Reinbestand Bäume im Mischbestand eher in das Dickenwachstum des Stammes und weniger in das Dicken-

wachstum der Grobwurzeln investieren (Thurm et al. 2017). Im Reinbestand, wo die intraspezifische Konkurrenz 100% beträgt, ist der Wurzelradius im Verhältnis zum Stammdurchmesser stets größer als in Mischungssituationen, wo der untersuchte Baum von Individuen der eigenen und der anderen Art umgeben ist (50% intraspezifische Konkurrenz). Am geringsten ist jeweils der Wurzelradius, wenn der untersuchte Baum ausschließlich von der anderen Art (100% interspezifische Konkurrenz) umgeben ist. Demnach zeigt ein höherer Mischungsanteil bei beiden Baumarten eine Verschiebung der Kurve zugunsten des Stammwachstums.

Dieses veränderte Spross-Wurzel-Verhältnis zugunsten des Stammwachstums war auch im Hinblick auf andere Einflussfaktoren festzustellen. So zeigen Douglasien auf besseren Standorten ein geringeres Wurzelwachstum als auf schlechteren Standorten. Eine geringere Bestandsdichte beeinflusst die Stamm-Wurzel-Relation ähnlich zu Gunsten des Stammes. Dass die Mischung den gleichen positiven Einfluss auf das Stammwachstum hat, konnte mit der aktuellen Studie jedoch zum ersten Mal festgestellt werden. Der Vergleich von Standortgüte und Bestandsdichte zeigt jedoch, welche positive Wirkung die Mischung von Buche und Douglasie auf die Bäume ausübt.

Mischung verkürzt die Erholungszeit

Ein weiterer Teil unserer Arbeit befasste sich mit dem Einfluss von Trockenstress auf das Zuwachsverhalten (Thurm et al. 2016). Dazu untersuchten wir die Jahrringzuwächse der Stämme mit Hilfe von Bohrkernen. Betrachtet wurden die stärksten Trockenereignisse zwischen 1950 und 2010 und dahingehend analysiert, wie stark der Grundflächenzuwachs des Einzelbaumes im Trockenjahr einbricht und wieviel Zeit die Baumarten benötigen, um sich wieder auf ihr Niveau vor dem Trockenereignis einzufinden.

Dabei stellte sich heraus, dass die Mischung keinen Einfluss auf den Zuwachseinbruch im Trockenjahr hat. Abbildung 5 beschreibt den relativen Zuwachseinbruch innerhalb der Jahrringe von Buche und Douglasie im Rein- und Mischbestand in Trockenjahren und die anschließende Erholungsphase. Der Einbruch zeigt den Zuwachsverlust gegenüber dem durchschnittlichen Zuwachs an (orange Linie). Die aufstrebenden Linien stellen dar, wann sich die Bäume wieder von einem Trockenjahr erholen und sich auf dem Wachstumsniveau vor dem Trockenstress befinden. Die Douglasien brechen im Reinbestand prozentual etwas mehr ein, besitzen aber auch ein generell höheres Wachstumsniveau als die Buchen. In der Erholungsphase regenerierten sich die Douglasien im Mischbestand jedoch etwas schneller als die Douglasien im Reinbestand. Die Buchen benötigten im Mischbestand eine längere Erholungszeit. Wir vermuten, dass eine zeitlich verzögerte Wassernutzung im Folgejahr die Ursache ist. Die Douglasie als immergrüne Baumart fängt mit der Transpiration an, sobald es die Witterungsbedingungen erlauben. Die Buche beginnt erst wieder mit der Transpiration ab Laubaustrieb. Das bedeutet: Im Mischbestand kann die Douglasie bei günstigen Bedingungen im Frühjahr frühzeitig ihre Reserven wieder auffüllen, das jedoch ohne Konkurrenz der noch nicht ausgetriebenen Buche. In den jeweiligen Reinbeständen beginnen

die beiden Baumarten jeweils gleichzeitig zu transpirieren. Die Douglasie, die im Vergleich zur Fichte generell eine bessere Trockenheitsresistenz hat, profitiert also zusätzlich von der Buchenmischung nach Trockenphasen.

Schlussfolgerungen für die Bewirtschaftung

Unsere Studie hat gezeigt, dass die Mischung von Buche und Douglasie positive Effekte nach sich zieht. Das Wachstum der Douglasie wird gesteigert und das Wachstum der Buche bleibt mindestens konstant. Einen durchschnittlichen Bestandszuwachs von 21 Vorratsfestmetern je Hektar und Jahr ($V_{fm} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$) im Alter von 60 Jahren auf guten Standorten erreichen sicherlich nur wenige Bestandstypen in Mitteleuropa. Im Hinblick auf eine prognostizierte Nadelholzverknappung stellt die Douglasie damit eine sinnvolle Alternative zur Fichte dar. Hohe Niederschläge fördern dabei den Mischungseffekt zusätzlich. Im besonderen Maße ist es das Alter, das zu einem Mehrzuwachs von Mischbeständen gegenüber Reinbeständen führt. Die Mischung braucht Zeit, um einen Mischbestandseffekt auszubilden (unabhängig davon, wie der Mischungseffekt zustande kommt).

Eine weitere waldbauliche Konsequenz ist, dass Buchen-Douglasien-Mischbestände aufgrund der besseren Lichtausnutzung in höheren Bestandsdichten gehalten werden können, ohne dass dadurch Zuwachsverluste verursacht werden. Diese höheren Dichten erlauben auch im späteren Bestandsalter zusätzliche waldbauliche Spielräume. Aufgrund der starken Dominanz der Buche im Jugendalter empfiehlt es sich, die Douglasie truppweise in die Buche einzubringen. Somit erhält man im Altbestand die gewünschte Durchmischung von ein bis maximal drei starken Douglasien, die von Buchen umfasst werden.

Mit Blick auf künftige klimatische Veränderungen zeigt sich die Douglasie ohnehin resistenter als die wichtige einheimische Nadelbaumart Fichte. Die Mischung mit der Buche verschafft ihr noch einen weiteren Stabilitätsvorteil für die Zukunft.

Zusammenfassung

In Rein- und Mischbeständen von Douglasie und Buche wurden die Wechselwirkungen zwischen diesen beiden Baumarten hinsichtlich Zuwachsverhalten und Resilienz untersucht. Vor allem das Wachstum der Douglasie ist im Mischbestand deutlich höher als im Reinbestand. Der Zuwachs der Buche bleibt in Rein- und Mischbeständen weitgehend gleich. Wegen der besseren Lichtausnutzung sind in Mischbeständen höhere Bestandsdichten möglich, ohne dass es zu Zuwachsverlusten kommt. Nach Zuwachseinbrüchen in Trockenjahren erholen sich Douglasien in Mischbeständen schneller als in Reinbeständen.

Projekt

Das Projekt »Zuwachs- und Wertleistung von Buchen – Douglasien – Mischbeständen in Abhängigkeit von den Standortbedingungen« (W 44) wurde vom Bayerischen Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten finanziert.

Partner

Besonderer Dank gilt den Forstbetrieben der Bayerischen Staatsforsten Arnstein, Burglengenfeld, Ottobeuren, Rodingen, Rothenbuch, Rothenburg o. d. T., Wasserburg am Inn, Weißenhorn und Zumarshausen sowie den rheinland-pfälzischen Forstämtern Daun, Johanniskreuz und Westrich, die uns bei der Suche und der Anlage der Versuchsflächen sehr intensiv unterstützt haben.

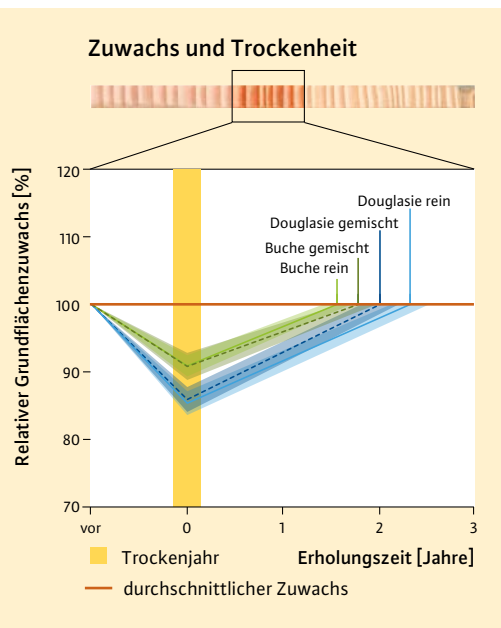
Literatur

- Augusto, L.; Ranger, J.; Binkley, D.; Rothe, A. (2002): Impact of several common tree species of European temperate forests on soil fertility. In: *Ann. For. Sci.* 59 (3), S. 233–253. DOI: 10.1051/forest:2002020
- Berger, T. W.; Berger, P. (2014): Does mixing of beech (*Fagus sylvatica*) and spruce (*Picea abies*) litter hasten decomposition? In: *Plant and Soil* 377 (1–2), S. 217–234. DOI: 10.1007/s1104-013-2001-9
- Edmonds, R. L. (1980): Litter decomposition and nutrient release in Douglas-fir, red alder, western hemlock, and Pacific silver fir ecosystems in western Washington. In: *Can. J. For. Res.* 10 (3), S. 327–337. DOI: 10.1139/x80-056
- Pretzsch, H.; Bielak, K.; Block, J.; Bruchwald, A.; Dieler, J.; Ehrhart, H.-P. et al. (2013): Productivity of mixed versus pure stands of oak (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl. and *Quercus robur* L.) and European beech (*Fagus sylvatica* L.) along an ecological gradient. In: *Eur J Forest Res* 132 (2), S. 263–280. DOI: 10.1007/s10342-012-0673-y
- Pretzsch, H.; Block, J.; Dieler, J.; Gauer, J.; Göttlein, A.; Moshhammer, R. et al. (2014): Nährstoffzüge durch die Holz- und Biomassenutzung in Wäldern. Teil 1: Schätz-funktionen für Biomasse und Nährelemente und ihre Anwendung in Szenariorechnungen. In: *Allg. Forst Jagdztg* 185 (11/12), S. 261–285
- Pretzsch, H.; Block, J.; Dieler, J.; Dong, P. H.; Kohnle, U.; Nagel, J. et al. (2010): Comparison between the productivity of pure and mixed stands of Norway spruce and European beech along an ecological gradient. In: *Annals of Forest Science* 67 (7), S. 712. DOI: 10.1051/forest/2010037
- Pretzsch, H.; Rais, A. (2016): Wood quality in complex forests versus even-aged monocultures. Review and perspectives. In: *Wood Sci Technol* 50 (4), S. 845–880. DOI: 10.1007/s00226-016-0827-z
- Pretzsch, H.; Schütze, G. (2016): Effect of tree species mixing on the size structure, density, and yield of forest stands. In: *Eur J Forest Res* 135 (1), S. 1–22. DOI: 10.1007/s10342-015-0913-z
- Thurm, E. A.; Biber, P.; Pretzsch, H. (2017): Stem growth is favored at expenses of root growth in mixed stands and humid conditions for Douglas-fir (*Pseudotsuga menziesii*) and European beech (*Fagus sylvatica*). In: *Trees* 31 (1), S. 349–365. DOI: 10.1007/s00468-016-1512-4
- Thurm, E. A.; Pretzsch, H. (2016): Improved productivity and modified tree morphology of mixed versus pure stands of European beech (*Fagus sylvatica*) and Douglas-fir (*Pseudotsuga menziesii*) with increasing precipitation and age. In: *Ann. For. Sci.* 73 (4), S. 1047–1061. DOI: 10.1007/s13595-016-0588-8
- Thurm, E. A.; Uhl, E.; Pretzsch, H. (2016): Mixture reduces climate sensitivity of Douglas-fir stem growth. In: *Forest Ecology and Management* (376), S. 205–220. DOI: 10.1016/j.foreco.2016.06.020

Autoren

Eric Andreas Thurm ist Mitarbeiter in der Abteilung »Boden und Klima« der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft und bearbeitete das Projekt »Buche Douglasie (W44)« am Lehrstuhl für Waldwachstumskunde. Enno Uhl koordiniert das langfristige, ertragskundliche Versuchswesen Bayerns am Lehrstuhl für Waldwachstumskunde. Prof. Dr. Dr. h.c. Hans Pretzsch leitet den Lehrstuhl für Waldwachstumskunde der Technischen Universität München.

Kontakt: Eric.Thurm@lwf.bayern.de



5 Relativer Zuwachseinbruch innerhalb der Jahrringe von Buche und Douglasie im Rein- und Mischbestand in Trockenjahren