

forstarchiv 85, 3-15  
(2014)

DOI 10.4432/0300-  
4112-85-3

© DLV GmbH

ISSN 0300-4112

Korrespondenzadresse:  
Andreas.Weller@  
nw-fva.de

Eingegangen:  
27.06.2013

Angenommen:  
10.11.2013

# Wachstum der Douglasie abhängig von Ausgangspflanzenzahl und Pflanzverband

## Growth of Douglas-fir with regard to initial plant numbers and planting pattern

ANDREAS WELLER und HERMANN SPELLMANN

Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt, Grätzelstraße 2, 37079 Göttingen, Deutschland

### Kurzfassung

Die Douglasien-Standraumversuche Hagenbach (Rheinland-Pfalz) und Frankenberg (Hessen) werden vergleichend bis zum Alter 35 Jahre ausgewertet. Folgenden Untersuchungsfragestellungen wird nachgegangen: (1) Wie beeinflussen Ausgangspflanzendichte, Pflanzverband und unter Berücksichtigung der Bonität sukzessive erweiterte Standräume die Produktionsleistung der Douglasie? (2) Welche Auswirkungen haben Bestandesbegründung und Durchforstung auf die Bestandesstabilität? (3) Welchen Einfluss besitzen Bestandesbegründung und Durchforstung auf das Qualitätsmerkmal Ästigkeit?

Untersucht werden 9 Pflanzverbände, die zu 1.000, 2.000 und 4.000 Douglasien je Hektar führen. Während in Frankenberg alle Versuchseinheiten abweichend vom Versuchskonzept im Sinne einer freien Auslesedurchforstung behandelt wurden, erfolgte die Versuchssteuerung in Hagenbach quantitativ im Anhalt an eine Baumzahlleitkurve. Eingriffszeitpunkt und -stärke wurden durch die Oberhöhenentwicklung bestimmt und berücksichtigten das Ertragsniveau der Untersuchungsbestände. In Frankenberg überlagerte die intraspezifische Konkurrenz in den unbehandelten Zwischenfeldern den Einfluss unterschiedlicher Standräume auf die Zustands- und Zuwachsgrößen, während in Hagenbach die Wuchsräume entsprechend dem standörtlich abhängigen, über die Oberhöhe eingeschätzten Stammzahlhaltevermögen im Zuge starker Durchforstungen sukzessive erweitert wurden und so über den Betrachtungszeitraum der direkte Einfluss des Standraums auf die Ausprägung der ertragskundlichen Kennwerte abschätzbar ist. Die Bestandesoberhöhe ( $h_{dom}$  = Höhe des Grundflächenmittelstammes der 100 durchmesserstärksten Bäume je Hektar) hängt in den vorliegenden Versuchen ausschließlich von der Standortleistungsfähigkeit ab. Die Ausprägung des Oberdurchmessers ( $ddom$ ) unterliegt dagegen dem Einfluss der Bestandesdichte in Form eines negativen Zusammenhangs zwischen Pflanzenzahl bei Kulturbegründung und Bestandeswert  $ddom$ . Bei gleicher Ausgangspflanzendichte wirkt sich der positive Effekt standraumfördernder Eingriffe auf die Entwicklung des Oberdurchmessers in Rechteckverbänden deutlicher aus als in näherungsweise Quadratverbänden. Laufender jährlicher Zuwachs ( $iV$ ) und Gesamalterzuwachs ( $GWL_V$ ) eines Bestandes stehen in einem engen Zusammenhang mit der Anzahl produktiver Bäume je Flächeneinheit, daher ist in der vorliegenden Serie eine Zunahme bezüglich  $iV$  und  $GWL_V$  von weiten zu engen Verbänden zu beobachten. Das Abweichen vom vorgegebenen Behandlungsmodell führte in Frankenberg zu einer höheren Stammzahlhaltung vor allem in den stammzahlreich begründeten Parzellen und zu einer gegenüber Hagenbach deutlich höheren Zuwachsleistung. Die Befunde in Hagenbach und Frankenberg zeigen, dass bei vorgegebener Baumzahl annähernd quadratische Verbände eine höhere Flächenproduktivität besitzen als Rechteckverbände. In geschlossenen Beständen dient der Schlankheitsgrad ( $h/d$ -Wert) in der Jugend als Weiser der Stabilität. Die vorliegende Datengrundlage legt eine positive Korrelation zwischen Ausgangspflanzenzahl und  $h/d$ -Wert der betrachteten Mittelstämme offen. Analog zur Entwicklung des Durchmessers tragen größere Reihenabstände zu günstigeren Ausprägung des  $h/d$ -Wertes bei als annähernde Quadratverbände. Die maximalen Aststärken der Z-Bäume zeigen die erwarteten Abstufungen von engen zu weiten Standräumen. Innerhalb gleicher Baumzahlgruppen nehmen die maximalen Astdurchmesser vom näherungsweise Quadratverband in Richtung Rechteckverband zu.

**Schlüsselwörter:** Standraumversuch, *Pseudotsuga menziesii*, Bestandesdichte, Flächenproduktivität, Bestandesstabilität, Ästigkeit

### Abstract

The Douglas-fir spacing experiments Hagenbach (Rhineland-Palatinate) and Frankenberg (Hesse) are undergoing comparative assessment until reaching the age of 35 years. The investigation aims to provide answers to the following questions: (1) Which are the effects of initial planting density, planting pattern and successive space enlargement with a view to yield level, on the productivity of Douglas-fir? (2) Which effects have site establishment and thinning on crop stability? (3) What effects have site establishment and thinning on the quality feature branchiness?

9 planting patterns are under investigation, which are stocked with 1,000, 2,000 and 4,000 trees per hectare. While in Frankenberg all plots were subjected to free selective thinning, in deviation from the indicated trial concept, experiment control at Hagenbach was linked quantitatively to a tree number template. Timing and scale of thinning were determined by stand top height ( $H_{100}$ ) and took yield level of trial plots into consideration. In Frankenberg intraspecific competition in the untreated areas had an influence on the effects the different stands had on tree condition and growth increment, while in Hagenbach the growth areas were successively enlarged by heavy thinning in accordance with the stands' locally dependent trunk holding capacity estimated by stand top height observation, thus making it possible to assess the direct influence space has on timber yield. Stand top height ( $H_{100}$ ) is entirely dependent on a site's achievement potential. The development of top height

diameter (DBH100) is dependent on the influence of stand density in the form of a negative relationship between stock quantity at site establishment and DBH100. With equal initial stocking, positive stand improving measures have higher beneficial effects on DBH100 development when planting patterns are rectangular rather than when they form approximate squares. Continual annual increment and total volume production in cubic metres of stem wood of an entire stand are closely linked to the number of productive trees per given area, which is why, in this series, an increase of continuous annual increment as well as total volume production from wide to narrow planting patterns. In Frankenberg the deviation from the indicated trial concept led to a higher number of trees, particularly in the densely stocked plots and, compared to Hagenbach, a marked yield increase. The results obtained in Hagenbach and Frankenberg show that approximate square planting patterns have a higher area productivity than rectangular patterns if originally stocked with the same number of trees. In juvenile and closed stands the slenderness ratio of the trees (H/DBH-quotient) serves as an indicator of stability. The available database reveals a positive correlation between initial number of plants and the H/DBH-quotient. In analogy to diameter development, wide spaced rows show a better H/DBH-quotient as do approximative square patterns. Maximum branch diameter of future crop trees sport the expected scaling from narrow to wide plantings. Within groups of trees of equal numbers, the maximum branch diameter shows an increase when one passes from planting patterns forming an approximate square to rectangular plantings.

**Key words:** spacing experiment, *Pseudotsuga menziesii*, crop density, area productivity, crop stability, branchiness

## Einleitung

Bisherige Untersuchungen zur Douglasie (*Pseudotsuga menziesii* [Mirb.] Franco) widmen sich überwiegend dem Ertragsvermögen der Baumart und der Herkunftsfrage. Relativ wenige Forschungsarbeiten, wie sie beispielsweise von Tyll und Kramer (1981), Kenk und Weise (1983), Spellmann und Nagel (1989) sowie Utschig und Moshammer (1996) publiziert wurden, beschäftigen sich mit dem Einfluss von Ausgangspflanzenzahl und Pflanzverband auf die Wuchsleistung. Die durch Klädtke et al. (2012) veröffentlichten Ergebnisse zu Wachstum und Wertleistung der Douglasie basieren im Wesentlichen auf süd- und südwestdeutschen Standraumversuchen nach 40-jähriger Laufzeit. Im Vordergrund der Untersuchung stehen die Abhängigkeiten zwischen Volumenleistung, Ausgangsbaumzahl und Durchforstung sowie die monetäre Bewertung der Baumzahlvarianten bezüglich ihrer Nettowertleistung. Unberücksichtigt bleibt dabei der Einfluss der unterschiedlichen Pflanzverbände.

Die Empfehlungen der Bundesländer hinsichtlich der Pflanzenzahlen bei der Begründung von Douglasienbeständen liegen weit auseinander. So werden in Bayern 2.200 bis 3.300 Douglasien je Hektar<sup>1</sup> befürwortet (Bayerische Staatsforsten 2009). In Brandenburg und Niedersachsen werden 2.000 bis 3.000 Stück je Hektar auf der Freifläche und maximal 2.500 Stück je Hektar bei Pflanzung unter Schirm empfohlen (Landesforstverwaltung Brandenburg 2004, Niedersächsisches Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten 2004), in Sachsen-Anhalt sind es 2.500 Stück je Hektar auf der Freifläche und 1.700 Stück je Hektar bei Voranbau (Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten Sachsen-Anhalt 1994), und in Hessen werden 1.700 bis 2.200 Douglasien je Hektar für ausreichend erachtet, je nachdem, ob Füllbaumarten vorhanden sind oder nicht (Hessen-Forst 2008). Die Empfehlung für Baden-Württemberg beträgt maximal 1.200 Pflanzen je Hektar (Ministerium Ländlicher Raum Baden-Württemberg 1999). Gesicherte Erkenntnisse über die Entwicklung ertragskundlicher Kennwerte werden aus Douglasien-Standraumversuchen erwartet.

Im Jahr 1973 wurde der zwischen den Ländern Baden-Württemberg (8 Flächen), Bayern, Hessen (je 2 Flächen) und Niedersachsen (3 Flächen) koordinierte Douglasien-Standraumversuch auf der Grundlage eines einheitlichen, durch quantitative Vorgaben gesteuerten Behandlungsprogramms begründet (Abetz 1971). Nach Zusammenführung des forstlichen Versuchswesens der Länder Nie-

dersachsen, Hessen und Sachsen-Anhalt am 1. Februar 2006 zur Nordwestdeutschen Forstlichen Versuchsanstalt (NW-FVA) ist diese neben dem Einzelversuch Hagenbach nun auch für den hessischen Versuch Frankenberg zuständig. Der durch die ehemalige Niedersächsische Forstliche Versuchsanstalt betreute und im saarländischen Wadern gelegene Teilversuch musste ebenso wie die im damaligen Hessischen Forstamt Treysa begründete Versuchsfläche in den 1970er-Jahren wegen starker Pflanzenausfälle und nicht ausreichend vorhandener Reservepflanzen aufgegeben werden. Zur selben Zeit wurde der niedersächsische Parallelversuch im Forstamt Harsefeld durch einen Waldbrand vernichtet. Die Versuchsfläche in Hagenbach wurde am 26.12.1999 durch den Orkan „Lothar“ so stark in Mitleidenschaft gezogen, dass sie aufgegeben werden musste, da die Stammzahlen innerhalb gleicher Varianten bezüglich der Ausgangspflanzenzahlen kalamitätsbedingt nun stark abwichen. Die Ursache für das gravierende Ausmaß der Bestandsschäden war die räumliche Ordnung in Verbindung mit dem als Kármán'sche Wirbelstraße beschriebenen Verhalten von Luftströmungen beim Auftreffen auf ein Strömungshindernis (Kármán 1911): Die Douglasie bildete fünf jeweils ca. 1,5 Hektar große, isolierte Bestandesblöcke in einem bezüglich der Bestandeshöhenentwicklung deutlich zurückbleibenden Laubholzkomplex; die hohe Geschwindigkeit mit bis zu 150 km h<sup>-1</sup>, mit welcher der Sturm auf die südwestexponierten Innenträufe traf, führte zu einer Strömungsablösung und zu Turbulenzen im Lee des umströmten Bestandes mit nachfolgendem truppweisem bis flächigem Sturmwurf, wobei die Traufreihen als Kulisse erhalten blieben. Die Jugendentwicklung dieses Versuchs bis zum Alter 18 Jahre wurde durch Spellmann und Nagel (1989) dargestellt: Mit zunehmendem Standraum wurden geringere Pflanzenausfälle, größere Brusthöhen-durchmesser ( $D_{1,3}$ ) und günstigere h/d-Werte beobachtet, während die Gesamtwuchsleistung abnahm und die Aststärken zunahm. In dieser frühen Phase der Bestandesentwicklung hatte die Verbandsform bei vorgegebener Pflanzenzahl nur einen sehr geringen Einfluss auf die quantitativen und qualitativen Leistungsgrößen. In beiden Versuchen entwickelten sich die Kulturen sehr homogen. In Frankenberg wurde in geringem Umfang (2,0 %; bezogen auf die Ausgangspflanzenzahl bei der Kultur im Jahr 1973) und in Hagenbach in einer unbedeutenden Größenordnung (0,6 %) einmalig nachgebessert (Spellmann und Nagel 1989, Anonymus 2001). Kenk und Weise (1983) zufolge betrogen die Pflanzenausfälle in den südwestdeutschen Versuchen aufgrund ungünstiger Witterung und widriger Standortverhältnisse (Bodenverdichtung, -vernässung) im Mittel 14 % (Spannweite 1 - 60 %).

<sup>1</sup> Reinbestandszahlen (Umrechnung über Baumartenanteilsfläche des Waldentwicklungstyps (WET))

## Material und Methoden

Bei der Versuchsanlage wurden ausschließlich Douglasien der Sonderherkunft Südbaden gepflanzt. Die vorliegenden Versuche umfassen jeweils 9 Pflanzverbände, die sich an den Ausgangspflanzenzahlen 1.000, 2.000 und 4.000 Douglasien je Hektar orientieren. Die Reihenabstände variieren zwischen 2,0 m und 5,0 m, während in der Reihe die Abstände der Pflanzen entsprechend der Ausgangspflanzenzahl von 0,83 m bis 3,33 m reichen.

### Lage, Standort und Klima der Versuchsorte

Der Versuchsort Hagenbach liegt ca. 10 km westlich von Karlsruhe im rheinland-pfälzischen Bienwald in ebener Lage 120 m über Meer und gehört zum Wuchsbezirk 07.01.01 (Rheinauen). Geologisches Ausgangssubstrat sind anlehmgige alluviale Sande, aus denen sich bodentypologisch eine podsolige Braunerde entwickelt hat. Der Boden wird als mittel- bis tiefgründig, ziemlich frisch und mesotroph beschrieben. Das Klima ist stark subkontinental getönt. Die langfristigen Mittelwerte der Temperatur betragen 9,9 °C im Jahr und 16,9 °C in der Vegetationszeit. Der langfristige Niederschlagsmittelwert liegt bei 756 mm im Jahr und 206 mm in der Vegetationszeit.

Der Versuchsort Frankenberg befindet sich im Wuchsbezirk 06.09.64 (Östliche Rothaargebirgsausläufer) in mäßig geneigter Südwest-Exposition in einer Höhenlage von 440 m über Meer. Ausgangsmaterial der Bodenbildung sind devonische Tonschiefer und Grauwacken. Die Bodengeseue führte zu einer Rankerbraunerde mittlerer bis geringer Nährstoffversorgung. Der Bodenwasserhaushalt des skelettreichen Bodens wurde nach dem hessischen Standortkartierungsverfahren als mäßig frisch bis mäßig trocken eingestuft. Die Klimatönung ist schwach subatlantisch. Die langfristigen Mittelwerte der Temperatur betragen 6,2 °C im Jahr und 14,2 °C in der Vegetationszeit. Die langfristigen Niederschlagsmittel liegen bei 840 mm im Jahr und 339 mm in der Vegetationszeit.

Beide Versuchsorte werden durch eine absolute Oberhöhenbonität im Alter 100 Jahre (hdom 100) > 40 m als leistungsfähig charakterisiert.

### Aufnahmemethodik und -umfang

Ab Oberhöhe (hdom) 12 m erfolgte zu den jeweiligen höhenabhängigen Behandlungszeitpunkten (hdom-Intervall = 3 m) eine Vollaufnahme der Brusthöhendurchmesser ( $D_{1,3}$ ). Die Baumhöhen zur parzellenweisen Berechnung von Bestandeshöhenkurven wurden durchmesserrepräsentativ erfasst (35 - 40 Baumhöhen je Messparzelle).

le). An jedem 5. Z-Baum wurde der Astbasisdurchmesser des stärksten Grünastes näherungsweise in 5 m Höhe gemessen.

In Hagenbach umfasst die Beobachtungszeitreihe bis zur Aufgabe des Versuchs die Baumalter 18, 22 und 26 Jahre. Die Versuchsfläche Frankenberg wurde im Alter 23 (hdom = 15,6 m) erstmals aufgenommen und bis zur vorerst letzten Aufnahme im Alter 35 Jahre in 4-jährigem Turnus ertragskundlich behandelt. Im Gegensatz zur Vorgehensweise in Hagenbach liegen die Aststärkendaten teilweise nur auf ordinalem Skalenniveau vor.

### Behandlungskonzept einschließlich Modifikationen des Konzepts

Das von der Forstlichen Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg federführend koordinierte Projekt sollte überregional nach einem einheitlichen Schema behandelt werden. Der Zeitpunkt der Z-Baumauswahl und der Durchforstungen innerhalb der Einzelversuche wird durch die Höhenentwicklung des Grundflächenmittelstammes des Oberhöhenkollektivs (Assmann 1961) bestimmt. Ebenso ist die Eingriffsstärke der Durchforstung über die Oberhöhen gesteuert. Im Anhalt an die aus dem Douglasien-Durchforstungsmodell für absolute Oberhöhenbonität im Alter 100 Jahre (hdom 100) = 40 m nach Kenk und Hradetzky (1984) entwickelte Baumzahlleitkurve (BLK) Douglasie, starke Durchforstung, (Kenk 1984, unveröffentlicht) wird über die Eingangsgröße mittlerer hdom-Wert eines Blocks die Stammzahl des ausscheidenden Bestandes für die jeweilige Versuchsparzelle ermittelt. Die oberhöhenabhängige Sollvorgabe zur Stammzahlentwicklung in Form der Baumzahlleitkurve ist sowohl für Hagenbach (hdom 100 = 44 m) als auch für Frankenberg (hdom 100 = 41 m) biologisch plausibel. Die Durchforstung erfolgt als kombinierte Auslese- und Niederdurchforstung, die ab einer Oberhöhe von 27 m zur Niederdurchforstung übergeht.

Aufgrund einer erst spät eingetretenen qualitativen Differenzierung der Douglasie erfolgte die Auswahl der 150 Z-Stämme je Hektar im Einzelversuch Hagenbach abweichend von der Sollvorgabe erst bei einer Oberhöhe von 18 m. Im Zeitraum zwischen 1. und 2. ertragskundlicher Aufnahme (1987 - 1991) legte der Versuch ausgehend von einer mittleren Oberhöhe von 13,9 m um mehr als eine Intervallbreite zu. Beim Durchforstungsbeginn in den 2.000er-Parzellen war daher bereits eine mittlere Bestandesoberhöhe von 18,0 m erreicht. Bis zum Sturmereignis am 26.12.1999, in dessen Folge der Versuch aufgegeben wurde, wurden die 2.000er- sowie 4.000er-Felder wiederholt in der Stammzahl abgesenkt, während über die Parzellen mit Ausgangspflanzenzahlen von 1.000 N ha<sup>-1</sup> erst eine Durchforstung ging.

Tab. 1. Ablaufschema der oberhöhenabhängigen Versuchssteuerung (Sollvorgabe).  
Flowchart of the stand top height dependent experiment control (target specification).

hdom ≥	Maßnahme	N ha <sup>-1</sup> nach Durchforstung
12 m	Z-Baum-Auswahl in allen Verbänden und Ästung bis 5 m Höhe. Erstdurchforstung in Verbänden mit Ausgangspflanzenzahlen von 4.000 N ha <sup>-1</sup>	2.000 (teilschematische Durchforstung)
15 m	Erstdurchforstung in Verbänden mit 2.000 N ha <sup>-1</sup> und Folgedurchforstung in Engverbänden	
18 m	Endgültige Festlegung der Z-Bäume und Ästung bis 10 m Höhe. Folgedurchforstung in den 2.000er- und 4.000er-Baumzahlfeldern	
21 m	Erstdurchforstung in Verbänden mit 1.000 N ha <sup>-1</sup> und Folgedurchforstung in engeren Verbänden	im Anhalt an Baumzahlleitkurve Douglasie
24 m	Folgedurchforstung in allen Verbänden	
27 m	Übergang zur Niederdurchforstung in allen Verbänden	
je 3 m hdom-Differenz	Niederdurchforstung in allen Verbänden	

Tab. 2. Ertragskundliche Kennwerte (Hektarwerte) des verbleibenden Bestandes im Douglasien-Standraumversuch Hagenbach X 2a, 2b, 5a (Mittelwerte der Verbandstypen). Yield values (per hectare) (remaining stand) of the Douglas-fir spacing experiment Hagenbach X 2a, 2b, 5a (mean values of planting patterns).

Baumzahl	Verband	T [a]	hdom [m]	ddom [cm]	hg [m]	dg [cm]	N n. Df.	V [m <sup>3</sup> ]	iV [m <sup>3</sup> a <sup>-1</sup> ]	GWL <sub>v</sub> [m <sup>3</sup> ]
1.000	3,0 x 3,33 m	18	14,0	23,4	12,3	17,5	984	132,7		132,7
1.000	3,0 x 3,33 m	22	17,7	28,3	16,1	20,8	968	235,0	25,7	235,5
1.000	3,0 x 3,33 m	26	21,6	31,3	19,9	24,2	709	283,8	27,0	368,2
1.000	4,0 x 2,50 m	18	14,2	23,5	12,5	18,1	988	141,3		141,3
1.000	4,0 x 2,50 m	22	18,2	27,3	16,7	20,8	980	245,3	26,0	245,3
1.000	4,0 x 2,50 m	26	20,5	31,4	18,7	24,2	765	286,4	27,1	353,6
1.000	5,0 x 2,00 m	18	13,5	23,5	12,2	17,5	993	130,1		130,1
1.000	5,0 x 2,00 m	22	17,0	27,3	16,0	20,6	973	230,1	25,1	230,2
1.000	5,0 x 2,00 m	26	21,1	31,7	19,4	23,8	793	299,9	26,2	352,5
2.000	2,0 x 2,50 m	18	13,9	20,0	12,4	14,3	1.950	177,1		177,1
2.000	2,0 x 2,50 m	22	18,3	23,4	17,0	18,2	958	190,6	28,0	291,5
2.000	2,0 x 2,50 m	26	21,3	28,2	19,5	22,1	737	245,6	28,5	405,3
2.000	3,0 x 1,67 m	18	14,8	21,1	12,6	14,1	1.906	168,6		168,6
2.000	3,0 x 1,67 m	22	18,2	25,2	16,9	18,6	967	198,5	30,1	289,1
2.000	3,0 x 1,67 m	26	21,0	29,9	19,9	22,4	758	261,8	30,8	402,5
2.000	4,0 x 1,25 m	18	13,1	20,0	12,0	14,4	1.832	160,5		160,5
2.000	4,0 x 1,25 m	22	18,2	25,3	16,8	18,5	972	198,5	28,8	282,5
2.000	4,0 x 1,25 m	26	21,0	29,6	19,6	22,4	740	255,0	27,9	394,8
2.000	5,0 x 1,00 m	18	13,9	21,3	12,2	14,1	1.817	157,8		157,8
2.000	5,0 x 1,00 m	22	17,6	24,6	16,4	18,4	884	173,5	27,9	253,0
2.000	5,0 x 1,00 m	26	20,3	29,4	19,4	22,0	781	254,2	29,2	369,8
4.000	2,0 x 1,25 m	18	14,2	18,4	12,6	12,6	2.042	147,1		189,7
4.000	2,0 x 1,25 m	22	18,4	21,8	16,9	16,7	1.033	174,4	29,7	308,6
4.000	2,0 x 1,25 m	26	20,9	26,8	19,2	20,9	795	235,2	28,9	424,1
4.000	3,0 x 0,83 m	18	13,7	18,4	12,4	12,7	1.980	140,6		169,9
4.000	3,0 x 0,83 m	22	18,2	23,3	16,8	17,2	990	176,8	29,5	295,0
4.000	3,0 x 0,83 m	26	20,8	28,2	19,4	21,4	801	247,7	29,3	412,3

Versuchsauswertung nach DESER-Norm 1993 (Johann1993): D1.1, D2.1, H1.1, H2.1, H3.2, K1.2, K2.1, K2.2, DHA2.

Ausgleich der Durchmesser-Höhen-Beziehung über die Funktion von Petterson (1955):  $h = 1,3 + (d/(a + b \cdot d))^{3,0}$ .

Volumenberechnung in Vorratsfestmetern Derbholz m. R. nach BDAT (Kublin und Bösch 2007); Derbholzgrenze = 6,5 cm.

Bestandesbehandlung: starke Durchforstung im Anhalt an die Baumzahlleitkurve Douglasie (Kenk 1984, unveröffentlicht).

Während sich die Niedersächsische Forstliche Versuchsanstalt bei der Versuchsfläche Hagenbach an die Behandlungsvorgabe hielt, entfernte man sich seitens der hessischen Servicestelle Forsteinrichtung, Information und Versuchswesen (FIV) in Frankenberg bereits zu Beginn der Durchforstungsphase von einer teilschematischen Baumzahlreduktion in den 4.000er-Feldern ebenso wie von Durchforstungen nach Baumzahlleitkurve in den Varianten mit 2.000 bzw. 1.000 Pflanzen je Hektar. In einem Bestandesalter von 23 Jahren wurden in Frankenberg zwischen 103 und 157 Z-Bäume je Hektar ausgewählt und alle Versuchseinheiten wurden nach den Grundsätzen einer Auslesedurchforstung (Wiedemann 1935, Abetz 1974) behandelt.

## Ergebnisse

### Ertragskundliche Kenngrößen

Die Standardauswertungen der Versuche basieren auf der DESER-Norm 1993 (Johann 1993). Die bedeutendsten ertragskundlichen Kennwerte sind in den Tabellen 2 und 3 zusammengefasst. Sie erlauben einen schnellen Überblick über den Einfluss der Ausgangspflanzenzahlen bzw. Pflanzverbände und der Durchforstungseinriffe. Wichtige Bestandeskennwerte werden im Folgenden näher analysiert.

### Statistische Datenanalyse

Die Prüfung des statistisch signifikanten Einflusses des Faktors „Pflanzendichte zu Versuchsbeginn“ auf die Bestandeswerte hdom, ddom, h/ddom und Gesamtwuchsleistung an Volumen (GWL<sub>v</sub>; Vorratsfestmeter Derbholz) zu den verschiedenen Aufnahmezeitpunkten bzw. -altern sowie des laufenden jährlichen Volumenzuwachses (iV; Vorratsfestmeter Derbholz) erfolgte in der Varianzanalyse (Anova) mit der Prüfstatistik F-Wert zum Signifikanzniveau  $\alpha = 0,05$ . Die Ergebnisse der Signifikanzprüfung, getrennt nach Versuchsstandorten, sind in den Tabellen 4 und 5 wiedergegeben.

Die Bestandesoberhöhe (hdom) lässt zu keinem Aufnahmezeitpunkt einen statistisch bedeutsamen Einfluss der Ausgangspflanzenzahl erkennen. Basierend auf den in Tabelle 2 und 3 mitgeteilten hdom-Werten, ist die Bonität in Hagenbach und Frankenberg besser als eine relative I,0. Ertragsklasse der nordwestdeutschen Douglasien-Ertragstafel (statisch bonitiert nach Bergel 1985: mäßige Durchforstung, mittleres Ertragsniveau). Der laufende jährliche Volumenzuwachs unterliegt zunehmend dem Einfluss der Durchforstungen, sodass sich der differenzierende Effekt der Ausgangspflanzenzahl in der jeweils letzten zu betrachtenden Periode statistisch nicht mehr absichern lässt. Der Einfluss der Pflanzendichte bei Kulturbegründung auf die Variabilität des Oberdurchmessers (ddom), der Schlankheitsgrade (h/ddom) sowie der Gesamtwuchsleistung an Volumen ist zu allen angegebenen Aufnahmezeitpunkten zum Niveau  $\alpha = 0,05$  signifikant bzw. hoch signifikant.

Tab. 3. Ertragskundliche Kennwerte (Hektarwerte) des verbleibenden Bestandes im Douglasien-Standraumversuch Frankenberg 2642 A (Mittelwerte der Verbandstypen).  
Yield values (per hectare) (remaining stand) of the Douglas-fir spacing experiment Frankenberg 2642 A (mean values of planting patterns).

Baumzahl	Verband	T [a]	hdom [m]	ddom [cm]	hg [m]	dg [cm]	N n. Df.	V [m <sup>3</sup> ]	iV [m <sup>3</sup> a <sup>-1</sup> ]	GWL <sub>v</sub> [m <sup>3</sup> ]
1.000	3,0 x 3,33 m	23	15,4	25,4	14,5	20,0	863	174,5		204,8
1.000	3,0 x 3,33 m	27	19,0	29,0	18,2	22,8	794	258,1	26,9	312,5
1.000	3,0 x 3,33 m	31	22,2	32,4	21,4	25,9	617	298,9	29,1	428,9
1.000	3,0 x 3,33 m	35	25,5	35,7	24,4	28,9	490	334,4	29,2	545,8
1.000	4,0 x 2,50 m	23	15,1	25,3	14,3	19,5	860	162,3		186,6
1.000	4,0 x 2,50 m	27	18,7	29,1	17,7	22,5	801	249,2	25,1	287,0
1.000	4,0 x 2,50 m	31	22,2	32,9	21,2	25,7	653	309,3	28,5	404,0
1.000	4,0 x 2,50 m	35	25,7	36,5	24,5	28,5	560	374,9	28,2	523,1
1.000	5,0 x 2,00 m	23	15,8	26,6	14,6	20,1	882	181,2		203,6
1.000	5,0 x 2,00 m	27	19,6	30,6	18,5	23,1	776	263,3	26,1	308,0
1.000	5,0 x 2,00 m	31	22,9	34,3	21,9	26,3	644	329,2	28,2	427,7
1.000	5,0 x 2,00 m	35	25,7	38,0	24,5	29,0	548	375,8	27,3	512,2
2.000	2,0 x 2,50 m	23	15,7	22,7	14,0	15,5	1.711	205,2		236,5
2.000	2,0 x 2,50 m	27	19,3	26,1	18,1	19,7	1.061	260,2	30,4	358,2
2.000	2,0 x 2,50 m	31	22,6	29,6	21,2	22,3	866	318,2	32,8	485,0
2.000	2,0 x 2,50 m	35	25,4	33,4	23,7	25,0	712	356,0	30,6	607,6
2.000	3,0 x 1,67 m	23	15,3	23,2	14,0	15,8	1.728	212,7		240,7
2.000	3,0 x 1,67 m	27	19,1	26,3	18,0	19,5	1.111	265,7	29,3	357,8
2.000	3,0 x 1,67 m	31	22,4	29,9	21,1	22,1	863	309,5	33,2	490,6
2.000	3,0 x 1,67 m	35	25,6	33,4	23,6	24,7	664	331,5	29,3	607,7
2.000	4,0 x 1,25 m	23	15,8	23,8	14,2	15,8	1.721	218,3		244,2
2.000	4,0 x 1,25 m	27	19,5	27,2	18,4	20,4	1.066	284,6	29,4	361,7
2.000	4,0 x 1,25 m	31	22,7	30,9	21,5	22,9	890	346,4	32,4	491,3
2.000	4,0 x 1,25 m	35	25,8	34,2	24,0	25,4	718	381,5	30,0	604,5
2.000	5,0 x 1,00 m	23	15,7	24,3	14,6	15,7	1.616	202,8		233,5
2.000	5,0 x 1,00 m	27	19,5	28,2	18,5	20,8	986	274,3	28,6	347,9
2.000	5,0 x 1,00 m	31	22,9	32,1	21,6	23,5	821	336,8	31,2	478,2
2.000	5,0 x 1,00 m	35	25,6	35,9	24,1	26,4	661	377,3	28,7	593,0
4.000	2,0 x 1,25 m	23	15,8	21,6	13,8	12,6	3.307	258,4		286,4
4.000	2,0 x 1,25 m	27	19,4	24,9	17,5	15,4	2.396	355,2	32,3	415,5
4.000	2,0 x 1,25 m	31	22,7	28,8	20,8	18,0	1.603	384,9	37,4	565,1
4.000	2,0 x 1,25 m	35	25,4	32,5	23,1	20,8	1.229	433,1	32,1	693,4
4.000	3,0 x 0,83 m	23	16,0	21,7	14,0	12,7	3.168	251,1		277,2
4.000	3,0 x 0,83 m	27	19,8	24,8	17,9	15,6	2.236	346,1	31,0	401,2
4.000	3,0 x 0,83 m	31	23,2	28,3	20,8	18,1	1.547	377,7	35,7	543,9
4.000	3,0 x 0,83 m	35	25,7	32,0	23,0	21,0	1.077	386,3	30,3	665,0

Versuchsauswertung nach DESER-Norm 1993 (Johann 1993): D1.1, D2.1, H1.1, H2.1, H3.2, K1.2, K2.1, K2.2, DHA2.

Ausgleich der Durchmesser-Höhen-Beziehung über die Funktion von Petterson (1955):  $h = 1,3 + (d/(a + b \cdot d))^{3,0}$ .

Volumenberechnung in Vorratsfestmetern Derholz m. R. nach BDAT (Kublin u. Bösch 2007); Derholzgrenze = 6,5 cm.

Bestandesbehandlung: Auslesedurchforstung.

Tab. 4. Ergebnisse der Signifikanzprüfung im Douglasien-Standraumversuch Hagenbach. Der Einfluss der Ausgangsbaumzahl (N) auf die Zustands- und Zuwachsgrößen (AV = abhängige Variable) ist statistisch bedeutsam für  $p \leq 0,05$ .

Results of the significance check in the Douglas-fir spacing experiment Hagenbach. The influence of the initial plant numbers (N) on tree condition and increment ("AV" = dependent variable) is of statistical value for  $p \leq 0.05$ .

Faktor	AV	Alter 18 Jahre		Alter 22 Jahre		Alter 26 Jahre	
		F	p	F	p	F	p
N	hdom	0,2792	0,8397 n.s.	0,5855	0,6327 n.s.	0,1568	0,9239 n.s.
N	ddom	51,2305	0,0000 ***	31,3534	0,0000 ***	6,9038	0,0030 **
N	h/ddom	31,1897	0,0000 ***	20,8814	0,0000 ***	3,6580	0,0336 *
N	GWL <sub>v</sub>	44,0067	0,0000 ***	56,3870	0,0000 ***	56,2361	0,0000 ***
				Alter 18 - 22 Jahre		Alter 22 - 26 Jahre	
				F	p	F	p
N	iV			42,8605	0,0000 ***	1,6857	0,2078 n.s.

Tab. 5. Ergebnisse der Signifikanzprüfung im Douglasien-Standraumversuch Frankenber. Der Einfluss der Ausgangsbaumzahl (N) auf die Zustands- und Zuwachsgrößen (AV = abhängige Variablen) ist statistisch bedeutsam für  $p \leq 0,05$ .

Results of the significance check in the Douglas-fir spacing experiment Frankenber. The influence of the initial plant numbers (N) on tree condition and increment ("AV" = dependent variable) is of statistical value for  $p \leq 0.05$ .

Faktor	AV	Alter 23 Jahre		Alter 27 Jahre		Alter 31 Jahre		Alter 35 Jahre	
		F	p	F	p	F	p	F	p
N	hdom	2,2370	0,1880 n.s.	1,5912.	0,2790 n.s.	1,6024	0,2770 n.s.	0,2813	0,7642 n.s.
N	ddom	24,3058	0,0013 **	20,0661	0,0022 **	15,5984	0,0042 **	11,1190	0,0096 **
N	h/ddom	53,7777	0,0001 ***	45,6974	0,0002 **	40,1925	0,0003 **	11,9578	0,0081 **
N	GWL <sub>v</sub>	80,4199	0,0000 ***	71,0744	0,0001 ***	90,2553	0,0000 ***	86,1836	0,0000 ***
		Alter 23 - 27 Jahre		Alter 27 - 31 Jahre		Alter 23 - 27 Jahre			
		F	p	F	p	F	p		
N	iV			28,8424	0,0008 **	60,1290	0,0001***	3,0153	0,1241 n.s.

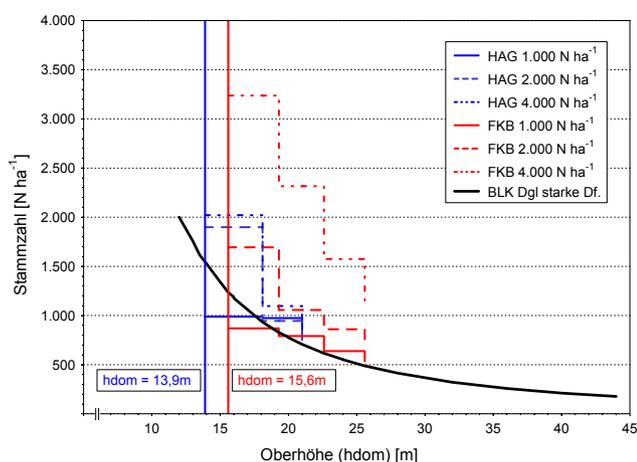


Abb. 1. Entwicklung der Stammzahlen [N ha<sup>-1</sup>] des verbleibenden Bestandes getrennt nach Ausgangspflanzenzahlen und Versuchsarten (HAG = Hagenbach, FKB = Frankenber) und Stammzahl-Sollvorgabe der Baumzahlleitkurve (BLK) Douglasie, starke Durchforstung. Durchforstungsbeginn in Hagenbach bei Oberhöhe (hdom) = 13,9 m, Durchforstungsbeginn in Frankenber bei Oberhöhe (hdom) = 15,6 m. Development of stem numbers [N ha<sup>-1</sup>] of the remaining stock, separated according to initial plant numbers and trial plots (HAG = Hagenbach, FKB = Frankenber), and target specification of the tree number template ("BLK") Douglas-fir, heavy thinning. Outset of thinning in Hagenbach next to stand top height (H100) = 13.9 m, outset of thinning in Frankenber next to stand top height (H100) = 15.6 m.

### Stammzahlentwicklung

Die Entwicklung der Stammzahlen des verbleibenden Bestandes ab dem Einsetzen der Durchforstung in den mit 4.000 Douglasien je Hektar begründeten Parzellen ist in Abbildung 1 dargestellt. Die Umsetzung des vorgegebenen Behandlungskonzepts im Versuch Hagenbach in Bezug auf Eingriffszeitpunkt und -intensität kann daraus ebenso abgelesen werden wie die Abkehr von dem vorgegebenen Behandlungsschema im Einzelversuch Frankenber. In Hagenbach sind die Differenzen in der Stammzahl des verbleibenden Bestandes zur Ausgangspflanzenzahl, die in den 2.000er-Feldern zum Behandlungszeitpunkt hdom = 18,0 m und in den 1.000er-Feldern zum Behandlungszeitpunkt hdom = 21,0 m zu beobachten sind, auf natürliche Abgänge bis zur Erstdurchforstung zurückzuführen.

In Frankenber stimmt die Stammzahlentwicklung der 1.000er-Felder als Ergebnis einer Positivauslese nur zufällig mit den Vorgaben der Baumzahlleitkurve Douglasie, starke Durchforstung, überein. Die im Sinne einer Auslesedurchforstung in den 4.000er- und 2.000er-Feldern erfolgten Baumentnahmen bleiben jedoch zu allen Behandlungszeitpunkten in der über die Baumzahl zu beurteilenden Eingriffsstärke hinter dem Entnahme-Soll der Baumzahlleitkurve zurück.

Aufschlussreich ist die Betrachtung der prozentualen Anteile der vorzeitig ausgefallenen Bäume am ausscheidenden Bestand vor dem Hintergrund der unterschiedlichen Durchforstungsgrundsätze (siehe Tabelle 6). In den 2.000er- bzw. 1.000er-Feldern des Einzelversuchs Hagenbach sind infolge der genauen Einhaltung des Behandlungskonzepts bis zum Erreichen einer Oberhöhe von 18 m bzw. 21 m ausschließlich Ausfälle zu verzeichnen. Bei Durchforstungsbeginn in

Tab. 6. Stammzahlanteile (Prozentanteile) der vorzeitig ausgefallenen Bäume am ausscheidenden Bestand getrennt nach Versuchsarten und Ausgangspflanzenzahlen [N ha<sup>-1</sup>] bei unterschiedlichen oberhöhenabhängigen Durchforstungszeitpunkten. Grau hervorgehoben: ausschließlich natürliche Abgänge.

Stem number portions (percentage) subjected to unscheduled use expressed as a fraction of total use, separated according to trial plots and initial plant numbers [N ha<sup>-1</sup>] concerning to different stand top height dependent times of thinning. Attrition is highlighted.

Baumzahl [N ha <sup>-1</sup> ]	Hagenbach Durchforstung bei hdom =			Frankenber Durchforstung bei hdom =			
	13,9 m	18,0 m	21,0 m	15,6 m	19,3 m	22,7 m	25,6 m
1.000	100 %	100 %	9,2 %	0,2 %	2,5 %	4,6 %	1,8 %
2.000	100 %	8,8 %	4,7 %	0,1 %	22,0 %	5,6 %	4,6 %
4.000	20,6 %	9,1 %	1,9 %	0,1 %	33,9 %	30,2 %	19,5 %

den 1.000er-Parzellen sind die Anteile der abgestorbenen Bäume in Hagenbach (oberhöhenabhängiger Zeitpunkt der Erstdurchforstung  $h_{dom} = 21,0$  m) doppelt so hoch wie in Frankenberg bei vergleichbarer Oberhöhe ( $h_{dom} = 22,7$  m). Die Weitverbände in Frankenberg wurden demgegenüber bis zu dieser Höhenentwicklung bereits dreimal durchforstet, mit dem Effekt, dass die Positivauslese in den weitständig begründeten Parzellen indirekt auch die indifferenten Bestandesglieder förderte. Selbst stammzahlarml begründete Douglasienbestände geraten somit auf wüchsigen Standorten bei Oberhöhen von ca. 21 m ohne Standraumregulierung unter starke Kronenkonkurrenz. In den 2.000er-Feldern in Hagenbach nehmen die Mortalitätsverluste und außerplanmäßigen Nutzungen (Fällungsschäden) in der Beobachtungszeitreihe bis zur 2. Durchforstung von 8,8 % auf 4,7 % ab. In vergleichbaren Parzellen des Standraumversuchs Frankenberg kulminiert der Stammzahlanteil dieses Kollektivs bei einer Oberhöhe  $h_{dom} = 19,3$  m mit 22 % und fällt bis zu einer Oberhöhe von 25,6 m auf 4,6 %.

In Hagenbach trägt der Anteil natürlicher Abgänge bei Einsetzen der Durchforstung in den 4.000er-Parzellen etwa 21 %, um dann unter der Einwirkung der teilschematischen Baumentnahmen und der nachfolgenden und starken Stammzahlabenkungen im Anhalt an die Baumzahlleitkurve auf unbedeutende 1,9 % abzusinken. Die vergleichsweise trockenere Ausprägung des Bodenwasserhaushalts in Frankenberg gestattet offenbar eine länger andauernde und schwächere Differenzierung der stammzahlreich begründeten Versuchseinheiten, denn erst bei einer Oberhöhe von ca. 19 m setzen deutliche Absterbeprozesse als Folge zunehmender intraspezifischer Konkurrenz ein. Der indirekte Pflegeeffekt der Auslesedurchforstung wirkt sich in den engständig begründeten Parzellen geringfügiger auf die dichten Zwischenfelder aus, sodass die natürlichen Abgänge zahlen- und volumenmäßig über die weitere Beobachtungszeit bedeutend bleiben. Hinzu kommen ungeplante Entnahmen bei der Ausführung der Durchforstungen.

### Entwicklung der Oberdurchmesser

Die großen Unterschiede in der Stammzahlhaltung zwischen den Varianten innerhalb der Versuche einerseits sowie zwischen den Einzelversuchen andererseits führen zu einer rechnerischen Verschiebung des Durchmessers des Grundflächenmittelstammes (dg) und

lassen diesen als Leistungsgröße ungeeignet erscheinen. Die Durchmesserentwicklung des Z-Baumkollektivs ist in Hagenbach nur für die Dauer einer Aufnahmeperiode zu betrachten, bevor der Versuch aufgegeben werden musste. Für die Untersuchung des Einflusses von Ausgangspflanzenzahl und -verband auf die Dimensionsentwicklung wurde daher der Durchmesser des Grundflächenmittelstammes der 100 stärksten Bäume je Hektar (ddom), eines in beiden Versuchen relativ gleichen Kollektivs, gewählt.

In Hagenbach zeigt sich über den gesamten Betrachtungszeitraum eine klare Trennung der Baumzahlgruppen bezüglich der Durchmesser der Oberhöhenmittelstämme (Abbildung 2). Die Ausgangspflanzenzahl hat den entscheidenden Einfluss auf die Entwicklung der Oberdurchmesser (ddom). Die Parzellen der 4.000er-Gruppe verhalten sich unterdurchschnittlich, profitieren jedoch von den frühzeitig erfolgten starken Stammzahlabenkungen und legen in der relativen Leistung gegenüber den Vergleichsvarianten zu. Die Bestandeswerte der 2.000er-Parzellen streuen zu allen Aufnahmezeitpunkten in einem engen Rahmen um den Versuchsmittelwert. In der bis zum Alter 26 undurchforsteten 1.000er-Baumzahlgruppe lässt die relative Durchmesserzunahme zwischen Alter 22 und 26 Jahre in allen Verbandsvarianten nach, die Überlegenheit der stammzahlarml begründeten Flächen bleibt jedoch erhalten. Die frühen teilschematischen Baumentnahmen der 4.000er-Felder und die später an die Baumzahlleitkurve angelehnten Stammzahlabenkungen überlagern den Einfluss der Ausgangspflanzenzahl auf die Entwicklung der Oberdurchmesser. Die frühzeitigen Durchforstungen in den baumzahlreichen Verbänden wirkten sich positiv auf die Durchmesserentwicklung aus, während der späte Durchforstungsbeginn in den 1.000er-Feldern negative Folgen auf die Entwicklung der Oberdurchmesser besitzt und eine Ausnutzung des Durchmesserzuwachspotenzials verhindert. Nur in den stammzahlreich begründeten Versuchseinheiten lässt sich ein positiver Zusammenhang zwischen zunehmendem Abstand der Pflanzreihen und der ddom-Entwicklung erkennen. In den mit 1.000 und 2.000  $N\ ha^{-1}$  begründeten Parzellen hat die Verbandsform keinen gleichgerichteten Einfluss auf die Entwicklung der Oberdurchmesser.

Auch im Versuch Frankenberg ist über den gesamten Beobachtungszeitraum eine Abhängigkeit des Oberdurchmessers von der Pflanzdichte bei Kulturbegründung erkennbar (Abbildung 3). Für die 1.000er- und 2.000er-Varianten besteht ein gleichgerich-

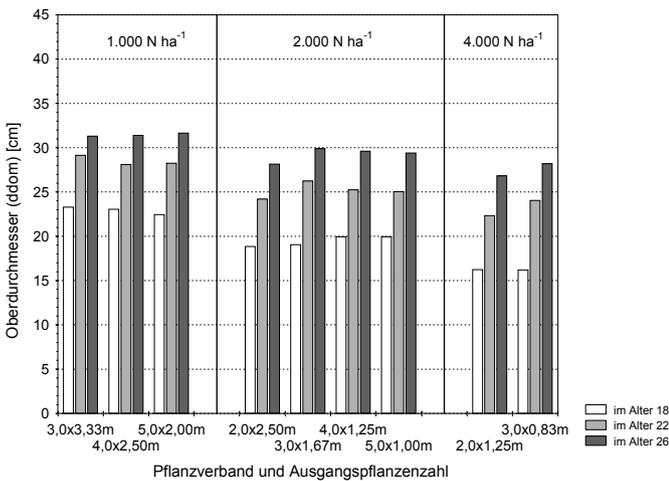


Abb. 2. Entwicklung des Oberdurchmessers (ddom) [cm] abhängig von Ausgangspflanzenzahl [ $N\ ha^{-1}$ ] und Pflanzverband in Hagenbach. Development of top height diameter (DBH100) [cm] with regard to initial plant numbers [ $N\ ha^{-1}$ ] and planting pattern in Hagenbach.

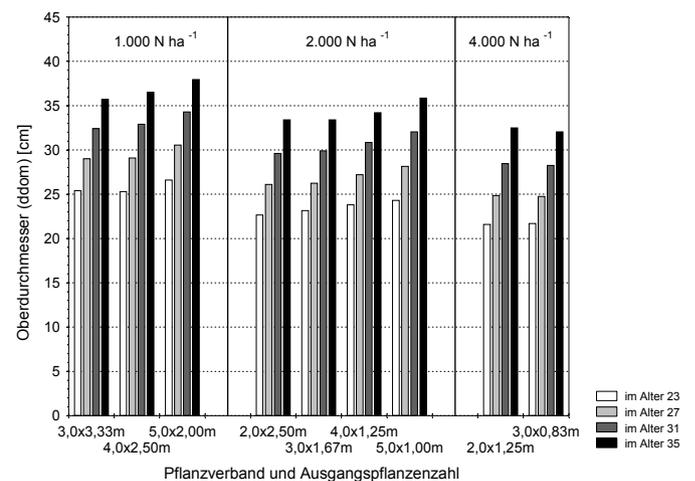


Abb. 3. Entwicklung des Oberdurchmessers (ddom) [cm] abhängig von Ausgangspflanzenzahl [ $N\ ha^{-1}$ ] und Pflanzverband in Frankenberg. Development of top height diameter (DBH100) [cm] with regard to initial plant numbers [ $N\ ha^{-1}$ ] and planting pattern in Frankenberg.

teter positiver Zusammenhang zwischen dem Reihenabstand und der Durchmesserentwicklung der Oberhöhenmittelstämme. Je größer der Reihenabstand bei gleicher Ausgangspflanzenzahl ist, desto günstiger ist die Durchmesserentwicklung des Oberhöhenkollektivs. Weitere Verbände und insbesondere Rechteckverbände wirken sich positiv auf die Entwicklung des Oberdurchmessers aus. Standraumvergrößernde Eingriffe sind bei diesen horizontalen Baumverteilungsmustern effektiver. Auf die 4.000er-Felder kann diese Beobachtung nicht übertragen werden.

### Entwicklung des laufenden jährlichen Volumenzuwachses

Die Zuwachsleistung eines Bestandes steht in engem Zusammenhang mit der Anzahl produktiver Bäume auf einer definierten Fläche. In Hagenbach lassen die mit 1.000 und 2.000 Douglasien je Hektar begründeten Parzellen diesen Zusammenhang über den gesamten Beobachtungszeitraum deutlich erkennen. Demgegenüber unterliegt der laufende jährliche Volumenzuwachs (iV; Vorratsfestmeter Derbholz) in den 4.000er-Feldern, die zu Beginn des Beobachtungszeitraums in der Stammzahl auf 2.000 Douglasien je Hektar abgesenkt wurden, bereits dem Einfluss der starken teilschematisch ausgeführten Erstdurchforstung und erreicht nur noch das Niveau der Parzellen der 2.000er-Stammzahlgruppe (Abbildung 4).

Innerhalb der 4.000er-Baumzahlgruppe ist in Hagenbach über den gesamten Beobachtungszeitraum kein Einfluss der Verbandsform auf die Ausprägung des laufenden jährlichen Volumenzuwachses zu erkennen. In der 2. Periode hat der Derbholzvolumenzuwachs in den zweimal durchforsteten 4.000er-Feldern bereits kulminiert und verbleibt hinsichtlich der Leistungsabstufung zwischen den Verbandstypen auf vergleichbarem Niveau. Innerhalb der 2.000er-Baumzahlgruppe zeigt sich eine geringe Überlegenheit der Verbände mit größeren Pflanzenabständen gegenüber Verbänden mit größeren Reihenabständen. Die 1.000er-Felder bleiben in der Zuwachsleistung zurück. Hier zeigt sich ebenfalls ein leichter Vorteil der eher quadratischen Verbände gegenüber den ausgeprägten Rechteckverbänden. In den 2.000er- bzw. 1.000er-Feldern (einmal durchforstet bzw. bisher undurchforstet) ist mit Ausnahme des Verbandes 4,0 x 1,25 m noch keine Kulmination des laufenden jährlichen Zuwachses zu beobachten.

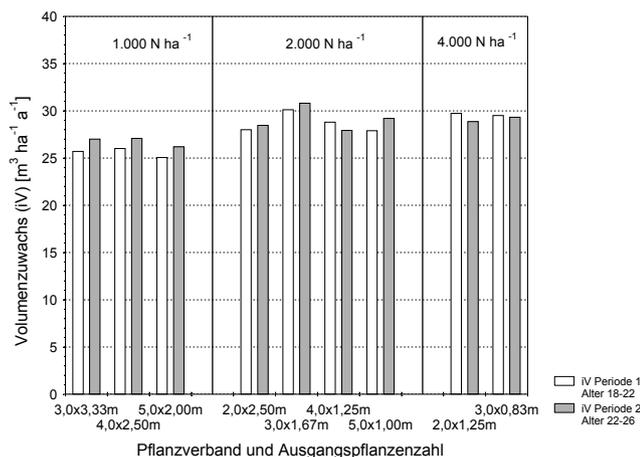


Abb. 4. Entwicklung des laufenden jährlichen Volumenzuwachses (iV) [ $\text{m}^3 \text{ha}^{-1} \text{a}^{-1}$ ] bei unterschiedlichen Ausgangspflanzenzahlen [ $\text{N ha}^{-1}$ ] und Pflanzverbänden in Hagenbach.

Development of continual annual increment [ $\text{m}^3 \text{ha}^{-1} \text{a}^{-1}$ ] with regard to miscellaneous initial plant numbers [ $\text{N ha}^{-1}$ ] and different planting patterns in Hagenbach.

Das Abweichen vom vorgegebenen Behandlungsmodell führte in Frankenberg insbesondere in den stammzahlreich begründeten Flächen (mit  $4.000 \text{ N ha}^{-1}$ ) über die gesamte Beobachtungsdauer zu einer deutlich höheren Stammzahlhaltung mit einer zu erwartenden höheren Flächenproduktivität dieser Versuchspartellen. So betrug die Stammzahlhaltung des verbleibenden Bestandes in den mit 4.000 Douglasien begründeten Parzellen nach Durchforstungsbeginn in Relation zu Hagenbach 160 %. Die Ausprägung des laufenden jährlichen Volumenzuwachses lässt daher über den betrachteten Altersrahmen 23-35 Jahre einen deutlichen Einfluss der Ausgangspflanzenzahlen erkennen (Abbildung 5). Bei gleicher Ausgangsbaumzahl lässt der Volumenzuwachs in Rechteckverbänden gegenüber eher quadratischen Verbänden nach. Der laufende jährliche Volumenzuwachs hat in allen Verbandsvarianten in der 2. Periode kulminiert.

### Entwicklung der Gesamtwuchsleistung an Volumen

Das Wachstum gleichaltriger Reinbestände auf vergleichbaren Standorteinheiten ist durch die enge Beziehung zwischen Massenleistung und Höhe eines Bestandes gekennzeichnet (Kramer 1988). Assmann (1961) charakterisiert das Ertragsniveau eines Bestandes durch die Gesamtwuchsleistung an Volumen, die bei einer bestimmten Bestandesmittelhöhe oder -oberhöhe erreicht wird. Dabei definiert er das allgemeine Ertragsniveau als eine Standorteigenschaft, die unabhängig vom Baumalter dazu führt, dass Bestände auf Standorten mit vergleichbarer vertikaler Leistungsdimension unterschiedliche Gesamtwuchsleistungen erbringen.

Für die Versuche Hagenbach und Frankenberg sind die Absolutwerte der Gesamtwuchsleistung (GWL<sub>V</sub>; Vorratsfestmeter Derbholz) über der Oberhöhe bei unterschiedlichen Ausgangspflanzenzahlen in Abbildung 6 als Zeitreihe dargestellt und nicht-linear ausgeglichen. Ausgewählt wurden die mit 1.000 und 2.000 Douglasien je Hektar begründeten Parzellen, da sie einerseits die umfangreichste Datengrundlage repräsentieren und andererseits in beiden Versuchsorten während der jeweiligen Beobachtungsperioden durch ähnliche Stammzahlfrequenzen charakterisiert werden (siehe Abbildung 1). Lage und Steigung der Ausgleichskurven lassen Unterschiede im Ertragsniveau zwischen den beiden Versuchstandorten erkennen. Bei gleicher Oberhöhe haben die Untersuchungsbestände in Frankenberg sowohl innerhalb der 1.000er- als auch innerhalb der 2.000er-Baumzahlgruppe ein höheres Ertragsniveau.

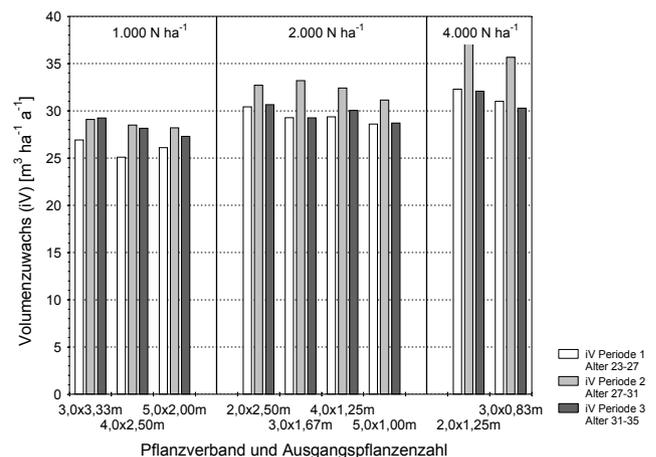


Abb. 5. Entwicklung des laufenden jährlichen Volumenzuwachses (iV) [ $\text{m}^3 \text{ha}^{-1} \text{a}^{-1}$ ] bei unterschiedlichen Ausgangspflanzenzahlen [ $\text{N ha}^{-1}$ ] und Pflanzverbänden in Frankenberg.

Development of continual annual increment [ $\text{m}^3 \text{ha}^{-1} \text{a}^{-1}$ ] with regard to miscellaneous initial plant numbers [ $\text{N ha}^{-1}$ ] and different planting patterns in Frankenberg.

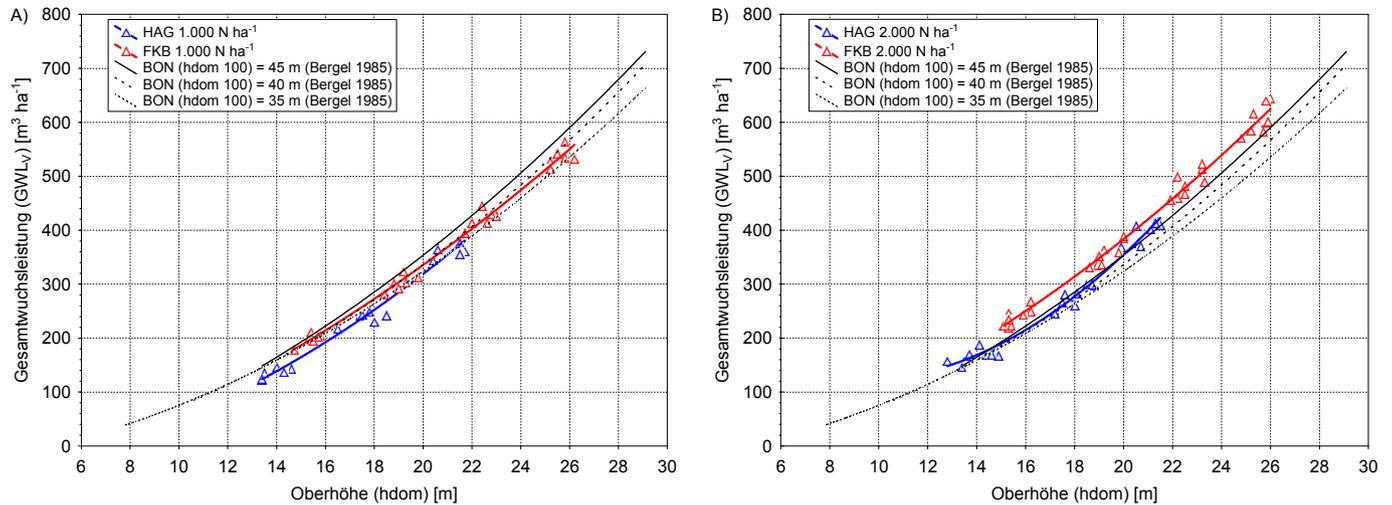


Abb. 6. Zusammenhang zwischen Gesamtwuchsleistung an Volumen (GWLV) [m³ ha⁻¹] und Oberhöhe (hdom) [m] bei einer Ausgangspflanzenzahl von (A) 1.000 N ha⁻¹ und (B) 2.000 N ha⁻¹ (polynomialer Ausgleich der Wertepaare). Zur Codierung der Versuchsorte siehe Abbildung 1. Relationship between total volume production in cubic metres of stem wood per hectare and stand top height (H100) [m] at miscellaneous initial plant numbers. (A) 1.000 N ha⁻¹ and (B) 2.000 N ha⁻¹ (polynomial fit of set of continuous variates). As to codification of trial plots vide figure 1.

Die Gesamtmasseleistung nimmt mit der Anzahl produktiver Bäume je Flächeneinheit zu. In beiden Versuchsorten zeigt sich zu den jeweiligen Aufnahmezeitpunkten eine Staffelung der Gesamtalterszuwächse, die erwartungsgemäß von weiten zu engen Verbänden zunimmt und welche in Hagenbach geringer ausfällt als in Frankenberger. Bei gleicher Ausgangsbaumzahl wird der Einfluss der Verbandsform auf die Masseleistung durch eine mehr oder weniger hohe Spannweite der Gesamtwuchsleistungen deutlich. Tendenziell liegen innerhalb gleicher Baumzahlgruppen annähernd quadratische Verbände in ihrer Flächenproduktivität höher als Rechteckverbände (Abbildungen 7 und 8).

### Entwicklung der Schlankheitsgrade

Die Bestandesstabilität gegenüber Schnee lässt sich durch die auf den Mittelstamm bezogene Berechnung des Schlankheitsgrades (h/d-Wert) charakterisieren. Die Schlankheitsgrade liegen baumartenunabhängig allgemein im Intervall 50 bis 150 (Pretzsch 2002). Utschig (1997) interpretiert Schlankheitsgrade des Gesamtbestandes unter 80 als Indikator für ausreichende Stabilität und überträgt damit den für die Fichte gefundenen Grenzwert (Abetz 1976) auch auf die Douglasie. Werden Höhe und Durchmesser des Grundflächenmittelstammes herangezogen, so ist die starke Eigendifferenzierung der Douglasie (Spellmann 1995) bei der Interpretation der Werte zu berücksichtigen. Harrington et al. (2009) berechneten für die mit 1.100 Douglasien je Hektar im Standraumversuch Trout Creek (Washington, USA) stammzahlarm begründeten Flä-

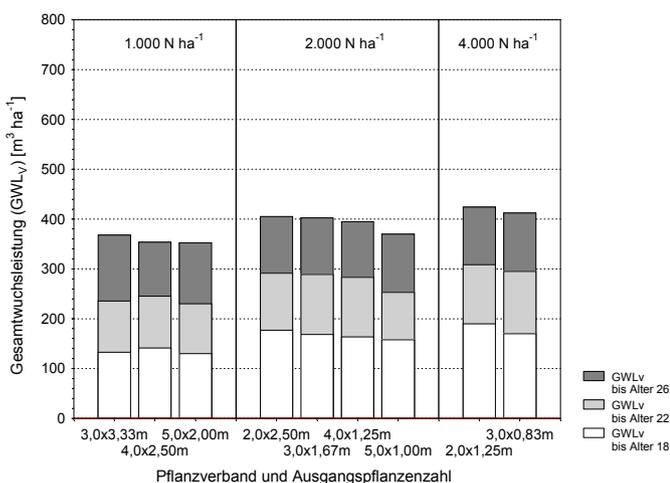


Abb. 7. Entwicklung der Gesamtwuchsleistung an Volumen (GWLV) [m³ ha⁻¹] bei unterschiedlichen Ausgangspflanzenzahlen [N ha⁻¹] und Pflanzverbänden in Hagenbach. Development of total volume production [m³ ha⁻¹] with regard to miscellaneous initial plant numbers [N ha⁻¹] and different planting patterns in Hagenbach.

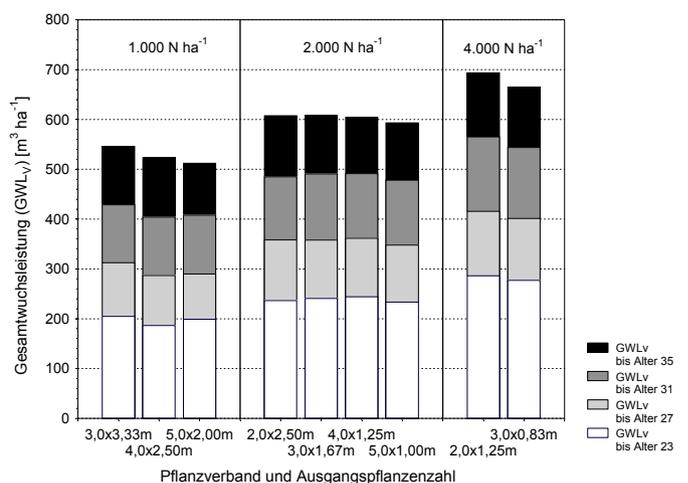


Abb. 8. Entwicklung der Gesamtwuchsleistung an Volumen (GWLV) [m³ ha⁻¹] bei unterschiedlichen Ausgangspflanzenzahlen [N ha⁻¹] und Pflanzverbänden in Frankenberger. Development of total volume production [m³ ha⁻¹] with regard to miscellaneous initial plant numbers [N ha⁻¹] and different planting patterns in Frankenberger.

chen nach 25-jähriger Beobachtung einen mittleren  $h/d$ -Wert = 90. Die Ausprägung des Schlankheitsgrades ist das Ergebnis eines spezifischen Allokationsverhaltens der Einzelbäume, das durch die räumliche Wuchskonstellation, insbesondere durch die Einengung durch benachbarte Stämme, bestimmt wird (Wenk et al. 1990, Pretzsch 2002). Geringe Schlankheitsgrade deuten auf einen ausreichenden Wuchsraum der Bäume und eine relative Überlegenheit des Durchmesserwachstums gegenüber dem Höhenwachstum hin. Höhere  $h/d$ -Werte signalisieren, dass die Bäume konkurrenzbedingt ihr Durchmesserwachstum nicht ausschöpfen können. Mit zunehmendem Alter und dem damit verbundenen Nachlassen des Höhenwachstums gegenüber dem Durchmesserwachstum verliert der  $h/d$ -Wert an Aussagekraft.

Für diese Auswertung wurde der Dimensionsquotient ( $h/d_{dom}$ ) als das Verhältnis von Höhe zu Brusthöhendurchmesser ( $D_{1,3}$ ) des Oberhöhenmittelstammes berechnet. Die Darstellungen in Abbildung 9 und 10 enthalten die Mittelwerte für die 3 Baumzahlgruppen zu den jeweiligen oberhöhenabhängigen Eingriffszeitpunkten getrennt nach Versuchsorten, den zugehörigen Standardfehler des Mittelwertes ( $\pm s_{\bar{x}}$ ) und die Standardabweichung ( $\pm s$ ). In Hagenbach kommt bei gleicher Ausgangspflanzendichte der Einfluss der die Standräume unterschiedlich gestaltenden Durchforstungen in einer größeren Streuung der  $h/d_{dom}$ -Werte zum Ausdruck (Abbildung 9). In Frankenberg überlagert die als reine Positivauslese geführte Durchforstung den Einfluss des Verbandstyps, was sich in einer gegenüber Hagenbach geringeren Variation der  $h/d_{dom}$ -Werte innerhalb der 3 Baumzahlgruppen zeigt (Abbildung 10). Analog zum Einfluss der Verbandsform auf den Durchmesser wirken sich bei gleicher Ausgangsbaumzahl größere Reihenabstände gegenüber einem näherungsweise quadratischen Verband günstiger aus.

Der Einfluss der Ausgangspflanzenzahl auf die Schlankheitsgrade der Oberhöhenmittelstämme ist in beiden Versuchsorten deutlich erkennbar. Größere Standräume beeinflussen das Durchmesserwachstum und damit auch die Schlankheitsgrade positiv. Die relativ ungünstigsten Werte besitzen erwartungsgemäß die 4.000er-Felder.

In Hagenbach ist bis zum vorzeitigen Ende der Beobachtung in den 2.000er- und 4.000er-Feldern unter den Auswirkungen der wiederholten Durchforstungen eine Abnahme der Schlankheitsgrade zu beobachten, was in Bezug auf die Stabilität des Oberhöhenkollektivs positiv zu bewerten ist. In den Engverbänden liegen die

Schlankheitsgrade der Oberhöhenmittelstämme nach 2 Durchforstungsdurchgängen auf dem Niveau der ersten Aufnahme. Betrachtet man den bezüglich der Douglasie diskussionswürdigen Grenzwert der Stabilität, also ein  $h/d$ -Verhältnis von 80, so haben die Hauptzuwachssträger in den 1.000er- und 2.000er-Feldern über den gesamten Betrachtungszeitraum geringere  $h/d$ -Werte und sind vor dem Hintergrund dieses Grenzwertes als stabil einzustufen (Abbildung 9).

Absolutwerte und Abstufung der auf der Datengrundlage der 1. und 2. Aufnahme für die 3 Baumzahlgruppen berechneten mittleren  $h/d_{dom}$ -Werte befinden sich in Frankenberg auf einem mit Hagenbach vergleichbaren Niveau. Bedingt durch die abweichende Bestandesbehandlung ist ein positiver Durchforstungseffekt auf die Ausprägung der Schlankheitsgrade der Oberhöhenmittelstämme lediglich in der 4.000er-Baumzahlgruppe und hier gegenüber dem Parallelversuch Hagenbach nur zeitlich verzögert zu beobachten. Am Ende des Beobachtungszeitraums sinkt nach 3 Durchforstungsdurchgängen das  $h/d$ -Verhältnis der Oberhöhenmittelstämme in der 4.000er Baumzahlgruppe wieder unter den Wert 80. Die mit 1.000 und 2.000 Douglasien je Hektar begründeten Parzellen zeigen über die gesamte Beobachtungsdauer durch die zunehmenden Dimensionsquotienten ( $h/d_{dom}$ ) das Vorhandensein intraspezifischer Konkurrenz an (Abbildung 10).

### Maximale Astdurchmesser

Die Holzqualität eines Baumes wird neben der genetischen Veranlagung durch den Wachstumsverlauf und die spezifische Konkurrenzsituation bestimmt. Für die Qualitätssortierung von Douglasien-Rohholz hat dabei das Qualitätsmerkmal Ästigkeit eine herausragende Bedeutung (Hapla 1986). Die europäische Vorschrift zur Qualitätssortierung von Douglasien-Rundholz (EN 1927-3:2008) gibt metrische Grenzwerte der Ästigkeit für die Güteklassen bei Douglasie vor, die von der bisherigen Holzhandelsklassensortierung (sogenannte Forst-HKS) deutlich nach oben abweichen. Douglasien-Rundholz, welches in die Güteklasse B sortiert werden soll, darf gesunde und nicht verwachsene Äste bis 40 mm Durchmesser aufweisen (Deutsches Institut für Normung 2008). Dieser Grenzwert wurde zumindest auf dem norddeutschen Rohholzmarkt bisher jedoch nicht angenommen, denn in der Praxis wird Douglasien-Stammholz ab Aststärken von 20 mm im Anhalt an die Forst-HKS weiterhin in die

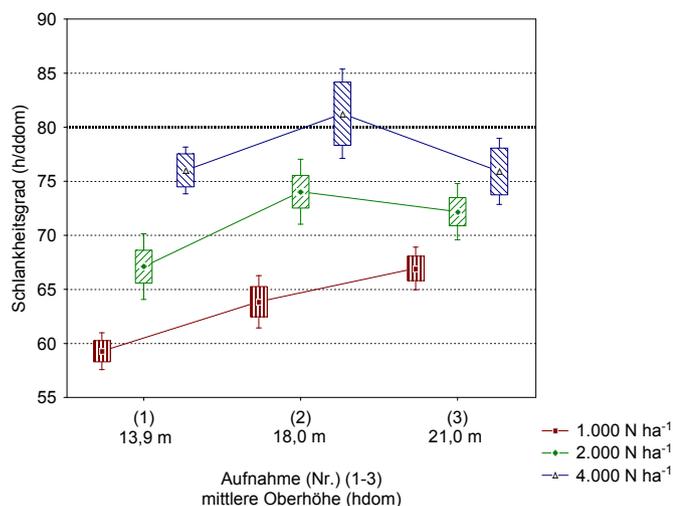


Abb. 9. Entwicklung der Schlankheitsgrade ( $h/d_{dom}$ ) in Hagenbach bei unterschiedlichen oberhöhenabhängigen Durchforstungszeitpunkten.  
Development of slenderness ratio ( $H/DBH100$ ) in Hagenbach concerning to different stand top height dependent times of thinning.

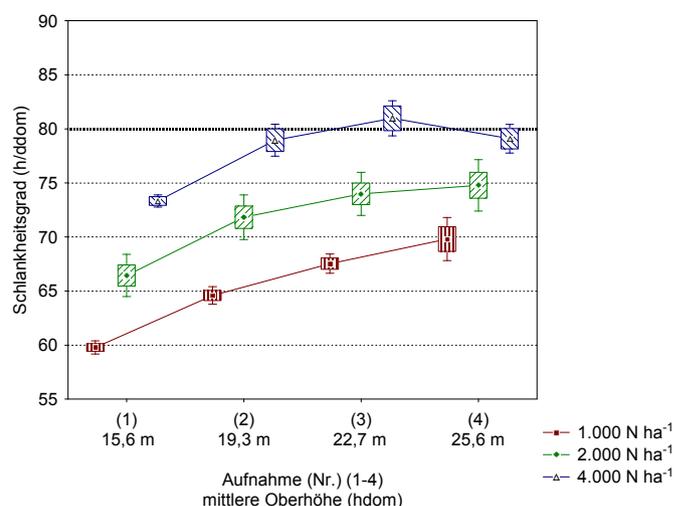


Abb. 10. Entwicklung der Schlankheitsgrade ( $h/d_{dom}$ ) in Frankenberg bei unterschiedlichen oberhöhenabhängigen Durchforstungszeitpunkten.  
Development of slenderness ratio ( $H/DBH100$ ) in Frankenberg concerning to different stand top height dependent times of thinning.

Güteklasse C sortiert.

Die Wertebereiche der stärksten Äste in einem Alter der Probebäume von 26 bzw. 27 Jahren sind in Abbildung 11 dargestellt. In Hagenbach umfasst die Stichprobe alle Verbandsvarianten, während in Frankenberg nur fünf ausgewählte Verbände repräsentiert sind, was den direkten Vergleich der Anbauorte bezüglich der Auswirkungen verschiedener Varianten der Bestandesbegründung auf das Qualitätsmerkmal Ästigkeit nicht zulässt. In Hagenbach überschreiten die maximalen Astdurchmesser nur auf der weitestgehend begründeten Parzelle (mit  $1.000 \text{ N ha}^{-1}$ ) den Grenzwert der Sortiervorschrift EN 1927-3:2008. Unter Verweis auf die eingeschränkte Stichprobe in Frankenberg ist hier folgender Schluss erlaubt: Bei gleicher Ausgangsbaumzahl führen Rechteckverbände tendenziell zu höheren Astdurchmessern. Die wiederholte Positivauslese hat in Frankenberg bei gleicher Bestandesbegründung gegenüber Hagenbach zu größeren Astdurchmessern der Z-Stämme geführt, denn Z-Baum-bezogene Hochdurchforstungen fördern allgemein das Aststärkenwachstum der Wertträger (Kenk und Unfried 1980).

In Hagenbach ist vor dem Hintergrund länger andauernder Konkurrenz eine deutlichere Abnahme der maximalen Astdurchmesser mit zunehmender Baumzahl zu beobachten. Innerhalb gleicher Baumzahlgruppen nehmen die Astdurchmesser bei gleichzeitig größer werdender Streuung vom näherungsweisen Quadratverband in Richtung Rechteckverband zu. In Frankenberg überschreiten die oberen Wertebereiche der maximalen Aststärken in allen betrachteten Verbandsvarianten den Grenzdurchmesser der europäischen Norm EN 1927-3:2008, der eine Sortierung nach Güteklasse B noch zulassen würde.

Die hier wie auch in anderen Pflanzverbandsversuchen (z. B. Pollanschütz 1974) mit abnehmender Ausgangspflanzenzahl festgestellte Zunahme der Aststärke unterstreicht insbesondere auf leistungsfähigen Standorten die Notwendigkeit einer zeitlich früh einsetzenden Wertästung der Douglasie, um die Aststärkenentwicklung abzufangen und die Überwallungszeiträume zu verkürzen. Die arttypische starke Selbstdifferenzierung führt dazu, dass Douglasien-Z-Bäume auch in stammzahlreich begründeten Beständen geästet werden müssen (Spellmann 1995, Schmidt et al. 2001). Spellmann und Nagel (1989) empfehlen eine 1. Ästung auf Reichhöhe bei rd. 6 m Oberhöhe und eine 2. Ästung auf 5 m bei etwa 10 m Oberhöhe.

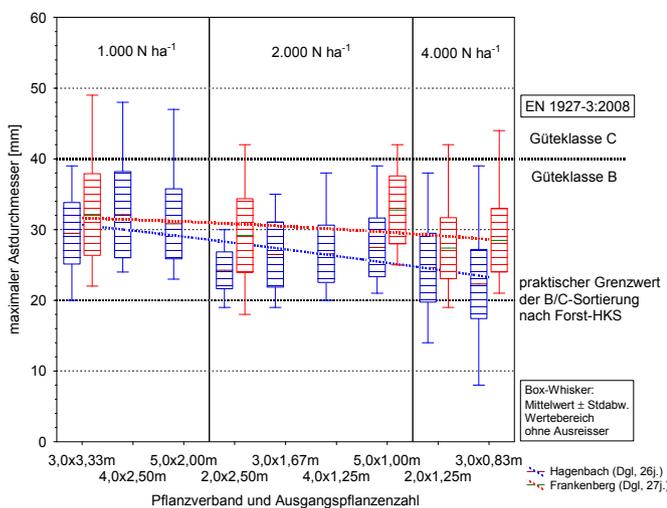


Abb. 11. Durchmesser [mm] der stärksten Äste getrennt nach Versuchsorten bei unterschiedlichen Ausgangspflanzenzahlen [ $\text{N ha}^{-1}$ ] und Pflanzverbänden. Zusätzlich ist für beide Versuchsorte der Trend in Form eines polynomischen Ausgleichs des gesamten Datensatzes dargestellt.

Diameter [mm] of the thickest branches according to trial sites and miscellaneous initial plant numbers and different planting patterns. For both trial sites the trend in kind of a polynomial fit is also displayed (entire dataset).

## Diskussion und waldbauliche Schlussfolgerung

Die Oberhöhenentwicklung lässt in den vorliegenden Versuchen keinen Einfluss von Ausgangspflanzenzahl und Verbandsform erkennen. Auf nicht vorhandene Bonitätsunterschiede zwischen den Stammzahl- und Verbandsvarianten im rheinland-pfälzischen Versuch wiesen bereits Spellmann und Nagel (1989) sowie Weller (2006) hin. Gleichlautende Befunde teilen Ehring und Kohnle (2006) für die Douglasien-Standraumversuche in Baden-Württemberg, Kristöfel (2008) für den Pflanzweiteversuch Kohfidisch (Burgenland, Österreich) und Harrington et al. (2009) für einen Standraumversuch in den Westkaskaden (Washington, USA) mit. Tyll und Kramer (1981) fassten die diesbezüglichen Ergebnisse verschiedener internationaler Douglasien-Verbandsversuche zusammen: Während im Versuch Wind River (Washington, USA), mit einer sehr niedrigen Standortgüte als Folge der Vernichtung sämtlicher organischer Masse durch wiederholte Waldbrände, nach 43 Jahren eine Überlegenheit der weitesten Verbände bezüglich der Oberhöhe ( $-h_{250}$ ) beobachtet wurde, gab es im Verbandsversuch Forêt dominiale d'Amance, Frankreich, und in den zahlreichen britischen Standraumversuchen nach 29- bzw. 39-jähriger Beobachtung keine statistisch signifikanten Unterschiede in der Oberhöhenentwicklung zwischen den geprüften Verbandsvarianten.

Die Ausprägung des Oberdurchmessers ( $d_{\text{dom}}$ ) unterliegt einem deutlichen Einfluss der Ausgangspflanzenzahl. Zwischen der Pflanzenzahl bei Kulturbegründung und dem Bestandeswert  $d_{\text{dom}}$  besteht ein negativer Zusammenhang. Die deutliche Überlegenheit der 1.000er-Felder bleibt dabei im Gegensatz zu den Befunden, die Kohnle und Ehring (2008, 2010) für die baden-württembergischen Parallelversuche mitteilen, über den gesamten Beobachtungszeitraum erhalten. Der Durchmesserersparnis der 1.000er-Baumzahlfelder beträgt gegenüber den mit 2.000 und 4.000 Douglasien je Hektar begründeten Parzellen in Hagenbach bis zum Alter 26 Jahre 2,0 cm bzw. 3,8 cm und in Frankenberg bis zum Alter 35 Jahre 2,5 cm bzw. 4,4 cm. Der positive Effekt standraumfördernder Eingriffe auf die Entwicklung des Durchmessers der Oberhöhenmittelstämme tritt bei jeweils gleicher Ausgangspflanzendichte in Rechteckverbänden deutlicher zutage als in näherungsweisen Quadratverbänden.

Mit zunehmender Verknappung des Nadelrohholzes und mit zunehmender Bedeutung der energetischen Holznutzung (Spellmann et al. 2008, Spellmann 2013) rückt die Ausnutzung der Flächenproduktivität mehr und mehr in den Vordergrund. Laufender jährlicher Volumenzuwachs ( $iV$ ) und Gesamtalterszuwachs ( $GWL_v$ ) eines Bestandes stehen in einem engen Zusammenhang mit der Anzahl produktiver Bäume je Flächeneinheit, daher ist auch in den vorliegenden Versuchen deren Zunahme von weiten zu engen Verbänden zu beobachten. Kohnle (2008) weist in einem Resümee des Douglasienanbaus in Baden-Württemberg darauf hin, dass das „Mehr“ an Wuchseleistung mit höherer Ausgangspflanzendichte im Wesentlichen auf schwach dimensionierte Sortimente entfällt. Die mit dem Ausbau der Holzwerkstoff- und Papierindustrie sowie mit der Energiewende verbundene starke Nachfrage und das (derzeit) hohe Preisniveau bei schwächeren Sortimenten haben jedoch das „Schwachholzproblem“ der 1980er- und 1990er-Jahre abgelöst. Negativ wirkt sich der Anfall schwach dimensionierter Sortimente nach dem Stück-Masse-Gesetz auf die Holzerntekosten aus, aber bereits bei einem mittleren Durchmesser ( $D_{1,3}$ ) des ausscheidenden Bestandes von 12 cm werfen Vornutzungen in Douglasien-Bestockungen bei hochmechanisierter Holzernte positive Deckungsbeiträge ab (Kalkulation der erntekostenfreien Erlöse nach WBR 2008<sup>2</sup> unter der Modellannahme: Leis-

<sup>2</sup> Niedersächsische Waldbewertungsrichtlinien (WBR 2008) vom 20.12.2008, Nds. MBl. 2009, S. 225

tungsklasse 13 (entspricht einer II,0. Ertragsklasse nach Bergel 1985: mäßige Durchforstung, mittleres Ertragsniveau), Erntekostenstufe 2, Wertklasse 2, Holzpreise als aktualisierte Durchschnittswerte für Niedersachsen). In Frankenberg führte die vom vorgegebenen Behandlungsmodell abweichende Auslesedurchforstung zu einer höheren Stammzahlhaltung und damit zu einer gegenüber Hagenbach höheren Zuwachsleistung. Die Befunde sowohl in Hagenbach als auch in Frankenberg lassen erkennen, dass innerhalb gleicher Baumzahlgruppen annähernd quadratische Verbände eine höhere Flächenproduktivität besitzen als Rechteckverbände. Die Betrachtung der volumenbezogenen Gesamtwuchsleistung in ertragskundlichen Versuchen mit Douglasie in Österreich, die mit Pflanzenzahlen zwischen 1.000 und 6.500 je Hektar begründet wurden, zeigte noch im Alter 80 Jahre eine deutliche Überlegenheit der stammzahlreich begründeten Flächen (Kristöfel 2008).

Der Schlankheitsgrad des Mittelstammes dient vornehmlich als Weiser der Bestandesstabilität gegenüber Schneeschäden (Abetz 1976, Klein 1978, Kramer und Spellmann 1980, Kramer 1988, Küster 2000). Das durch „Lothar“ verursachte Ausmaß der Sturmchäden, die zur Aufgabe des Versuches Hagenbach führten, war auf das Zusammenwirken von räumlicher Ordnung und Sturmstärke zurückzuführen. In der vorliegenden Versuchsanordnung ist eine deutliche positive Korrelation zwischen Ausgangspflanzenzahl und dem Schlankheitsgrad der Oberhöhenmittelstämme ( $h/ddom$ ) zu beobachten. Erwartungsgemäß besitzen die stammzahlreich begründeten Versuchspartzellen die ungünstigsten  $h/d$ -Werte. Hohe  $h/ddom$ -Werte deuten darauf hin, dass selbst die Hauptzuwachsträger ihr Durchmesserzuwachspotenzial konkurrenzbedingt nicht ausschöpfen können. Analog zur Entwicklung des Durchmessers tragen größere Reihenabstände zur günstigeren Ausprägung des Schlankheitsgrades bei als annähernde Quadratverbände, da sich der positive Effekt der Durchforstung auf den Durchmesserzuwachs bei gleicher Ausgangsstammzahl in Rechteckverbänden stärker auswirkt. In den Douglasien-Verbandsversuchen in Frankreich, Großbritannien und den USA nehmen die Durchmesser der Mittelstämme mit weiterem Verband zu, gleichzeitig sinken auf den Mittelstamm bezogene  $h/d$ -Werte und Gesamalterszuwachs (Tyll und Kramer 1981, Harrington et al. 2009). Dichteabhängige Volumenleistung, Durchmesserentwicklung und Schlankheitsgrade im Standraumversuch Trout Creek (Washington, USA) bis Alter 25 waren statistisch signifikant unterschiedlich (Harrington et al. 2009).

Die maximalen Aststärken der Z-Bäume zeigen die erwarteten Abstufungen von engen zu weiten Standräumen mit ihren Folgen für die Ästungskosten und die Holzqualität. Die später einsetzende und in ihrer Art abgewandelte Durchforstung und die geringen Pflanzenausfälle in der Kulturphase (Spellmann und Nagel 1989) führten in Hagenbach auch in den stammzahlärmeren Varianten zu gegenüber Frankenberg geringeren Aststärken. In den baden-württembergischen Versuchen befinden sich die Mittelwerte der maximalen Aststärken auf einem dem Versuchsstandort Hagenbach vergleichbaren Niveau, bei einer geringeren Variation der Einzelwerte (Kohnle und Ehring 2008). Da die räumlichen Faktoren, welche die Dimension des einzelnen Baumes bestimmen, auch die Entwicklung der Aststärken kontrollieren, nehmen die Astdurchmesser innerhalb gleicher Baumzahlgruppen vom näherungsweise Quadratverband in Richtung Rechteckverband zu, gleichzeitig nimmt auch die Streuung der Werte zu. In der vorliegenden Versuchsserie entwickelte selbst in den mit 4.000 Douglasien je Hektar begründeten Partzellen ein Teil der Probestämme maximale Aststärken über 40 mm und darf daher auch unter Zugrundelegung der als sehr großzügig anzusehenden europäischen Norm zur Qualitätssortierung von Douglasien-Rundholz (EN 1927-3:2008) nicht mehr in die Güteklasse B sortiert werden. In den baden-württembergischen Versuchen wird diese Grenze aufgrund geringerer Bonitäten auch bei einer Ausgangspflanzenzahl von 1.000 je Hektar nicht überschritten (Kohnle und Ehring 2008, 2010). Die

Standraumversuche der NW-FVA auf sehr wuchskräftigen Standorten belegen jedoch eindeutig, dass feinstigere Douglasien nur in stammzahlreicher begründeten Beständen erwachsen. Wertholz der Douglasie ist ohnehin nur durch eine konsequente Ästung zu erzielen (Kenk und Thren 1984, Hecker und Becker 1997, Schmidt et al. 2001, Pusch 2002, Weißenbacher 2008).

Als waldbauliche Schlussfolgerung der empirischen Untersuchung zum Wachstum der Douglasie in 2 Standraumversuchen der NW-FVA wird ein unterer Rahmenwert von 2.000 Pflanzen je Hektar<sup>3</sup> bei der künstlichen Verjüngung empfohlen. Einer im Vergleich zu den stammzahlarmen Varianten durchschnittlichen Mehrleistung an Volumen von 12 % bei gleichzeitig feinstigerer Entwicklung stehen zwar ungünstigere  $h/d$ -Werte gegenüber, deren Aussagekraft jedoch durch die artspezifisch starke Eigendifferenzierung der Douglasie eingeschränkt wird. Kohnle und Ehring (2010) empfehlen für Baden-Württemberg auf der Grundlage der ihnen zur Verfügung stehenden Daten eine Bestandesbegründung mit maximal 1.200 Douglasien je Hektar. In süd- und südwestdeutschen Standraumversuchen schneiden die mit 1.000 Douglasien begründeten Varianten nach 40-jähriger Beobachtung wirtschaftlich am besten ab, wobei in die monetäre Bewertung (Nettowertleistung) ausschließlich Holzerlöse und Erntekosten einfließen (Klädtko et al. 2012). Bei anhaltend hohen Preisen für Industrie- und Energieholz halten Klädtko et al. (2012) eine Verschiebung der optimalen Pflanzenzahl in Richtung der 2.000er-Varianten allerdings für möglich. Diese Empfehlungen tragen der gestiegenen Nachfrage nach Nadelwachholz und den dementsprechend gestiegenen Industrieholzpreisen nicht genügend Rechnung. In den Standraumversuchen der NW-FVA zeichneten sich die den Vorschlägen von Kohnle und Ehring (2010) sowie von Klädtko et al. (2012) nächstliegenden bzw. genau entsprechenden 1.000er-Felder durch eine geringere Flächenproduktivität in Form nachlassenden Volumenzuwachses und geringerer Gesamtwuchsleistung an Volumen sowie durch eine ungünstigere Aststärkenentwicklung bei nur geringfügig besseren  $h/d$ -Werten aus. In der 2.000er-Baumzahlgruppe hat sich der Reihenverband mit den Abmessungen 3,0 x 1,67 m als empfehlenswerter Kompromiss hinsichtlich der Durchmesser- und Volumenleistung herausgestellt, wobei die Pflanzenabstände in der Reihe aus versuchstechnischen Überlegungen so gewählt wurden, dass sich rechnerisch genau 2.000 N ha<sup>-1</sup> ergeben. In der forstbetrieblichen Praxis wäre ein Abstand in der Reihe von 1,5 m arbeitstechnisch ergonomischer, was dann zu 2.200 Pflanzen je Hektar führen würde. Eine derartige Bestandesbegründung und Eingriffe, die einer starken Durchforstung entsprechen, ermöglichen in Hagenbach und Frankenberg nach 26- bzw. 35-jähriger Beobachtung ein  $h/ddom$ -Verhältnis von 71 bzw. 77. Kritischer ist der empfohlene Verband bei der Qualitätsentwicklung zu sehen, allerdings werden die grundsätzlichen Nachteile des Reihenverbandes in Bezug auf die Aststärkenentwicklung durch die bei Douglasie ohnehin übliche Ästung der Z-Bäume relativiert.

## Literatur

- Abetz P. 1971. Douglasien-Standraumversuche. Allg. Forstz. 26, 448-449  
 Abetz P. 1974. Zur Standraumregulierung in Mischbeständen und Auswahl von Zukunftsbäumen. Allg. Forstz. 29, 871-873  
 Abetz P. 1976. Beiträge zum Baumwachstum. Der  $h/d$ -Wert – mehr als ein Schlankheitsgrad. Forst- u. Holzwirt 31, 389-393  
 Anonymus 2001. Koordinierter Douglasien-Standraumversuch von 1973. FENA Gießen: Beitrag zum Jahresbericht 2001, FG Waldwachstum  
 Assmann E. 1961. Waldertragskunde. München  
 Bayerische Staatsforsten (Hrsg.) 2009. Douglasie – Anzucht und Anbau. Merkblatt Pf 36, 4 S. [http://www.forst-design3.bayern.de/asp/downloads/28233/linkurl\\_3.pdf](http://www.forst-design3.bayern.de/asp/downloads/28233/linkurl_3.pdf) (aufgerufen am 10.6.2013)

<sup>3</sup> Reinbestandszahlen (Umrechnung über Baumartenanteilsfläche des WET)

- Bergel D. 1985. Douglasien-Ertragstafel für Nordwestdeutschland. Allg. Forst- u. Jagdztg. 157, 49-59
- Deutsches Institut für Normung (Hrsg.) 2008. Qualitäts-Sortierung von Nadel-Rundholz – Teil 3: Lärche und Douglasie; Deutsche Fassung EN 1927-3:2008. <http://www.beuth.de/de/norm/din-en-1927-3/103162726> (aufgerufen am 29.5.2013)
- Ehring A., Kohnle U. 2006. Stand des koordinierten Douglasien-Standraumversuches in Baden-Württemberg. Tagungsbericht DVFFA – Sektion Ertragskunde, Staufen/Breisgau, 151-159
- Englich M. 2008. Die Douglasie – Für und Wider aus standortkundlicher Sicht. Bundesforschungs- und Ausbildungszentrum für Wald, Naturgefahren und Landschaft, Wien. In: BFW Praxisinformation 16, ISSN 1815-3895, 6-8
- Hapla F. 1986. Beeinflussen unterschiedliche Durchforstungsmaßnahmen die Holzeigenschaften der Douglasie? Forstarchiv 57, 99-104
- Harrington T.B., Harrington C.A., De Bell D.S. 2009. Effects of planting spacing and site quality on 25-year growth and mortality relationships of Douglas-fir (*Pseudotsuga menziesii* var. *menziesii*). For. Ecol. Manage. 258, 18-25
- Hecker M., Becker G. 1997. Möglichkeiten zur Beeinflussung der Oberflächenrauigkeit von Douglasien-Furnieren durch waldbauliche Maßnahmen. Forstw. Cbl. 116, 45-52
- Hessen-Forst (Hrsg.) 2008. Hessische Waldbaufibel. Grundsätze und Leitlinien zur naturnahen Wirtschaftsweise im hessischen Staatswald. Kassel
- Johann K. 1993. DESER-Norm 1993. Normen der Sektion Ertragskunde im Deutschen Verband Forstlicher Forschungsanstalten zur Aufbereitung von waldwachstumkundlichen Dauerversuchen. DVFFA - Sektion Ertragskunde - in Unterreichenbach-Kapfenhardt. In: Tagungsbericht, 96-104
- Kármán T. von 1911. Über den Mechanismus des Widerstandes, den ein bewegter Körper in einer Flüssigkeit erfährt. Nachrichten d. K. Gesellschaft d. Wissenschaften zu Göttingen, math.-phys. Kl.
- Kenk G., Hradetzky J. 1984. Behandlung und Wachstum der Douglasie in Baden-Württemberg. Mitt. Forstl. Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg 113
- Kenk G., Thren M. 1984. Ergebnisse verschiedener Douglasienprovenienzversuche in Baden-Württemberg. Teil I: Der Internationale Douglasienprovenienzversuch von 1958. Allg. Forst- u. Jagdztg. 155, 165-183
- Kenk G., Unfried P. 1980. Aststärken in Douglasien-Beständen. Allg. Forst- u. Jagdztg. 151, 201-210
- Kenk G., Weise U. 1983. Erste Ergebnisse von Douglasien-Verbandsversuchen in Baden-Württemberg. Allg. Forst- u. Jagdztg. 154, 41-55
- Klädtker J., Kohnle U., Kublin E., Ehring A., Pretzsch H., Uhl E., Spellmann H., Weller A. 2012. Wachstum und Wertleistung der Douglasie in Abhängigkeit von der Standraumgestaltung. Schweiz. Z. Forstw. 163, 96-104
- Klein M. 1978. Der Einfluß verschiedener Behandlungen von Fichtenjungbeständen auf deren Massen- und Wertleistung sowie die Bestandssicherheit gegen Wind und Schnee. Diss. Forstl. Fak. Univ. Göttingen
- Kohnle U. 2008. Douglasienanbau in Südwest-Deutschland: Waldbauliche Erfolgsfaktoren. Bundesforschungs- und Ausbildungszentrum für Wald, Naturgefahren und Landschaft, Wien. In: BFW Praxisinformation 16, ISSN 1815-3895, 12-13
- Kohnle U., Ehring A. 2008. Stand des koordinierten Douglasien-Standraumversuchs in Baden-Württemberg. LWF Wissen 59, 49-56
- Kohnle U., Ehring A. 2010. Durchforstung der Douglasie – 40 Jahre Standraumversuch. FVA-Einblick 3/2010, 9-12
- Kramer H. 1988. Waldwachstumslehre. Hamburg
- Kramer H., Spellmann H. 1980. Beiträge zur Bestandesbegründung der Fichte. Schriften aus der Forstl. Fak. Univ. Göttingen und der Niedersächsischen Forstlichen Versuchsanstalt 64
- Kristöfel F. 2008. 120 Jahre ertragskundliche Versuche mit Douglasie. Bundesforschungs- und Ausbildungszentrum für Wald, Naturgefahren und Landschaft, Wien. In: BFW-Praxisinformation 16, ISSN 1815-3895, 14-16
- Kublin E., Bösch B. 2007. Das Sorten- und Volumenprogramm BDAI. BDAIPro Dynamic-Link-Library (BDAIPro.DLL). <http://www.fva-bw.de/forschung/bui/bdat.html> (aufgerufen am 12.12.2007)
- Küster B. 2000. Die Auswirkungen unterschiedlicher waldbaulicher Behandlungen auf das Wachstum und die Qualitätsentwicklung junger Traubeneichen (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl.). Forstl. Forschungsber. München 179
- Landesforstverwaltung Brandenburg 2004. Douglasie – Verjüngung, Pflege und Nutzung. In: Ministerium für Landwirtschaft, Umweltschutz und Raumordnung, Abteilung Forst (Hrsg.). Waldbau-Richtlinie 2004, 6-7
- Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten Sachsen-Anhalt (Hrsg.) 1994. Richtlinie und Merkblattsammlung Waldbau Nr. 5: Merkblatt zur Anwendung von rationellen Pflanzverbänden in der Walderneuerung. Magdeburg
- Ministerium Ländlicher Raum Baden-Württemberg (Hrsg.) 1999. Richtlinie landesweiter Waldentwicklungstypen. Stuttgart
- Niedersächsisches Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (Hrsg.) 2004. Pflanzzahlen bei der künstlichen Bestandesbegründung in den Landesforsten. Nds. MBl. 17/1998, 676-677
- Petterson H. 1955. Die Massenproduktion des Nadelwaldes. Mitt. Forstl. Forsch. Anst. Schwedens, Bd. 45, Nr. 1B
- Pollanschütz J. 1974. Erste ertragskundliche und wirtschaftliche Ergebnisse des Fichten-Pflanzversuchs „Hauersteig“. In: 100 Jahre Forstliche Bundesversuchsanstalt (FBVA), Wien
- Pretzsch H. 2002. Grundlagen der Waldwachstumsforschung. Berlin
- Pusch A. 2002. Ästung der Douglasie in der Niedersächsischen Landesforstverwaltung. Forst u. Holz 57, 173-176
- Schmidt M., Spellmann H., Nagel J. 2001. Waldwachstumkundliche Entscheidungshilfen zur Ästung der Douglasie. Allg. Forst- u. Jagdztg. 172, 126-136
- Spellmann H. 1995. Holzqualität als Beurteilungskriterium im langfristigen Versuchswesen. Forst u. Holz 50, 743-747
- Spellmann H. 2013. Masse statt Klasse? Waldbauliche Konsequenzen aus einer veränderten Rohholznachfrage. AFZ./DerWald 67, 10-15
- Spellmann H., Nagel J. 1989. Zum Einfluss von Ausgangspflanzenzahl und Pflanzverband auf die Jugendentwicklung von Douglasienbeständen. Forst u. Holz 44, 455-459
- Spellmann H., Mantau U., Polley H. 2008. Nachhaltige Rohholzversorgung aus deutschen Wäldern – Positionspapier der Plattform Forst und Holz von DFWR und DHWR. [http://www.dfwr.de/download/Positionspapier\\_PlattformForstundHolz.pdf](http://www.dfwr.de/download/Positionspapier_PlattformForstundHolz.pdf) (aufgerufen am 16.9.2011)
- Utschig H. 1997. Exkursionsführer Douglasien-Provenienz-Versuch Kösching 095 – Forstamt Beilngries, vorläufige Auswertungsergebnisse. Dokumentation DVFFA: Exkursionsführer MWW-EF 61/3, LMU.06, München
- Utschig H., Moshhammer R. 1996. Der koordinierte Douglasien-Standraumversuch – Auswertung der bayerischen Flächen. Tagungsbericht DVFFA – Sektion Ertragskunde, Neresheim, 102-127
- Tyll C. van, Kramer H. 1981. Der Einfluß des Ausgangsverbandes auf die Jugendentwicklung von Douglasienbeständen. Teil I: Ertragskundliche Untersuchungen in mittelalten Beständen. Allg. Forst- u. Jagdztg. 152, 31-40
- Weißbacher L. 2008. Herkunftswahl bei Douglasie – der Schlüssel für einen erfolgreichen Anbau. Bundesforschungs- und Ausbildungszentrum für Wald, Naturgefahren und Landschaft, Wien. BFW Praxisinformation 16, ISSN 1815-3895, 3-5
- Weller A. 2006. Abschließende Auswertung des Douglasien-Standraumversuchs Hagenbach. Tagungsbericht DVFFA – Sektion Ertragskunde, Staufen/Breisgau, 134-148
- Wenk G., Antanaitis V., Šmelko Š. 1990. Waldertragslehre. Berlin
- Wiedemann E. 1935. Zur Klärung der Durchforstungsbegriffe. Z. Forst- u. Jagdw. 67, 56-64