

# Erhöhung der Einzelbaumstabilität: Wie Durchforstungen Trockenstress verringern können

Der Klimawandel ist in den kommenden Jahrzehnten sicherlich die größte Herausforderung der Forstwirtschaft. Einerseits ist die Rasanz der Temperaturerhöhung ein großes Problem für unsere langen Produktionszyklen, andererseits ist es aber auch die große Unsicherheit – Wie stark verändert sich das Klima letztlich? –, die uns große Sorgen machen muss. Diese Unsicherheit nötigt uns dazu, eine breite Palette an Handlungsoptionen zu nutzen, um sowohl unter milden als auch unter drastischen Klimaveränderungen weiter im Wald wirtschaftlich sein zu können.

In der letzten Ausgabe des „immergrün“-Beilegers (Thurm 2020, Ausgabe 2020/1) wurden fünf waldbauliche Handlungsoptionen genannt, die bei steigenden Temperaturen in der Lage

sind, Wälder störungsresistenter zu gestalten. Im aktuellen Beitrag und in den vier folgenden befassen wir uns damit, die einzelnen Handlungsoptionen näher zu betrachten.

## 1 Erkennen der Einzelbaumstabilität

Die Erhöhung der Einzelbaumstabilität wurde als erste Handlungsoption genannt, denn sie ist verhältnismäßig risikoarm. Das heißt, ihre stabilisierende Wirkung ist im Vergleich zu den anderen vier Optionen geringer. Dafür kann diese Handlungsoption jedoch sehr kurzfristig erfolgen. Sie kann über eine lange Phase des



<sup>1</sup> Die Dichte ist eine wesentliche Steuerungsgröße für den Förster in Bezug auf Wachstum und Stabilität – aber auch das gesamte Ökosystem wird dadurch beeinflusst. Darum ist es umso wichtiger das richtige Maß zu wählen.



<sup>2</sup> Zwei Parzellen des Kieferndurchforstungsversuches „Düsterförde 49“ mit einem Bestockungsgrad von 0,8 (links: mäßige Hochdurchforstung mit 200 Z-Bäumen) und 1,1 (rechts: undurchforstete Nullfläche).

Bestandeslebens angewandt werden (siehe immergrün Thurm 2020/2, Abb. 3) und ihre Wirkung ist sehr gut untersucht und somit einfacher abzuschätzen.

Was bedeutet es, die Stabilität des Einzelbaumes zu erhöhen? In dem Fall versteht man darunter, das Individuum gegen Trockenstress resistenter<sup>1</sup> und resilienter<sup>2</sup> zu gestalten. Als Kennzahl der Stabilität wird in der Forstwirtschaft gerne das Verhältnis aus Baumhöhe und Durchmesser genutzt – der h/d-Wert. Auch wenn der Wert vornehmlich für die Windwurf- und Schneebruchstabilität beschrieben ist (z. B. Röhrig et al. 2006), kann er in gewisser Weise auch für die hier von uns betrachtete Stabilität gegen Trockenstress genutzt werden. Ein niedriger h/d-Wert bedeutet, dass aufgrund des größeren Standraumes die Konkurrenzsituation am Baum vermindert ist. So ist der Baum in der Lage, Ressourcen vermehrt in das Dickenwachstum und in die Anlage von Reserven zu allokalieren, anstatt vornehmlich in das Höhenwachstum (Abetz 1976). Daraus folgt, dass auch der Anteil der grünen Krone größer ist (Hasenauer und Monserud 1996). Mit einer erhöhten oberirdischen Biomasse des Baumes geht dann eine höhere Wurzelmasse einher.

Der richtige Standraum des Baumes wird durch eine standort- und baumartenspezifische Stammzahl pro Hektar erreicht. Die klassischen Werkzeuge des Försters zur Regulierung des Standraumes sind die Pflanzenzahl bei der künstlichen Begründung und die Durchforstung im Bestandesverlauf.

## 2 Durchforstungseffekte in langfristigen Versuchsflächen

Die Regulierung des Standraumes über die Durchforstung ist einer der Kernfragen, mit denen sich das forstliche Versuchswesen seit über einem Jahrhundert befasst. Schon 1860 existieren erste Belege über langfristige Versuchsflächen, in denen unterschiedliche Durchforstungsarten miteinander verglichen wurden (Zeide 2001). Waren diese Versuche ursprünglich zur Bestimmung von Volumen- und Wertleistung angelegt, ermöglichen sie heute beispielsweise die angesprochene Problematik des Zusammenhanges zwischen Standraum und Trockenstabilität zu untersuchen (Kohler et al. 2010; Rais et al. 2014; Sohn et al. 2016b).

Auch in Mecklenburg-Vorpommern werden Durchforstungsversuche durch das Forstliche Versuchswesen, Sachgebiet Waldbau und Waldwachstum betreut. Aufgrund der hohen wirtschaftlichen Bedeutung sind eine Vielzahl davon mit der Gemeinen Kiefer angelegt worden. Darüber hinaus existieren aber auch Durchforstungsversuche mit Rotbuche, Stiel- und Traubeneiche, Douglasie, Weymouth-Kiefer und Japanischer Lärche. Die ältesten Flächen werden schon seit den 1950er Jahren turnusgemäß alle fünf Jahre aufgenommen.

<sup>1</sup> Resistenz ist die Widerstandsfähigkeit eines Organismus gegen schädliche Einflüsse.

<sup>2</sup> Resilienz ist die Fähigkeit eines Organismus, nach einem schädlichen Einfluss wieder in den Ausgangszustand zu gelangen.

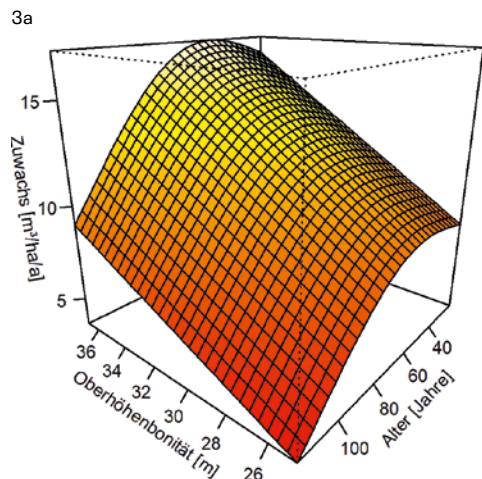
### 3 Mit einem Modell die Beziehung Standort-Wachstum-Trockenheit darstellen

Um den positiven Effekt von Standortraum zu Trockenstress darzustellen, haben wir die Kieferndurchforstungsversuche im Land näher untersucht. Hierfür haben wir ein statisches Modell erstellt, welches den Bestandeszuwachs in 1) Abhängigkeit des Niederschlages der Vegetationsperiode und 2) der Bestandesdichte in Form des Bestockungsgrades ( $B^\circ$ ) erklärt. Des Weiteren integriert das Modell die wachstumsentscheidenden Größen 3) Standortgüte repräsentiert durch die Oberhöhenbonität und 4) das Bestandesalter. Da es sich um turnusmäßig aufgenommene Versuchsflächendaten handelt, stellen alle Werte fünfjährige Mittelungen dar<sup>3</sup>.

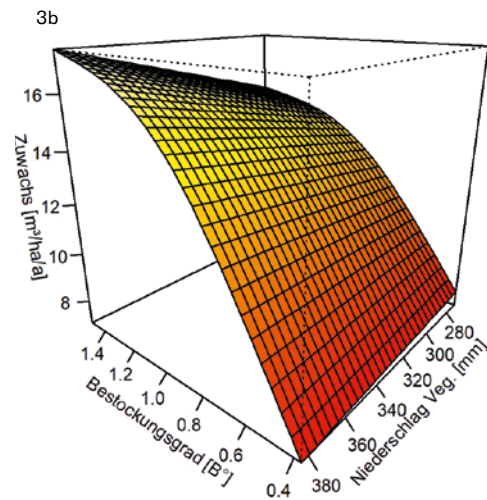
Mit diesen vier Einflussfaktoren lässt sich die Zuwachsentwicklung gut beschreiben (Bestimmtheitsmaß  $R^2 = 0,47$ ). Anhand der Abbil-

dung 3a erkennt man gültige waldwachstums-kundliche Zusammenhänge: der Zuwachs steigt mit besseren Bonitäten an und kulminiert ab einem Altern von 60 Jahren. Auf den untersuchten Versuchsflächen ist dieser Kulminationspunkt gegenüber der Ertragstafel von Lembcke et al. (1976) noch etwas ins höhere Alter verlagert. Eine Ursache könnte hier schon in den veränderten Wachstumsbedingungen im Klimawandel liegen (Pretzsch et al. 2014).

Im Fokus soll für uns aber Abbildung 3b stehen und der Zusammenhang zwischen Dichte und Niederschlag. Man erkennt in der Abbildung, dass mit steigender Dichte der Zuwachs zunimmt.<sup>4</sup> Betrachtet man nun den oberen Teil der Abbildung (gelber Bereich), der für eine hohe Dichte steht, erkennt man deutlich wie stark der Zuwachs mit geringeren Niederschlägen (hinterer Bereich) abnimmt. Bei niedrigeren Bestockungsgraden (roter Bereich), ist diese Abhängigkeit von Zuwachs und Niederschlag kaum noch ausgeprägt. Fazit: Mehr Standortraum macht die Bäume unabhängiger vom Trockenstress.

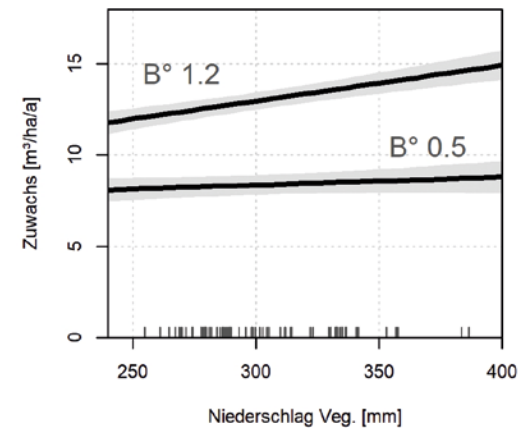


3 Modell des Bestandeszuwachses in Abhängigkeit von Bonität und Alter. Die Abbildung dient dazu, die generellen Trends darzustellen, denn Abb. 3a basiert auf mittleren Niederschlags- und Bestockungsbedingungen von Abb 3b und umgekehrt!



<sup>3</sup> Kurzbeschreibung der Methodik: Die Untersuchung erfolgte an Durchforstungsversuchen mit Kiefern-Reinbeständen. Ausgangslage der Auswertung waren 320 Bestandesaufnahmen zwischen den Jahren 1966 bis 2020 von 61 Versuchsparzellen in Mecklenburg-Vorpommern. Zur Anwendung kam ein generalisiertes, additives Modell (GAM):  $Zuwachs = f(\text{Alter, Bonität}) + f(\text{Dichte, Niederschlag})$ . Als Bestandeszuwachs diente der jährliche Volumenzuwachs. Er ist ein Mittelwert der jeweiligen fünfjährigen Aufnahmeperiode. Die Bestandesdichte in Form des Bestockungsgrades und die Oberhöhenbonität wurden mit Hilfe der Ertragstafel von Lembcke et al. 1976 berechnet. Der Niederschlag in der Vegetationsperiode beschreibt die Niederschlagssumme von Mai bis September. Er ist ebenfalls ein Mittelwert der jeweiligen fünfjährigen Aufnahmeperiode.

<sup>4</sup> Im Prinzip sinkt der Zuwachs bei sehr hohen Dichten auch wieder. Dass wir in unserem Modell nicht diese Suboptimum-Kurve mit optimaler Grundfläche und maximaler Grundfläche darstellen können (siehe Assmann 1950), wird verursacht durch die vier vorgegebenen Variablen. Der Zusammenhang ist in dem Datensatz aber ebenfalls zu finden.



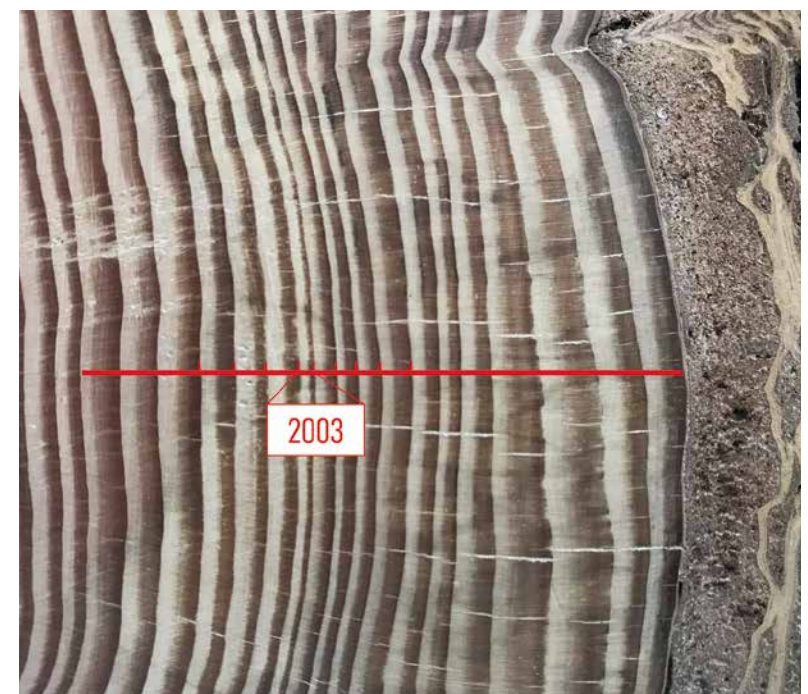
4 Zuwachs von zwei modellierten Beständen im Alter von 50 Jahren, die sich lediglich in der Dichte ( $B^\circ$ -Bestockungsgrad) unterscheiden. Deutlich ist bei dem Bestand mit der höheren Dichte der Zuwachseinbruch zu erkennen, der sich bei verringertem Niederschlag in der Vegetationsperiode ergibt.

Basierend aus dem Wachstumsmodell von Abbildung 3 ist dieser Zusammenhang in Abbildung 4 einmal für zwei modellierte Bestandes-situationen dargestellt. Dabei handelt es sich um 50-jährige Kiefernbestände der Ertrags-klasse I.0 (30 Meter Oberhöhenbonität) mit einem sehr niedrigen Bestockungsgrad von 0,5 und einem sehr hohen Bestockungsgrad von 1,2. Diese drastischen Bestockungsgrade sind sicherlich nicht der Normalfall in Mecklen-

burg-Vorpommern, sondern sollen hier dazu dienen den Standortraum-Effekt deutlicher darzustellen.

Bei dem modellierten Bestand mit einem Bestockungsgrad von 1,2 fällt der Zuwachs von  $15 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{a}$  auf  $12 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{a}$ . Bei dem Bestand mit einem Bestockungsgrad von 0,5 ist der Zuwachs von  $8,5 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{a}$  nahezu unbeeinflusst. Wie erwähnt handelt es sich bei den Zuwachsdaten um fünfjährige Zuwachsmittel. Im entsprechenden Trockenjahr bricht der Zuwachs natürlich auch in den Beständen mit niedrigen Bestockungsgraden ein, jedoch nicht so stark wie in den Beständen mit hohen Bestandesdichten bzw. er erholt sich schneller. Abbildung 4 macht des Weiteren deutlich, dass ein Absenken der Dichte mit Zuwachsverlusten einhergeht. Folglich ist die Erhöhung des Standortraumes immer auch ein Abwägen zwischen Gewinn und Risiko.

Die Kosten, die durch den Zuwachsverlust für die Risikominimierung entstehen, sind nun jedoch auch unmittelbare Kosten die durch den Klimawandel in Zukunft auftreten.



5 An dem Stammquerschnitt einer Douglasie erkennt man sehr schön den schmal ausgebildeten Jahrring im Trockenjahr 2003 und wie die Jahrringe danach wieder sukzessive größer werden. Vergleiche der Zuwachsringe vor und nach einem Trockenjahr dienen der Wissenschaft als Kennzahl für die Resistenz von Baumarten unter Trockenstress.

## 4 Der Zusammenhang von Durchforstung und Stabilität in Jahrringdaten

Mithilfe der Jahrringe eines Baumes kann der Zuwachseinfluss von Durchforstungen auch jährlich dargestellt werden (siehe Abb. 5). Zahlreiche Studien konnten den positiven Einfluss von Durchforstungen an verschiedenen Baumarten belegen (Diaconu et al. 2017; Aussenac und Granier 1988; Sohn et al. 2016a). Laubbäume reagieren auf den vergrößerten Standraum zumeist mit einem geringeren Zuwachseinbruch im Trockenjahr – die Resistenz ist erhöht. Bei den Nadelbäumen bewirkte die Durchforstung eine schnellere Rückkehr zu ihrem ursprünglichen Wachstumsniveau – die Resilienz wurde verbessert (Sohn et al. 2016b). Wie lange der positive Effekt der Durchforstung anhält, wird in den verschiedenen Untersuchungen unterschiedlich betrachtet. Einige Studien weisen darauf hin, dass der Durchforstungseffekt mit der Zeit wieder abnimmt (Guillemot et al. 2015). Eine Ursache könnte sein, dass der Baum den Standraum mit der Zeit wieder gänzlich erschließt und seine Blattmasse und folglich auch seinen Wasserverbrauch wieder erhöht.



5 Absenken des Dichte unterhalb der kritischen Grundfläche (Assmann 1950).

Auch die Erkenntnis, dass viele Baumarten im höheren Bestandesalter nicht mehr in der Lage sind die stabilisierende Wirkung der Durchforstung zu nutzen, muss bei der praktischen Umsetzung berücksichtigt werden (Sohn et al. 2016b; D'Amato et al. 2013).

## 5 Die Gegenspieler der Standraum-Erweiterung

Ganz so einfach ist es mit der Standraum-Erweiterung dann aber leider doch nicht, denn es gibt auch Gegenspieler. In welchem Umfang die Durchforstung zu vollziehen ist, ist daher ein wesentlicher Punkt in der Debatte.

Es ist augenscheinlich, dass es bei starker Durchforstung zu Zuwachseinbrüchen am Gesamtbestand kommt (siehe Abb. 4). Die profitierenden Zukunfts-Bäume können den Verlust des ausscheidenden Bestandes nicht mehr kompensieren<sup>5</sup>. Es besteht somit ein Abwägungsprozess zwischen Risikominimierung und Holzzuwachs. Des Weiteren führt eine unverhältnismäßige Auflichtung im schlimmsten Fall dazu, dass das Bestandesinnenklima zerstört wird. Stärkere Einstrahlung auf den Boden und höhere Windgeschwindigkeiten im Bestand verursachen dann einen erhöhten Wasserver-

6 Die Absenkung der Dichte dient unter anderem dazu, noch nicht Hiebsreife Nadelholz-Reinbestände so lange gegen Trockstressausfälle zu stabilisieren, bis diese in Mischbestände umgebaut werden können. Douglasien-Provenienzversuch „Parchim 21“.

lust (Lagergren et al. 2008). Zusätzlich kann der stärkere Lichtgenuss am Boden zu einer vermehrten Ausbildung der Krautschicht führen, die wiederum den Wasserverbrauch erhöht (Gebhardt et al. 2014; Simonin et al. 2007).

Es wurde eingangs erwähnt, dass ein niedriger h/d-Wert ein Weiser für eine klimastabile Standraumsituation sein kann. Niedrige Pflanzanzahlen bei der künstlichen Begründung verursachen selbstverständlich auch niedrige h/d-Werte. Man könnte nun vermuten, dass geringe Pflanzanzahlen im Klimawandel das Mittel der Wahl wären. Dies ist aber nicht der Fall, denn der positive Standraumeffekt nimmt, wie ebenfalls erwähnt, mit der Zeit wieder ab. Ziel muss es also sein, ausreichend Pflanzanzahlen bei der Etablierung des Bestandes zu haben, um im Bestandesverlauf den positiven Durchforstungseffekt permanent anstoßen zu können.

## 6 Durchforstung ja, aber wie?

Ein ausgewogenes Maß ist letztlich der richtige Weg, Durchforstungen als Trockenstressoption einzusetzen. Das bedeutet: 1) Turnusgemäße Durchforstungen sollten nicht vernachlässigt werden. 2) Die Durchforstungen sollten mit mäßiger Intensität erfolgen. 3) Starke Durchforstungsrückgänge können nicht über einmalige Nutzungen aufgeholt werden, sondern die Bestandesstruktur und die Einzelbaumstabilität muss langfristig aufgebaut werden. Eine Volksweisheit ist hier zutreffend: „Was Hänschen nicht lernt, lernt Hans nimmermehr“. Altbäume für eine bessere Klimastabilität freizustellen, die ihr ganzes Bestandesleben an einen hohen Dichtstand und Seitendruck angepasst war, ist nicht möglich. Es empfiehlt sich, die Bestockung dann nicht mehr als um zwei Zehntel pro Durchforstung abzusenken. 4) Grundsätzlich ist auch immer die Baumart zu berücksichtigen. Die Entnahmemengen der Ertragstafel geben hier einen Aufschluss darüber, wie stark die einzelnen Baumarten in der Lage sind, entsprechende Entnahmemenge zu kompensieren.

Durchforstungen sind schon heute eine gute Handlungsoption, um beispielsweise Nadel-

holz-Reinbestände, die noch nicht ihr Erntezeitalter erreicht haben, stabiler für den Klimawandel zu gestalten. Somit kann deren Risiko solange vermindert werden, bis sie in angepasste Mischbestände überführt werden können. Es wird ersichtlich, dass die Anpassung der Waldbestände ein Mehraufwand für die Forstwirtschaft bedeutet.

Dr. Eric Andreas Thurm  
Sachgebietsleiter Waldbau  
und Waldwachstum  
Forstliches Versuchswesen, BT FVI  
Landesforst MV

### Literaturverzeichnis

- Abetz, P. (1976): Beiträge zum Baumwachstum. Der h/d-Wert - mehr als ein Schlankheitsgrad. In: Forst- u. Holzwirt 31, S. 389-393.
- Assmann, E. (1950): Grundflächen- und Volumzuwachs der Rotbuche bei verschiedenen Durchforstungsgraden. In: Forstwissenschaftliches Centralblatt 69 (5), S. 256-286. DOI: 10.1007/BF01822154.
- Aussenac, Gilbert; Granier, André (1988): Effects of thinning on water stress and growth in Douglas-fir. In: Can J For Res 18 (1), S. 100-105. Online verfügbar unter <http://www.nrcresearchpress.com/doi/pdf/10.1139/x88-015>.
- D'Amato, Anthony W.; Bradford, John B.; Fraver, Shawn; Palik, Brian J. (2013): Effects of thinning on drought vulnerability and climate response in north temperate forest ecosystems. In: Ecological Applications 23 (8), S. 1735-1742. DOI: 10.1890/13-0677.1.
- Diaconu, Daniela; Kahle, Hans-Peter; Spiecker, Heinrich (2017): Thinning increases drought tolerance of European beech: a case study on two forested slopes on opposite sides of a valley. In: Eur J Forest Res 136 (2), S. 319-328. DOI: 10.1007/s10342-017-1033-8.
- Gebhardt, Timo; Häberle, Karl-Heinz; Matyssek, Rainer; Schulz, Christoph; Ammer, Christian (2014): The more, the better? Water relations of Norway spruce stands after progressive thinning. In: Agr Forest Meteorol 197, S. 235-243. DOI: 10.1016/j.agrformet.2014.05.013.
- Guillemot, Joannès; Klein, Etienne K.; Davi, Hendrik; Courbet, François (2015): The effects of thinning intensity and tree size on the growth response to annual climate in Cedrus atlantica. A linear mixed modeling approach. In: Ann For Sci 72 (5), S. 651-663. DOI: 10.1007/s13595-015-0464-y.
- Hasenauer, Hubert; Monserud, Robert A. (1996): A crown ratio model for Austrian forests. In: Forest Eco Manag 84 (1-3), S. 49-60. DOI: 10.1016/0378-1127(96)03768-1.
- Kohler, Martin; Sohn, Julia; Nägele, Gregor; Bauhus, Jürgen (2010): Can drought tolerance of Norway spruce (Picea abies (L.) Karst.) be increased through thinning? In: Eur J Forest Res 129 (6), S. 1109-1118. DOI: 10.1007/s10342-010-0397-9.
- Lagergren, Fredrik; Lankeijer, Harry; Kučera, Jiří; Cienciala, Emil; Mölder, Meelis; Lindroth, Anders (2008): Thinning effects on pine-spruce forest transpiration in central Sweden. In: Forest Eco Manag 255 (7), S. 2312-2323. DOI: 10.1016/j.foreco.2007.12.047.
- Lembcke, G.; Knapp, E.; Dittmar, O. (1976): DDR-Kiefer. Ertragstafel 1975. Eberswalde.
- Pretzsch, Hans; Biber, Peter; Schütze, Gerhard; Uhl, Enno; Rötzer, Thomas (2014): Forest stand growth dynamics in Central Europe have accelerated since 1870. In: Nature communications 5, S. 4967. DOI: 10.1038/ncomms5967.
- Rais, Andreas; Poschenrieder, Werner; Pretzsch, Hans; van de Kuilen, Jan-Willem G. (2014): Influence of initial plant density on sawn timber properties for Douglas-fir (Pseudotsuga menziesii (Mirb.) Franco). In: Ann For Sci. DOI: 10.1007/s13595-014-0362-8.
- Röhrig, Ernst; Bartsch, Norbert; Lüpke, Burghard von; Dengler, Alfred (2006): Waldbau auf ökologischer Grundlage. 91 Tabellen. 7., vollst. aktual. Aufl. Stuttgart: UTB (UTB Forst- und Agrarwissenschaften, Ökologie, Biologie, 8310).
- Simonin, K.; Kolb, T. E.; Montes-Helu, M.; Koch, G. W. (2007): The influence of thinning on components of stand water balance in a ponderosa pine forest stand during and after extreme drought. In: Agr Forest Meteorol 143 (3), S. 266-276. DOI: 10.1016/j.agrformet.2007.01.003.
- Sohn, Julia A.; Hartig, Florian; Kohler, Martin; Huss, Jürgen; Bauhus, Jürgen (2016a): Heavy and frequent thinning promotes drought adaptation in Pinus sylvestris forests. In: Ecological Applications 26 (7), S. 2190-2205. DOI: 10.1002/eap.1373.
- Sohn, Julia A.; Saha, Somidh; Bauhus, Jürgen (2016b): Potential of forest thinning to mitigate drought stress: A meta-analysis. In: Forest Ecol Manag 380, S. 261-273. DOI: 10.1016/j.foreco.2016.07.046.
- Zeide, Boris (2001): Thinning and growth: a full turnaround. In: Journal of Forestry 99 (1), S. 20-25.