

Zeitschrift: Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen = Swiss forestry journal = Journal forestier suisse

Herausgeber: Schweizerischer Forstverein

Band: 169 (2018)

Heft: 6

Artikel: Ertragskundliche Aspekte und Strukturodynamik der Buchen-Lichtwuchsdurchforstung

Autor: Klädtke, Joachim

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1097403>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 02.05.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Ertragskundliche Aspekte und Strukturdynamik der Buchen-Lichtwuchsdurchforstung

Joachim Klädtke Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg (DE)*

Ertragskundliche Aspekte und Strukturdynamik der Buchen-Lichtwuchsdurchforstung

Auf Basis der Versuche, die Altherr in den 1970er-Jahren in Baden-Württemberg angelegt hatte, wurden die Auswirkungen der von ihm empfohlenen Lichtwuchsdurchforstung mit 100 bis 120 Z-Bäumen auf die Flächenproduktivität und die Bestandesstruktur von Buchenbeständen untersucht. Die Ergebnisse zeigen, dass die Flächenproduktivität gegenüber der Vergleichsvariante «zuwachsoptimale Grundflächenhaltung» mit maximalem Volumenzuwachs um etwa 6% niedriger ist. Bei Lichtwuchskonzepten mit nur 50 Z-Bäumen je Hektare ist unter Berücksichtigung der Ergebnisse anderer Arbeiten von einem um etwa 12% verringerten Volumenzuwachs auszugehen. Diese Minderleistung ist grösstenteils darauf zurückzuführen, dass stark freigestellte Z-Bäume das Höhenwachstum zugunsten einer lateralen Kronenausdehnung reduzieren. Die Untersuchung ergab in Übereinstimmung mit zahlreichen anderen Arbeiten, dass sich starke Hoch- und Lichtwuchsdurchforstungen positiv auf die Struktur von Buchenbeständen auswirken. Die für die Durchmesser- und Höhendiversität der Lichtwuchsfelder berechneten Strukturindizes erreichen Werte, wie sie für Fichten-Tannen-Plenterwälder charakteristisch sind. Die Durchmesserverteilungen hatten bereits nach drei bis vier Eingriffen eine plenterwaldtypische, exponentiell abnehmende Form angenommen. Simulationen zufolge scheint es möglich, Buchenbestände aus der Lichtwuchsdurchforstung direkt in Dauerwald oder Plenterwald zu überführen. Im Hinblick auf die kritisch zu sehende Qualitätsentwicklung ist allerdings zu fragen, ob eine Überführung ab dem Zeitpunkt der Zieldurchmesserernte nicht die waldbaulich sinnvollere Alternative ist.

Keywords: beech, selective thinning, future crop tree, volume production, stand heterogeneity, *Fagus sylvatica*
doi: 10.3188/szf.2018.0332

* Wonnhaldestrasse 4, DE-79100 Freiburg i. Br., E-Mail joachim.klaedtke@forst.bwl.de

Während bei Eiche und Edellaubbäumen grundsätzlich die Produktion von Wertholz angestrebt wird, haben sich die Ziele in der Buchenwirtschaft wiederholt geändert (Nagel & Spellmann 2008). War in den Nachkriegsjahren die Brennholzproduktion vorrangig, gewann ab den 1960er-Jahren die Wertholzerzeugung immer mehr an Bedeutung (Freist 1962, Altherr 1971). Sinkende Preise für Buchenwertholz und eine steigende Nachfrage nach Energieholz liessen etwa ab 2005 die Massenproduktion wieder an Bedeutung gewinnen. In jüngster Vergangenheit führte die postulierte grosse ökologische Bedeutung strukturreicher Buchenwälder zu Forderungen, Strukturaspekte sowie Alt- bzw. Totholzvorkommen wesentlich stärker bei der Bewirtschaftung zu berücksichtigen (Flade et al 2004, BfN 2008). Diese Forderungen fanden u.a. Eingang in die Waldentwicklungstypen von Baden-Württemberg, in denen ein «Strukturreicher ... Buchenmischwald mit hohen Anteilen an wertvollem Stark-

holz ... und unregelmässig verteilten Elementen der Zerfallsphase» als Ziel definiert ist (MLR Baden-Württemberg 2014).

Für die Behandlung von Buchenbeständen ist im Staatswald Baden-Württembergs eine Z-Baumorientierte Lichtwuchsdurchforstung vorgesehen, und es stellt sich die Frage, ob diese den unterschiedlichen Zielsetzungen in der Buchenwirtschaft gerecht werden kann. Während zu den Auswirkungen auf die Wertleistung bereits positive Ergebnisse vorliegen (z.B. Klädtke 2001, Hein et al 2007), stehen im Fokus dieser Arbeit die bislang nur ansatzweise untersuchte Flächenproduktivität lichtwuchsdurchforsteter Buchenbestände sowie ihre Struktur einschliesslich der Möglichkeit zur Herbeiführung von Plenterstrukturen, da oft angenommen wird, dass die gleichmässige Verteilung der Z-Bäume in Verbindung mit starker Freistellung zu Strukturarmut führt.

Versuch	Alter (Jahre)	Lichtwuchsfelder				Vergleichsfelder					
		H _{bon} (m)	D ₁₀₀ (cm)	H ₁₀₀ (m)	Gwlv (Vfm/ha)	dGz _{per} (Vfm/[ha×J])	H _{bon} (m)	D ₁₀₀ (cm)	H ₁₀₀ (m)	Gwlv (Vfm/ha)	dGz _{per} (Vfm/[ha×J])
Bu 223	54	33.8	24.4	21.9	300	12.5	34.1	24.1	21.4	285	14.8
	99		50.3	32.2	861			48.0	33.3	952	
Bu 224	63	31.5	24.0	21.5	297	13.4	31.4 ¹⁾	22.3	19.6	256	13.4
	103		50.3	32.0	832			42.8	30.8	791	
Bu 225	74	34.4	34.8	28.3	555	16.0	33.9	35.1	27.2	552	16.0
	102		53.3	34.4	1004			50.4	34.5	999	
Bu 226	78	30.2	29.7	24.8	475	12.9	30.2	30.8	24.3	472	13.3
	121		51.3	34.2	1031			49.3	34.7	1044	
Bu 227	69	32.2	26.1	24.1	402	14.4	33.7	28.6	25.4	466	16.0
	112		54.4	34.6	1020			51.2	36.3	1154	
Bu 228	62	33.2	25.1	23.4	377	13.3	34.4	26.1	24.1	407	15.7
	106		50.6	33.9	963			48.0	35.5	1100	
Bu 229	70	33.6	30.2	26.9	514	13.5	33.8	28.8	25.7	489	14.6
	104		50.0	33.5	974			46.1	34.9	983	
Bu 230	88	29.3	30.3	25.8	515	12.6	29.3	29.2	25.0	489	13.1
	126		48.7	34.9	993			45.3	35.7	988	
Bu 231	78	29.6	28.1	24.5	466	10.7	29.2	27.6	23.9	456	11.9
	121		48.0	32.8	926			45.5	33.1	968	

Tab 1 Waldwachstumskundliche Kennwerte der Lichtwuchs- und der Vergleichsfelder. Alter: Alter zu Versuchsbeginn und zum Zeitpunkt des Beginns der Zieldurchmesserernte auf den Lichtwuchsfeldern (bei $D_{1.3} = 60$ cm). H_{bon} : Oberhöhe im Alter von 100 Jahren, berechnet nach Bösch (2001). D_{100} , H_{100} : Durchmesser und Höhe der 100 dicksten Bäume pro Hektare. $Gwlv$: Gesamtwuchsleistung an Volumen, wobei die Vornutzungen vor Versuchsbeginn anhand der Buchen-Ertragstafel von Schober (1995) geschätzt wurden. dGz_{per} : Durchschnittlicher Gesamtzuwachs pro Jahr. 1) Das Vergleichsfeld ist fünf Jahre jünger als das Lichtwuchsfeld.

Versuchsflächen

Die vorliegende Auswertung basiert auf neun Versuchsanlagen zur Buchen-Lichtwuchsdurchforschung (Bu 223–Bu 231), die in den Jahren 1969 bis 1971 von Altherr in Baden-Württemberg angelegt worden waren. Das Bestandesalter lag zu Versuchsbeginn zwischen 54 und 88 Jahren. Die Versuche Bu 223 bis Bu 225 liegen im Wuchsgebiet Neckarland auf 320 bis 340 m ü. NN und stocken laut der durchgeführten Feinkartierung auf mittelgründigen Kalkverwitterungslehmen. Die Versuche Bu 226 bis 231 befinden sich dagegen im Wuchsgebiet Schwäbische Alb auf 584 bis 671 m ü. NN auf Schicht- und Kalkverwitterungslehmen des Weissen Jura. Die mittleren Jahresniederschläge betragen 860 (Neckarland) bzw. 920 mm (Schwäbische Alb), die mittleren Jahrestemperaturen 8.8 °C bzw. 7.2 °C.¹

Jede Anlage beinhaltet ein Lichtwuchsfeld (Lw-Feld), auf dem 100 bis 120 fest ausgewählte Z-Bäume entsprechend den von Altherr entwickelten Grundflächenvorgaben freigestellt worden waren (ohne Eingriffe in den Zwischenbereichen), und ein mässig stark hochdurchforstetes Vergleichsfeld (Vgl-Feld). Auf diesem wurden Vergleichsbäume in gleicher Anzahl ausgewählt, die Eingriffe erfolgten jedoch über das Feld verteilt. Die Grundflächenhaltung der Vgl-Felder entspricht den Werten der Buchen-Ertragstafel für mässige Durchforstung von Schober (1995) als Näherung für eine zuwachsoptimale Grundflächenhaltung (Assmann 1965).

Die Lichtwuchsdurchforstungen nach Altherr endeten im Jahr 1988. Bis dahin wurden auf den Lw-Feldern im Mittel 261 Vfm/ha und damit mehr als der seit Versuchsbeginn geleistete Zuwachs (105%) entnommen. Auf den Vgl-Feldern waren es im gleichen Zeitraum 150 Vfm/ha bzw. 57% des Zuwachses. Auskunft über weitere wichtige waldwachstumskundliche Kenngrößen gibt Tabelle 1.

Methoden

Dendrologische Messdaten

Für die Auswertungen wurden folgende, im Mittel etwa alle fünf Jahre erhobenen Daten herangezogen:

- Durchmesser in 1.3 m Höhe ($D_{1.3}$) aller Bäume ab 4 cm (mit Rinde), wobei die Bäume des Hauptbestandes (individuell nummeriert) auf einer Kluppliste und die Bäume des Unterstandes (unnummeriert, Zuordnung anhand der Höhenschichtung) auf einer Strichliste erfasst wurden,
- Durchmesser in 5 m Höhe (D_5) der Z- bzw. Vgl-Bäume zur Berechnung des unechten Formquotienten Q_5 des 10 m langen unteren Stammabschnittes. Die letzte Messung des D_5 fand 1988 statt, als die Lw-Phase im Wesentlichen abgeschlossen war,²

¹ Datenbasis: Deutscher Wetterdienst, Einzelwerte gemittelt.

² Eine Schlusssaufnahme des D_5 erfolgt im Rahmen der Zieldurchmesserernte, diese Daten liegen aber noch nicht vollständig vor.

- Baumhöhen (H) einer über die Durchmesser-spreite verteilten Stichprobe von im Mittel 50 Bäumen,
 - ggf. Ausscheidatum und Ausscheidgrund.
- Aus diesen Informationen wurden die hektarbezogenen Kennwerte wie Durchmesser und Höhe der 100 dicksten Bäume (D_{100} , H_{100} bzw. Oberhöhe) sowie die Gesamtwuchsleistung an Volumen (GWL_V) berechnet (vgl. DESER-Norm, JOHANN 1993).

Auf allen Lw-Feldern und auf den meisten Vgl-Feldern hat sich mittlerweile Naturverjüngung eingestellt. Diese wurde aber bislang erst einmal stichprobenweise aufgenommen und deshalb in die vorliegende Auswertung nicht mit einbezogen.

Strukturindizes

Räumliche Verteilung

Zur Analyse der räumlichen Verteilung wurde unter Verwendung der im Jahr 2004 von allen Bäumen des Hauptbestandes erfassten Baumkoordinaten der Aggregationsindex (R_{corr}) nach Clark & Evans (1954) bestimmt, der aus dem mittleren Mindestabstand der Bäume hergeleitet wird. Die Korrektur des bei Versuchsflächen auftretenden Randeffektes erfolgte nach dem in Pretzsch (2009) beschriebenen Verfahren von Donnelly (1978).

Durchmesserstruktur

Die Analyse der Durchmesserstruktur erfolgte anhand der Lorenzkurve bzw. des daraus abgeleiteten Gini-Koeffizienten (Camino 1976, Sterba & Zingg 2006). Die Lorenzkurve beschreibt den Verlauf der kumulierten Grundflächen- oder Vorratsanteile über den kumulierten Baumzahlanteilen in den Durchmesserstufen 1 bis i . In der vorliegenden Untersuchung wurden die Grundflächenanteile zur Berechnung verwendet. Um die Vergleichbarkeit mit den Angaben von Sterba & Zingg (2006) sicherzustellen, wurde der Gini-Koeffizient G_k nach dem dort beschriebenen Verfahren ermittelt:

$$G_k = 100 \times \frac{0.5 - \text{Fläche unter der Lorenzkurve}}{0.5} \quad (1)$$

Die für die Buchenversuche ermittelten Gini-Koeffizienten wurden mit zwei Fichten-Tannen-Plenterwaldfeldern verglichen, die sich seit Jahrzehnten nahe dem Gleichgewicht befinden und deshalb als Referenz für eine hohe Diversität in der Durchmesserstruktur gelten können. Dem Feld Plw 15-60 liegt ein Zieldurchmesser von 60 cm zugrunde, dem Feld Plw 15-80 ein solcher von 80 cm.

Höhenstruktur

Die Quantifizierung der Höhenstruktur erfolgte anhand der Variationskoeffizienten der Baumhöhen (CV_h) statt der Gini-Koeffizienten, da die Baumhöhen auf den Versuchsfeldern nur stichprobenweise gemessen wurden und die Datenbelegung in den einzelnen Höhenstufen daher sehr ungleichmässig ist.

$$CV_h = \frac{s_h}{\bar{h}} \quad (2)$$

Die für die Buche ermittelten CV_h -Werte wurden exemplarisch mit den oben erwähnten Plenterwaldfeldern sowie mit drei Eichen-Versuchsfeldern verglichen. Die Eichenfelder waren ab einer Oberhöhe von 20 m Z-Baum-orientiert behandelt worden.

Simulation mit PEP

Die starke Betonung struktureller Aspekte in Buchenbeständen mit dem Ziel einer Überführung in Dauerwald legte eine Analyse der Ausgangssituation und die Modellierung der weiteren Entwicklung mit dem Simulator PEP (Produktionszielorientierte Entscheidungshilfe für die Bewirtschaftung von Plenter- und Überführungswäldern) nahe, der speziell für die Behandlung von Überführungs- und Plenterwaldversuchen der Abteilung Waldwachstum der Forstlichen Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württembergs konzipiert wurde (Klädtke & Yue 2003, Yue et al 2007).

Als Ausgangspunkt für die Simulation wurden die Durchmesserverteilungen vor dem Eingriff im Jahr 1982 gewählt. Zu diesem Zeitpunkt waren die Felder bereits dreimal durchforstet worden, sodass die Bestandesstrukturen entsprechend der unterschiedlichen Eingriffsmuster geprägt waren.

Die Durchmesserverteilungen der Folgeaufnahmen wurden dann mit PEP simuliert. Die Übereinstimmung der Durchmesserverteilungen mit den ebenfalls mit PEP berechneten Gleichgewichtskurven wurde anhand der Varianz überprüft (Sterba & Zingg 2006). Wegen des Vorkommens von Nullwerten in den Durchmesserverteilungen wurde die Baumzahl je Durchmesserstufe um den Wert 1 erhöht, um eine Logarithmierung zu ermöglichen:

$$Var = \frac{1}{n_k - 1} \sum_{k=\min}^{\max} (\ln[n_{ik} + 1] - \ln[n_{jk} + 1])^2 \quad (3)$$

wobei

n_k : Anzahl der Durchmesserstufen k ,

n_{ik} : die beobachtete Baumzahl in der Durchmesserstufe k und

n_{jk} : die Baumzahl der Gleichgewichtskurve in der Durchmesserstufe k

Bei der Berechnung der Gleichgewichtskurven war für die Definition von k_{max} zu beachten, dass die Vorgabe eines konstanten Zieldurchmessers (z.B. 60 oder 80 cm) in den jüngeren Entwicklungsphasen zu einer erheblichen Abweichung zu den noch weit vom Zieldurchmesser entfernten Durchmesser- verteilungen führt. Deshalb wurden die Berechnungen mit variablen Zieldurchmessern vorgenommen, die sich an den maximalen Durchmessern der Felder zum jeweiligen Aufnahmezeitpunkt orientieren. Ansonsten wurden die Standardeinstellungen des Programms verwendet (Klädtke & Yue 2003).

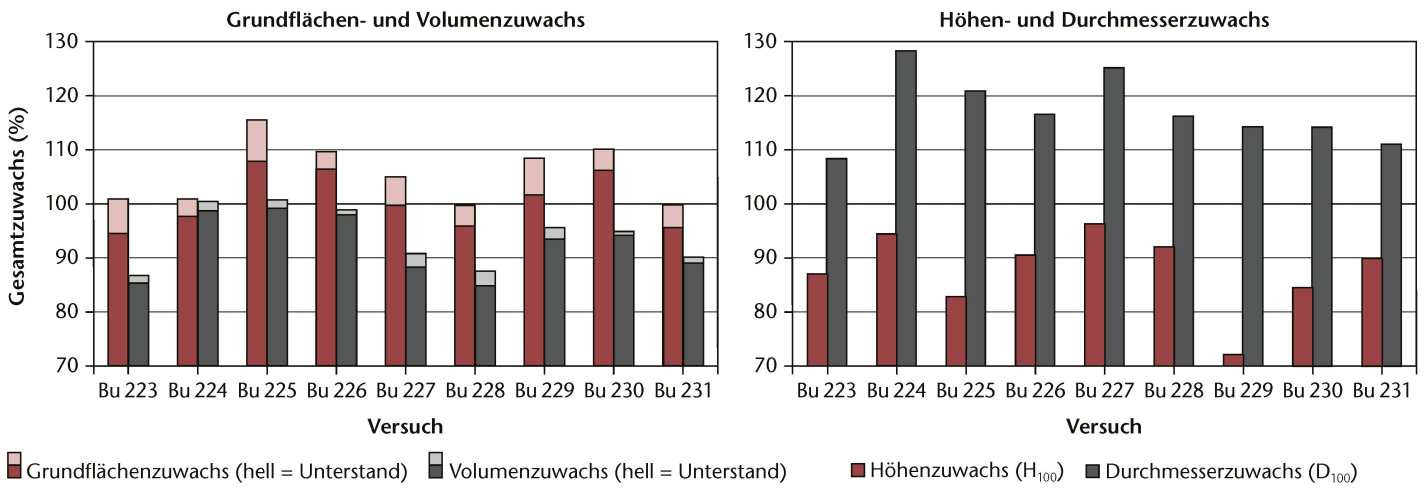


Abb 1 Volumen- und Grundflächenzuwachs (links) und Höhen- und Durchmesserzuwachs (der 100 dicksten Bäume; rechts) im Beobachtungszeitraum der Lichtwuchsfelder in Prozent der Vergleichsfelder.

Ergebnisse

Produktivität

Die Lw-Felder leisteten im Beobachtungszeitraum im Mittel 94% (ohne Unterstand 93%) des Volumenzuwachses der Vgl-Felder (Abbildung 1, links). Der Grundflächenzuwachs liegt dagegen mit 105% bzw. 100% (ohne Unterstand) über bzw. auf dem Niveau der Vgl-Felder, was zeigt, dass die Bäume der Lw-Felder die stark erweiterten Standflächen auch effektiv nutzen konnten. Es liegt nahe, dass die Diskrepanz zwischen Grundflächen- und Volumenzuwachs auf eine behandlungsbedingte Formveränderung der Bäume zurückzuführen ist. Dabei ist aber von Bedeutung, ob diese Veränderung im Bereich des wertvollen unteren Stammabschnittes oder darüber stattgefunden hat.

Bei den Z-Bäumen beträgt der unechte Formquotient Q_5 der 10 m langen unteren Stammabschnitte im Mittel 0.891 (Standardabweichung = 0.023), sie sind damit etwas abholziger als die Ver-

gleichsbäume ($Q_5 = 0.90$; Standardabweichung = 0.021). Der Unterschied ist statistisch zwar gesichert, aber gering, er führt bei durchmessergleichen 10 m langen Erdstammstücken zu einer Volumendifferenz zwischen Vgl- und Z-Bäumen von nur 2.0%. Der niedrigere Volumenzuwachs der Lw-Felder dürfte damit im Wesentlichen auf ein geringeres Volumen an Kronenderbholz zurückzuführen sein. Dieses kann durch ein verringertes Höhenwachstum erklärt werden: So liegt der Höhenzuwachs (H_{100}) in den Lw-Feldern im Mittel um 12% unter dem der Vgl-Felder, während der Durchmesserzuwachs (D_{100}) um 18% höher liegt (Abbildung 1, rechts). Besonders deutlich zeigt sich dies beim Lw-Feld Bu 229, wo aufgrund einer sehr hohen Ausgangsgrundfläche von 35 m²/ha in nur zwei Eingriffen fast 240 Vfm/ha entnommen wurden. Die Z-Bäume reagierten auf diese sehr starke Freistellung mit einem gegenüber dem Vgl-Feld um fast 30% geringeren Höhenzuwachs. Der rechnerisch festgestellte Minderzuwachs an Volumen betrifft damit vor allem das Kronenderbholz und weniger das Schaftholz.

Noch klarer lässt sich der Behandlungseffekt anhand der gemessenen Baumhöhen erkennen, wie Abbildung 2 beispielhaft für den Versuch Bu 229 zeigt. Um die zu Beginn teilweise unterschiedlichen Starthöhen zu berücksichtigen, wurden die Messwerte des Lw-Feldes um die Differenz der Mediane der beiden Behandlungsvarianten zum Zeitpunkt der ersten Aufnahme korrigiert. Es wird deutlich, dass die Höhenmesswerte des Lw-Feldes in allen Durchmesserklassen nach der ersten Aufnahme deutlich unter die des Vgl-Feldes absinken.

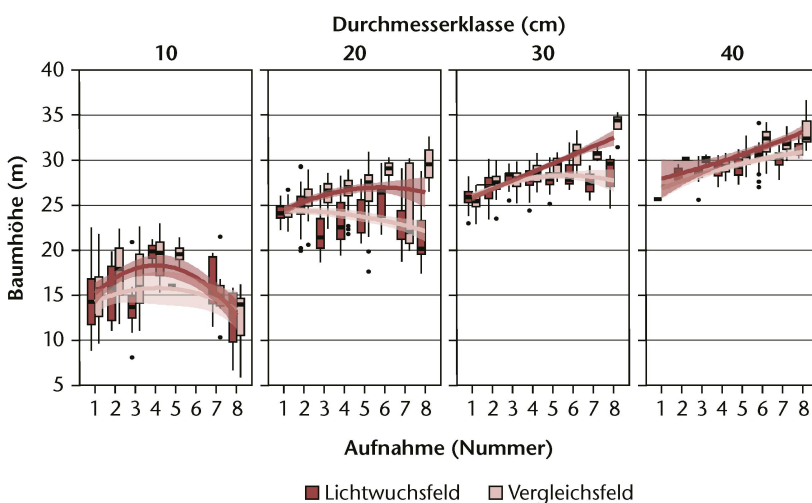


Abb 2 Gemessene Baumhöhen im Lichtwuchs- und im Vergleichsfeld des Versuchs Bu 229 nach Durchmesserklasse und Aufnahme.

Strukturdiversität

Räumliche Verteilung

Die in Tabelle 2 enthaltenen Aggregationswerte R_{corr} geben Aufschluss über die horizontale Verteilung der Bäume. Nach Sterba & Zingg (2006) beschreibt ein Wert von 1.0 eine zufällige räumliche

Versuch	Lichtwuchsfelder			Vergleichsfelder		
	R_{corr}	p	Verteilung	R_{corr}	p	Verteilung
Bu 223	0.99	n.s.	zufällig	1.26	0.1%	regelmässig
Bu 224	1.22	0.1%	regelmässig	1.29	0.1%	regelmässig
Bu 225	1.20	1.0%	regelmässig	1.25	0.1%	regelmässig
Bu 227	1.04	n.s.	zufällig	1.20	0.1%	regelmässig
Bu 228	1.15	0.1%	regelmässig	1.25	0.1%	regelmässig
Bu 229	1.23	0.1%	regelmässig	1.23	0.1%	regelmässig
Bu 230	1.27	0.1%	regelmässig	1.27	0.1%	regelmässig
Bu 231	1.23	1.0%	regelmässig	1.18	1.0%	regelmässig
Durchschnitt	1.17			1.24		

Tab 2 Aggregationindizes R_{corr} nach Clark & Evans (1954) zur Beurteilung der räumlichen Verteilung. p: Signifikanzniveau nach Pretzsch (2009: 249).

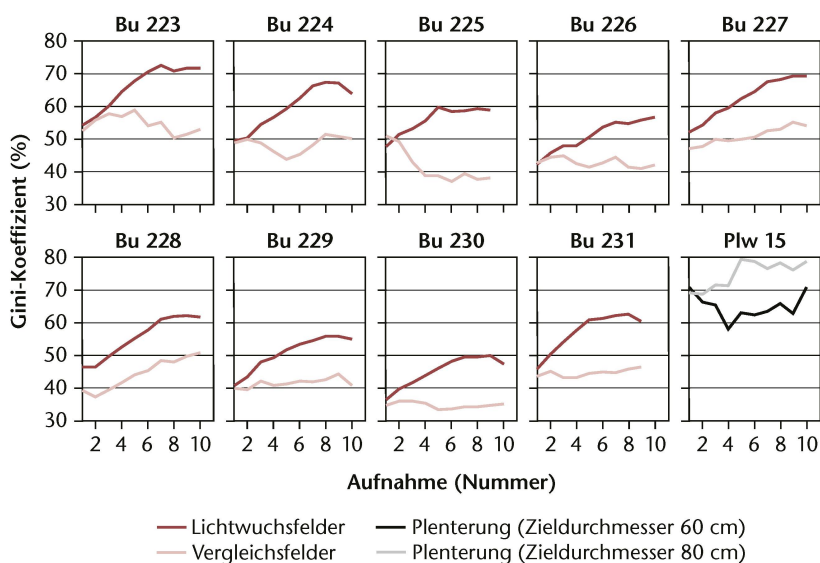


Abb 3 Gini-Koeffizienten der Lichtwuchs- und der Vergleichsfelder (Bu 223–Bu 231) sowie zweier Fichten-Tannen-Plenterwaldfelder (Plw 15).

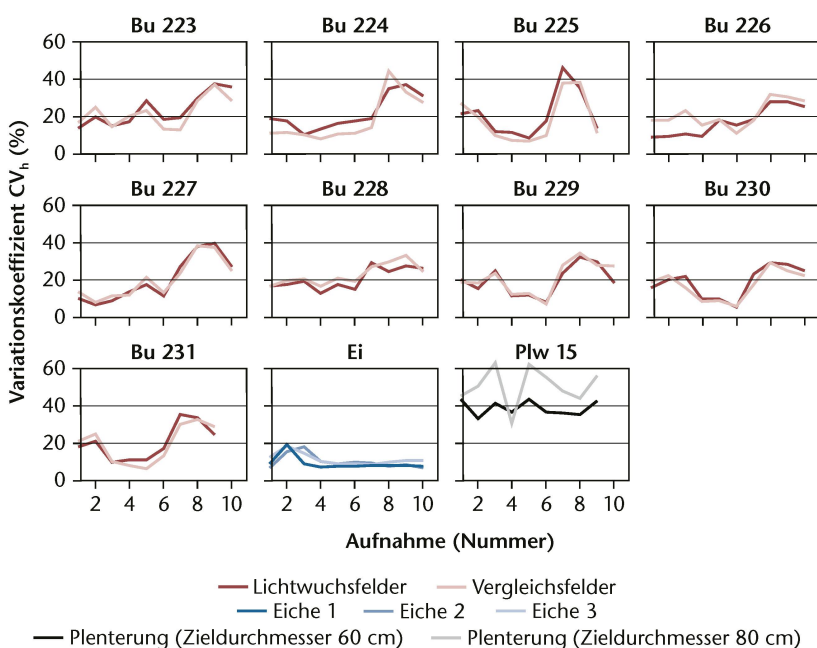


Abb 4 Variationskoeffizienten der Höhenmesswerte (CV_h) der Lichtwuchs- und Vergleichsfelder des Buchen-Lichtwuchsdurchforstungsversuchs (Bu 223–Bu 231) sowie von drei Eichen- und zwei Plenterwald-Versuchsfeldern (Ei bzw. Plw 15).

Verteilung, während Werte von kleiner als 1 auf eine geklumpfte, Werte über 1 auf eine regelmässige Verteilung hindeuten. In nur einem Fall liegt R_{corr} unter 1.0 und das nur knapp, woraus hervorgeht, dass in keinem Feld eine geklumpfte Verteilung vorlag. Zudem waren nur bei den Lw-Feldern Bu 223 und Bu 227 keine signifikanten Abweichungen von einer zufälligen Baumverteilung festzustellen. Die R_{corr} -Werte der Lw-Felder liegen im Mittel mit 1.17 zwar unter denen der Vgl-Felder (1.24), der Unterschied ist jedoch nicht signifikant.

Durchmesserstruktur

Die zur Beschreibung der Durchmesserstruktur berechneten Gini-Koeffizienten liegen bei den beiden Behandlungsvarianten zu Versuchsbeginn noch nahe beieinander (Abbildung 3). In der Folge steigen sie auf den Lw-Feldern bis über 70, während sie auf den Vgl-Feldern mit zwei Ausnahmen konstant verlaufen oder sogar absinken. Auf dem zum Vergleich beigezogenen Fichten-Tannen-Plenterwaldfeld mit Zieldurchmesser 60 cm liegen die Gini-Koeffizienten zwischen 60 und 70, auf demjenigen mit Zieldurchmesser 80 cm zwischen 70 und 80. Sterba & Zingg (2006) nennen für Schweizer Plenterwälder einen Mittelwert von 64 und einen Maximalwert von 75. Die Gini-Koeffizienten der Buchen-Lw-Felder erreichen demnach ähnliche Werte wie Fichten-Tannen-Plenterwälder mit 60 cm Zieldurchmesser.

Höhenstruktur

Zur Beurteilung der Strukturdiversität von Beständen muss die Höhenstruktur zwingend mit berücksichtigt werden, denn auch bei einer breiten Durchmesserspreite ist es möglich, dass sich die Baumhöhen nur wenig unterscheiden. In solchen Beständen haben die dünnen, unter Seitendruck aufgewachsenen Bäume kurze Kronen, ihr Reaktionsvermögen auf Freistellung ist im Vergleich zu herrschenden Bäumen deutlich schlechter und ihre Überlebenschance in der Regel entsprechend geringer.

Die Variationskoeffizienten CV_h sind in beiden Behandlungsvarianten gegen Ende der Beobachtungen höher als zu Beginn (Abbildung 4), was auf eine zunehmende Höhendifferenzierung schliessen lässt. Zwischen den Lw- und den Vgl-Feldern besteht dabei kein wesentlicher Unterschied. Da die Auswertungen auf den Hauptbestand beschränkt sind, dürfte die vertikale Struktur der Lw-Felder aber eher unterschätzt werden, weil sich hier zwischenzeitlich deutlich mehr Naturverjüngung eingestellt hat als auf den Vgl-Feldern. Aufgrund der beginnenden Zieldurchmesserernte, die in das Kollektiv der dicksten und damit auch höchsten Bäume eingreift, nimmt der Variationskoeffizient auf einigen Feldern bei den letzten Aufnahmen wieder ab.

Zum Vergleich ist in Abbildung 4 auch der CV_h von drei Eichen- und zwei Fichten-Tannen-Plenter-

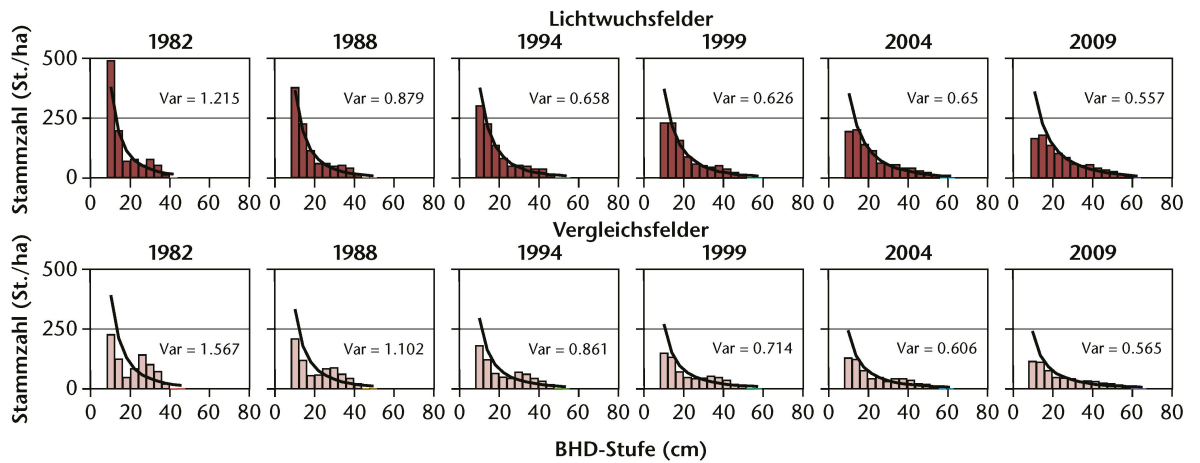


Abb 5 Durchmesserverteilungen (vor Eingriff) und Gleichgewichtskurven des Lichtwuchs- (oben) und des Vergleichsfelds (unten) des Versuchs Bu 227. Var: Varianz.

waldfeldern dargestellt. Bei der Lichtbaumart Eiche lässt sich offensichtlich auch bei starker Hoch- bzw. Auslesedurchforstung keine ausgeprägte Höhendifferenzierung erreichen. Auf den beiden Plenterwaldfeldern liegen die Werte dagegen auf einem konstant hohen Niveau, sieht man vom Einbruch des CV_h auf dem Feld mit Zieldurchmesser 80 cm bei der vierten Aufnahme ab, bei der nur sehr wenige Höhen gemessen worden waren. Während der CV_h auf dem Plenterfeld mit Zieldurchmesser 80 cm bis auf 60% steigt, schwankt er auf dem Feld mit Zieldurchmesser 60 cm um 40%, was zum Teil auch auf den Buchen-Versuchsflächen erreicht wird.

Vergleich mit Plenterwald-Gleichgewichtskurven

In Abbildung 5 sind am Beispiel des Versuchs Bu 227 die Durchmesserverteilungen vor dem jeweiligen Eingriff und die Gleichgewichtskurven des Lw-

und des Vgl-Feldes dargestellt. Da die Simulation mit PEP erst im Jahr 1982 begann, bilden die Durchmesserverteilungen vor dem Eingriff im Jahr 1982 das Ergebnis der bisherigen Behandlung ab. Man erkennt, dass die vor 1982 geführten Lichtwuchsdurchforstungen bereits zu einer stark rechtsschiefen Durchmesserverteilung geführt haben, während die Durchmesserverteilung des Vgl-Feldes zweigipflig ist. Durch die mit PEP simulierten Eingriffe nähern sich die Durchmesserverteilungen beider Varianten dann immer mehr den Gleichgewichtskurven an, erkennbar auch an der sinkenden Varianz.

In der Regel ist die Varianz der Lw-Felder zu Beginn der Simulation niedriger als auf den Vgl-Feldern, was bedeutet, dass die Durchmesserverteilungen bereits näher am Gleichgewicht liegen (Abbildung 6). Auf den Lw-Feldern lässt sich damit eine Plenterstruktur in der Regel schneller erreichen als auf den Vgl-Feldern.

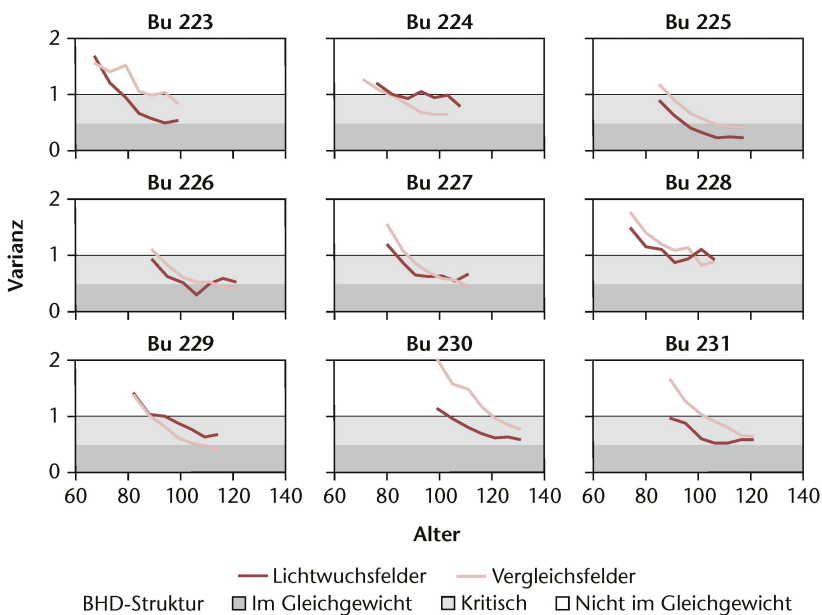


Abb 6 Abweichung (Varianz) der Durchmesserverteilungen der Lichtwuchs- und Vergleichsfelder von den Gleichgewichtskurven (berechnet nach Sterba & Zingg 2006).

Diskussion

Produktivität

Altherr bezeichnete die von ihm entwickelte Buchen-Lichtwuchsdurchforstung selbst als Kompromiss zwischen einer mässigen Hochdurchforstung mit hoher Volumen-, aber zu geringer Starkholzproduktion, und dem Lichtwuchsbetrieb nach Seebach mit hoher Starkholzproduktion, aber erheblicher Volumenminderleistung und schlechter Holzqualität (Altherr 1971). Sein Konzept sollte zu einer deutlichen Verbesserung der Wertleistung führen, ohne dass die Volumenproduktivität gegenüber einer mässigen Hochdurchforstung um mehr als 10% bis 15% absinkt.

Die Vorteile einer Lichtwuchsdurchforstung bezüglich Sorten- und Wertleistung wurden an anderer Stelle bereits dokumentiert (Klädtker 2001, Hein et al 2007). Die vorliegende Auswertung nach nunmehr knapp einem halben Jahrhundert Versuchs-

dauer zeigt, dass mit einer Minderleistung von 6% auch das Teilziel einer nur moderaten Verringerung der Gesamtwuchsleistung erreicht wurde. Dies dürfte auch an der relativ hohen Z-Baum-Anzahl von 100 bis 120 Stück je Hektare liegen, die Altherr mit Blick auf die Volumenproduktivität vorsah (siehe auch Ammann 2005). Nur bei sehr früh beginnender Durchforstung ist es jedoch möglich, dass auch schwächere Z-Bäume innerhalb eines im Hinblick auf das Verkerungsrisiko relevanten Zeitraums von 120 Jahren einen Zieldurchmesser von 60 cm erreichen (Klädtkke 2001, Weller 2016). Die meisten Waldbaurichtlinien sehen für Buche deshalb maximal 80 Z-Bäume je Hektare vor (z.B. MLR Baden-Württemberg 2014, LFV Rheinland-Pfalz 2003, HessenForst 2016). Die Untergrenze liegt in der Regel bei 60 Z-Bäumen, teilweise aber auch noch tiefer (z.B. MUV Saarland 2002, Thüringen Forst 2015). Zur Frage, wie sich eine niedrigere Z-Baum-Anzahl auf die Massenleistung auswirkt, führten Nagel & Spellmann (2008) eine Modellkalkulation mit zwei Auslesedurchforstungsvarianten bei unterschiedlicher Z-Baum-Anzahl durch. Die Variante mit 120 Z-Bäumen erreichte eine Gesamtvolumenleistung von 1207 Vfm/ha, die Variante mit 50 Z-Bäumen 1138 Vfm/ha, also 6% weniger. Bei Auslesedurchforstungskonzepten mit nur 50 Z-Bäumen und weniger wäre demnach gegenüber einer mässigen Hochdurchforstung um eine um mindestens 12% geringeren Flächenproduktivität auszugehen.

Strukturdiversität

Wie aus anderen Untersuchungen bekannt ist, begünstigen starke Hoch- bzw. Lichtwuchsdurchforstungen die Strukturbildung in Buchenbeständen. Sie führen zu einer Zunahme der Durchmesservarianz der Z-Bäume (Weller 2016) sowie einer höheren Überlebensrate des Unter- und Zwischenstandes (Klädtkke 1997, Nagel & Spellmann 2008), da auch soziologisch niedrige Baumklassen von der Unterbrechung des Kronenschlusses profitieren (Meyer 2000, Spellmann et al 2004). Infolge der Einhaltung von Mindestabständen zwischen den Z-Bäumen bildet sich zwar eine eher regelmässige horizontale Verteilung heraus (s. Tabelle 2), trotzdem erreichen die Strukturindizes Werte, wie sie auch in Fichten-Tannen-Plenterwäldern beobachtet werden (Abbildungen 3 und 4). Wie die Modellsimulationen mit PEP zeigen, besteht theoretisch die Möglichkeit, die positive Wirkung einer Lichtwuchsdurchforstung auf den Zwischen- und Unterstand bereits in jüngeren Buchenbeständen zur Überführung in Dauerwald- oder gar Plenterstrukturen zu nutzen. Ob dies auch tatsächlich sinnvoll ist, hängt nicht zuletzt von der Schaftqualität der aus solchen vielschichtigen Strukturen ins Starkholz nachwachsenden Buchen ab. In dieser Hinsicht sind Zweifel angebracht. Nach Schütz (1998) führt eine länger anhaltende Überschildung der Buche zu plagiotropem Wachstum, verminderter Wipfelschäftigkeit und

zu schlechteren Schaftqualitäten. In den Buchenplenterwäldern im Hainich (Thüringen) wird das geerntete Stammholz grösstenteils in die Güteklassen C oder schlechter sortiert (Biehl & Fritzlär 2003). Dies liegt zwar in erster Linie an einer starken Rotkernigkeit der Bäume, es ist jedoch zu befürchten, dass eine Bewirtschaftung der Buche im Dauer- oder Plenterwald im Vergleich zu modernen Lichtwuchskonzepten umso nachteiliger auf die Qualität wirkt, je stärker die Astreinigung und die Wipfelschäftigkeit durch unregelmässige seitliche Konkurrenz und eine lange Überschildungsdauer beeinträchtigt werden. Auch wenn eine Lichtwuchsdurchforstung bereits in der Durchforstungsphase Überführungsansätze bieten mag, stellt eine Überführung ab dem Zeitpunkt der Zieldurchmesserernte vermutlich die waldbaulich sinnvollere Option dar, da in den abgedeckten Verjüngungskegeln die Qualitätsentwicklung der nachwachsenden Buchen deutlich besser sein dürfte. ■

Eingereicht: 28. Februar 2018, akzeptiert (mit Review): 13. Juli 2018

Literatur

- ALTHERR E (1971)** Wege zur Buchen-Starkholzproduktion. In: Proc 15. Hauptversammlung des Baden-Württembergischen Forstvereins und 100-Jahr-Feier der FVA, 7.–9.6.1971, Freiburg. pp. 123–127.
- AMMANN P (2005)** Biologische Rationalisierung. Teil 3: Biologische Rationalisierung bei Esche, Bergahorn und Buche. Wald Holz 86 (3): 29–33.
- ASSMANN E (1965)** Buchenlichtwuchsbetrieb. Forstwiss Cent.bl 84: 329–346.
- BFN (2008)** Naturerbe Buchenwälder, Situationsanalyse und Handlungserfordernisse. Bonn: Bundesamt Naturschutz. 51 p.
- BIEHL H, FRITZLAR D (2003)** Die Laubholzplenterwälder im Forstamt Mühlhausen. Forst Holz 58: 190–193.
- BÖSCH B (2001)** Neue Bonitierungs- und Zuwachshilfen. Freiburg i.Br.: Forstl Versuchs- Forsch.anstalt Baden-Württemberg, Freiburger Forstliche Forschung 18: 266–276.
- CAMINO R (1976)** Zur Bestimmung der Bestandeshomogenität. Allg Forst- Jagdztg 147: 54–58.
- CLARK P, EVANS F (1954)** Distance to nearest neighbour as a measure of spatial relationships in populations. Ecology 35: 445–453.
- DONNELLY K (1978)** Simulation to determine the variance and edge-effect of total nearest neighbour distance. In: Hodder I, editor. Simulation studies in archaeology. London: Cambridge Univ Press. pp. 91–95.
- FLADE M, MÖLLER G, SCHUMACHER H, WINTER S (2004)** Naturschutzstandards für die Bewirtschaftung von Buchenwäldern im nordostdeutschen Tiefland. Dauerwald 29: 15–28.
- FREIST H (1962)** Untersuchungen über den Lichtwuchszuwachs der Rotbuche und seine Ausnutzung im Forstbetrieb. Forstwiss Cent.bl 17. 78 p.
- HEIN S, LENK E, KLÄDTKE J, KOHNLE U (2007)** Z-Baum-orientierte Auslesedurchforstung in Buche (*Fagus sylvatica* L.): Auswirkungen auf Qualität, Sortenstruktur und Wertleistung. Allg Forst- Jagdztg 178: 8–20.
- HESSENFORST (2016)** Hessische Waldbaufibel. Grundsätze und Leitlinien zur naturnahen Wirtschaftsweise im hessischen Staatswald. Kassel: Hessenforst. 99 p.
- JOHANN K (1993)** DESER-Norm 1993. In: Proc Jahrestagung 1993 der Sektion Ertragskunde im Deutschen Verband Forstlicher Forschungsanstalten, 24.–26.5.1993, Unterreichenbach/Kapfenhardt. pp. 96–104.

- KLÄDTKE J (1997) Buchen-Lichtwuchsdurchforstung. AFZ/Der Wald 52: 1019–1023.
- KLÄDTKE J (2001) Konzepte zur Buchen-Lichtwuchsdurchforstung. AFZ/Der Wald 56: 1047–1050.
- KLÄDTKE J, YUE C (2003) Produktionszielorientierte Entscheidungshilfe für die Bewirtschaftung ungleichaltriger Fichten-Tannen-Wälder und Plenterwälder. Allg Forst- Jagdztg 174: 196–206.
- LFV RHEINLAND-PFALZ (2003) Z-Baum-orientierte Pflegeeingriffe in der Dimensionierungsphase. Mainz: Landesforstverwaltung Rheinland Pfalz, Aktuelle waldbauliche Richtlinien und Hinweise 4/2003. 4 p.
- MEYER P (2000) Strukturelle Diversität und waldbauliche Eingriffe. Entwicklung der Durchmesser-Diversität von Buchen- und Fichtenbeständen in Abhängigkeit von der Eingriffsstärke. In: Proc Jahrestagung Sektion Waldbau im Deutschen Verband forstlicher Forschungsanstalten, 13.–15.9.2000, Dessau/Kliken. pp. 31–48.
- MLR BADEN-WÜRTTEMBERG (2014) Richtlinie landesweiter Waldentwicklungstypen. Stuttgart: Ministerium für ländlichen Raum und Verbraucherschutz Baden-Württemberg. 118 p.
- MUV SAARLAND (2002) Richtlinie für die Bewirtschaftung des Staatswaldes im Saarland. Saarbrücken: Ministerium für Umwelt und Verbraucherschutz. 89 p.
- NAGEL RV, SPELLMANN H (2008) Wachstum, Behandlung und Ertrag von Reinbeständen der Rotbuche (*Fagus sylvatica* L.) in Nordwestdeutschland. Göttingen: Nordwestdeutsche forstliche Versuchsanstalt, Beiträge aus der Nordwestdeutschen forstlichen Versuchsanstalt 3: 221–265.
- PRETZSCH H (2009) Forest dynamics, growth and yield: from measurement to model. Berlin: Springer. 664 p.
- SCHOBER R (1995) Ertragstabellen wichtiger Baumarten bei verschiedener Durchforstung. Frankfurt a. M.: Sauerländer.
- SCHÜTZ JP (1998) Behandlungskonzepte der Buche aus heutiger Sicht. Schweiz Z Forstwes 149: 1005–1030. doi: 10.5169/seals-766149
- SPELLMANN H, MEYER P, ALBERT M (2004) Strukturbildung durch gezielte Pflegestrategien im Vergleich zur natürlichen Strukturentwicklung in Naturwäldern. In: Forschungszentrum Waldökosysteme, editor. Indikatoren und Strategien für eine nachhaltige, multifunktionelle Waldnutzung – Fallstudie Waldlandschaft Solling. Abschlussbericht 1999–2003 zum BMBF-Verbundforschungsvorhaben. Teil 2: Ausführliche Teilvorhabenberichte, B 71/2004. pp. 339–374.
- STERBA H, ZINGG A (2006) Abstandsabhängige und abstands-unabhängige Bestandesstrukturbeschreibung. Allg Forst- Jagdztg 177: 169–175.
- THÜRINGENFORST (2015) Dienstordnung Waldbau: – 2.8. Anweisungen zum Waldbau im Staatswald der Landesforstanstalt. Erfurt: ThüringenForst. 34 p.
- WELLER A (2016) Vergleich von Buchen-Durchforstungskonzepten bezüglich des dimensions- und altersabhängigen Rotkernrisikos basierend auf simulierten Z-Baum-Durchmessern. Forstarchiv 87: 107–120.
- YUE C, KLÄDTKE J, HEIN S, KENK G, KOHNLE U ET AL (2007) PEP 2.0. Produktionszielorientierte Entscheidungshilfe für die Bewirtschaftung von Plenter- und Überführungswäldern. Freiburg i.Br.: Forstl Versuchs- Forsch.anstalt Baden-Württemberg. 24 p.

Les effets des éclaircies d'arbres de place dans des peuplements de hêtre sur la productivité et la diversité structurale

Sur la base des essais d'éclaircie dans des peuplements forestiers de hêtre, qui ont commencé au début des années 1970, les effets des éclaircies favorisant entre 100 et 120 arbres de place ont été analysés en termes de productivité volumique et de structuration des peuplements. Les résultats montrent que la productivité volumique est inférieure d'environ 6% au potentiel de croissance maximal. Cette différence est due au fait que les arbres de place fortement libérés ont réduit leur croissance de la hauteur au profit d'une expansion latérale de la couronne. Avec seulement 50 arbres de place, la déficience peut atteindre 12% du potentiel maximal. De plus, l'analyse a montré que les éclaircies fortes de la couronne, et donc les éclaircies d'arbres de place, ont un effet positif sur la structure horizontale et verticale des peuplements de hêtres, parce que les arbres du sous-étage profitent de conditions lumineuses améliorées. Les indices caractérisant la diversité en diamètre et en hauteur des essais d'éclaircie d'arbres de place se rapprochent de ceux des futaies jardinées. Déjà après trois à quatre éclaircies, les distributions de diamètres des peuplements de hêtre montrent une forme exponentielle décroissante, qui est typique pour des futaies jardinées. Les simulations de croissance ont révélé qu'il était même possible de transformer directement des peuplements de hêtre par des éclaircies d'arbres de place dans des structures des futaies jardinées. Cependant, le développement de la qualité du bois peut être un aspect critique en ce qui concerne la transformation.

Effects of heavy selective thinning in beech stands with regard to stand productivity and structural diversity

Based on thinning trials in beech stands initiated in the early 1970s, the effects of selective thinning in favour of 100 to 120 future crop trees were analysed with regard to volume productivity and the stands' structural diversity. The results show that these kinds of thinning reduce volume productivity by approximately 6% compared to the maximum volume growth. The reduction in volume growth is mostly caused by the fact that the strongly released crop trees have reduced their height growth for the benefit of a lateral crown expansion, while basal area growth was not affected. Calculations indicate that silvicultural systems working with only 50 future crop trees per hectare may decrease the maximum volume production by about 12%. Furthermore, the results show that the intense crown releases caused by selection thinning increase the horizontal and vertical diversity of beech stands, since the trees in the understorey profit from better light conditions. The indices calculated for diameter and height diversity of the selection thinning plots approach the values being typical for single tree selection forests ("Plenterwälder"). Already after three to four consecutive selection thinning, the beech stands' diameter distributions displayed an exponentially decreasing shape typical for single tree selection forests close to equilibrium. Growth simulations revealed that it might even be possible to directly transform beech stands by selection thinning into single tree selection structures. However, presumably negative effects on timber quality to be expected under single tree selection structures should be considered as a critical aspect with regard to theoretically possible transformation.