

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

Herausgeber: Schweizerischer Forstverein

Band: 163 (2012)

Heft: 3

Artikel: Wachstum und Wertleistung der Douglasie in Abhängigkeit von der Standraumgestaltung

Autor: Klädtke, Joachim / Kohnle, Ulrich / Kublin, Edgar

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1097655>

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: 09.04.2026

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

Wachstum und Wertleistung der Douglasie in Abhängigkeit von der Standraumgestaltung

Joachim Klädtke	Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg (DE)*
Ulrich Kohnle	Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg (DE)
Edgar Kublin	Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg (DE)
Andreas Ehring	Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg (DE)
Hans Pretzsch	Lehrstuhl für Waldwachstumskunde, Technische Universität München (DE)
Enno Uhl	Lehrstuhl für Waldwachstumskunde, Technische Universität München (DE)
Hermann Spellmann	Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt (DE)
Andreas Weller	Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt (DE)

Growth and value production of Douglas-fir under varying stand densities

The investigation is focused on the effects of initial tree number and thinning on growth and value performance of Douglas-fir stands. Data base is a coordinated Douglas-fir spacing experiment in South Germany, started 40 years ago and comprising variants of tree numbers with 500, 1,000, 2,000 and 4,000 Douglas-firs per hectare. The treatment was performed according to a standardized experiment program. The results show that at low initial tree numbers, the diameter on breast height (DBH) of (pre)dominant trees at the beginning of the observations (with 12 m top height) is bigger than at higher initial plant numbers. Accordingly, the quotient of height (H) to DBH (as an indicator for tree's static stability) is lower. The further development of DBH and H/DBH quotient is decisively determined by stand treatment, which superimposes the effect of the initial tree number. The total volume growth shows a clear differentiation, too, the variants with initially high tree numbers appearing on top. In the monetary analysis, this ranking is reversed: despite a supposed inferior wood quality, the variants with lower initial tree numbers clearly outperform the ones with higher numbers in terms of value. From these results, the following silvicultural recommendations for Douglas-fir can be derived: the initial tree numbers should be in the range from 1,000 to 2,000 plants per hectare. On technically not accessible sites, even lower tree numbers may come into question. The strong influence of stand treatment on DBH and H/DBH development highlights the problem of postponed thinnings, for this causes growth and stability losses even under favorable starting conditions in terms of competition.

Keywords: Douglas-fir, plant density, crop tree management, thinning regime, stand growth, net present value
doi: 10.3188/szf.2012.0096

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

Der Anbau der Douglasie wurde in Deutschland in den 1960er- und 1970er-Jahren stark vorangetrieben. Divergierende Auffassungen zur waldbaulichen Behandlung brachten die Douglasie zunehmend in den Fokus des forstlichen Versuchswesens. Im Jahr 1971 wurde auf Initiative von Peter Abetz und unter ursprünglicher Beteiligung der Länder Baden-Württemberg, Bayern, Hessen, Niedersachsen, Rheinland-Pfalz und Saarland ein koordinierter Douglasien-Standraumversuch angelegt, in dem anhand eines abgestimmten Versuchsdesigns den Auswirkungen von Pflanzenzahl, Pflanzverband und Durchforstung auf Wachstum, Qualität, Sorten- und Wertleistung sowie Risiken nachgegangen werden sollte (Abetz 1971). Zu den Versuchen und ihren vielen Teilaspekten liegen bereits zahl-

reiche Auswertungen vor, so zum Beispiel von Kenk (1981), Kenk & Weise (1983), Ehring (1996, 2005), Kohnle & Ehring (2008) für die Versuche in Baden-Württemberg, von Spellmann & Nagel (1989) sowie Weller (2006) in Rheinland-Pfalz und von Utschig & Moshhammer (1996) in Bayern. Ein länderübergreifender Vergleich der Ergebnisse erfolgte bislang jedoch nicht.

In der vorliegenden Arbeit sollen diese Versuche deshalb nach mittlerweile 40-jähriger Laufzeit einer gemeinsamen Auswertung unterzogen werden. Im Vordergrund stehen dabei das Durchmesserwachstum, die Entwicklung des Verhältnisses von Baumhöhe zu Baumdurchmesser (H/D) sowie die Volumen- und Wertleistung in Abhängigkeit von Ausgangsbaumzahl und Durchforstung.

Ausgangsbaumzahl (St./ha)	Pflanzverbände (m × m)				
500				5 × 4.00	6 × 3.33
1000		3 × 3.33	4 × 2.50	5 × 2.00	6 × 1.67, 7 × 1.43
2000	2 × 2.50	3 × 1.67	4 × 1.25	5 × 1.00	
4000	2 × 1.25	3 × 0.83			

Tab 1 Übersicht über Ausgangsbaumzahlen und Pflanzverbände.

Datengrundlage und Methoden

Versuchsflächen und Behandlungsprogramm

Die in den Standraumversuchen verwendeten Pflanzanzahlen und Pflanzverbände sind in Tabelle 1 aufgeführt. Die Variante mit 500 Bäumen war fakultativ und wurde nur in Baden-Württemberg angelegt. Detaillierte Angaben zur Versuchsanlage, insbesondere zu Pflanzmaterial und -verbänden, enthält eine Zwischenauswertung von Kenk & Weise (1983), die insbesondere auch die Erfahrungen mit Schwierigkeiten in der Kulturphase zusammenfasst. Ein Teil der Versuche, zum Beispiel aus dem Saarland und aus Hessen, fiel diesen Schwierigkeiten zum Opfer und musste unter anderem wegen hoher Pflanzausfälle gleich nach Versuchsbeginn aufgegeben werden. Neben der sorgfältigen Durchführung der Bestandesbegründung war die exakte Einhaltung des Behandlungsprogramms eine wichtige Voraussetzung für das Gelingen des Versuchs (Tabelle 2).

Programmgemäss wurde die Baumzahl auf den 4000er-Parzellen bereits bei einer Oberhöhe von 12 m auf 2000 Stück je ha abgesenkt. Um diese starke Baumzahlreduktion zu erreichen, war ausser der Freistellung der Z-Bäume auch eine Niederdurchforstung

Oberhöhe H ₁₀₀ (m)	Massnahme
0	Anlage der Versuchsvarianten mit 500, 1000, 2000 und 4000 Pflanzen/ha in unterschiedlichen Verbänden
12	In allen Verbänden Auswahl von 150 Z-Bäumen pro Hektar und Ästung auf 5 m Erstdurchforstung der 4000er-Varianten
15	Erstdurchforstung der 2000er-Varianten Folgedurchforstung 4000er-Varianten
18	In allen Verbänden endgültige Festlegung der Z-Bäume und Ästung auf 10 m Folgedurchforstung 2000er- und 4000er-Varianten
21	Erstdurchforstung der 1000er-Varianten Folgedurchforstung 2000er- und 4000er-Varianten
24	Folgedurchforstung der 1000er-, 2000er- und 4000er-Varianten
27	Erstdurchforstung der 500er-Varianten Folgedurchforstung der übrigen Varianten Weitere Durchforstung nach jeweils 3 m Höhenzuwachs

Tab 2 Behandlungsprogramm.

in den Zwischenfeldern erforderlich. Ab einer Oberhöhe von 15 m erfolgten die weiteren Eingriffe nach der Baumzahlleitkurve (BLK) für Douglasie, starke Durchforstung (Kenk & Hradetzky 1984). Der Schwerpunkt lag auch hier auf der Z-Bäume-Freistellung, jedoch ebenfalls in Kombination mit einer Niederdurchforstung zur Erreichung der Sollbaumzahlen.

Da sich die Auswertung auf Analysen bei programmgemässer Behandlung beziehen soll, wurde zunächst die Baumzahlentwicklung auf den Versuchspartellen auf Übereinstimmung mit dem Behandlungsprogramm überprüft. Als programmgemäss wurden dabei nur Aufnahmen eingestuft, bei denen die Baumzahl um maximal +/-20% von der Soll-Ausgangsbaumzahl beziehungsweise der BLK abwich (Abbildung 1).

Bei grösseren Abweichungen wurden die betreffenden Aufnahmen von der Auswertung ausgeschlossen. Dies betraf beispielsweise die gesamte zweite hessische Versuchsanlage, die von Anfang an nicht versuchskonform behandelt worden war.

Der Sturm Lothar führte 1999 auf zahlreichen Versuchspartellen zu erheblichen Störungen, sodass sich ab diesem Zeitpunkt die Anzahl auswertbarer Aufnahmen deutlich reduzierte. Die Versuchsanlage Hagenbach (Rheinland-Pfalz) musste so bereits nach drei Aufnahmen komplett aufgegeben werden. In Baden-Württemberg lagen nach dem Sturm auf 17 von 61 Parzellen keine programmkonformen Baumzahlen mehr vor; dazu gehörten auch vier der sechs 4000er-Parzellen.

Tabelle 3 gibt eine Übersicht über die Anzahl und die waldwachstumskundlichen Kenndaten der ausgewerteten Parzellen zum Zeitpunkt der ersten Aufnahme.

Messprogramm und Berechnung der Versuchsflächenwerte

Die Auswertung erfolgte auf Basis der auf den Versuchspartellen erhobenen Messdaten. Diese bestehen aus im Abstand von zwei bis sechs, im Mittel von vier Jahren durchgeführten Vollerhebungen der Brusthöhendurchmesser (BHD; in Baden-Württemberg mittels kreuzweiser Kluppung, sonst mittels Umfangmessband) und durchmesserrepräsentativen Höhenmessungen an 30 bis 40 Douglasien je Parzelle. Anhand dieser Informationen erfolgten die Konstruktion parzellen- und aufnahmespezifischer Bestandeshöhenkurven sowie die Grundflächen- und Volumenberechnung.¹ Als weitere Information wurden an jedem fünften Z-Baum je Parzelle die Aststärken in etwa 5 m Höhe ermittelt. Die Erhebung und Auswertung dieser Daten wurde von der für die

¹ JOHANN K (1993) DESER-Norm 1993: Normen der Sektion Ertragskunde im Deutschen Verband Forstlicher Forschungsanstalten zur Aufbereitung von waldwachstumskundlichen Dauerversuchsflächen. Bericht zur Jahrestagung der Sektion Ertragskunde in Kapfenhardt: pp. 96–104.

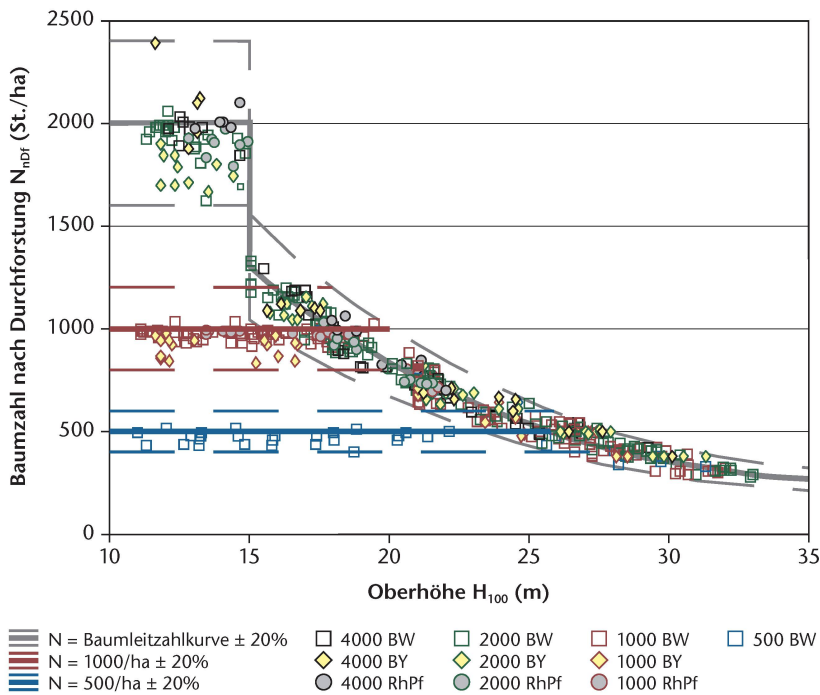


Abb 1 Baumzahlentwicklung der ausgewerteten Versuchspartellen. BW: Baden-Württemberg, BY: Bayern, RhPf: Rheinland-Pfalz.

Betreuung der jeweiligen Versuchsanlage zuständigen Forschungseinrichtung durchgeführt.

Für die vorliegende Auswertung wurde für jede Parzelle aufgrund der Oberhöhe (H_{100}) und des Alters zum Zeitpunkt der ersten Aufnahme mithilfe der Bonitierungsfunktion für Douglasie von Bösch (2002) die Oberhöhenbonität im Alter von 100 Jahren bestimmt.

Wertberechnung

Die Wertberechnung erfolgte an der Forstlichen Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg mithilfe des Programms Holzerte, Version 7.1 (Schöpfer et al 1996), parzellenweise getrennt für Vornutzungen und verbleibenden Bestand. Folgende Annahmen hinsichtlich Sortierung, Holzerlösen und Aufarbeitungskosten wurden getroffen:

Sortimente

- Stammholz: Aushaltung von Profilerspaner-Sortimenten (PZ) als Kurzholz (5 m), Aufarbeitungszopf 12 cm in Rinde
- Industrieholz: Industrie-Schichtholz (IS) 3 m, Aufarbeitungszopf 7 cm in Rinde
- Nicht verwertbares Restholz (X-Holz lang) bis BHD 9 cm

Qualität

Zur Berücksichtigung der qualitätsrelevanten Aststärke flossen die in den baden-württembergischen Versuchen bei einer Oberhöhe von 18 bis 21 m ermittelten maximalen Astdurchmesser in 5 m Schafthöhe in die Wertberechnung mit ein (Kohnle & Ehring 2008). Entsprechend der Sortiervorschrift EN 1927-3: 2008 für Douglasie wurden Bäume mit nicht verwachsenen Ästen über 4 cm Durchmesser in die Güteklasse C sortiert. Für die einzelnen Ausgangsbaumzahlen ergab sich hieraus die in der Tabelle 4 dargestellte Güteklassensortierung.

Obwohl die Z-Bäume dem Versuchsprogramm entsprechend geästet worden waren, wurde bei der

Variante (St./ha)	Bundesland	Ausgewertete Parzellen	Anzahl Aufnahmen	Kennwerte zum Zeitpunkt der ersten Aufnahme					
				Alter (J)	Durchmesser D_{100} (cm)	Oberhöhe H_{100} (m)	Oberhöhenbonität H_{A100} (m)	Grundfläche G_{vDf} (m^2/ha)	Vorrat V_{vDf} (Vfm/ha)
500	Baden-Württemberg	7	5.0 (3–6)	20.1 (19–21)	22.8 (21.0–25.4)	12.3 (11.0–13.2)	47.9 (44.9–51.2)	12.9 (10.6–15.1)	64.0 (48.1–79.3)
1000	Baden-Württemberg	25	6.1 (4–7)	18.0 (16–20)	20.3 (16–20)	12.2 (11.1–14.2)	50.6 (46.2–54.2)	19.2 (14.4–26.8)	95.6 (67.8–146.9)
1000	Bayern	9	5.0 (5)	20.0 (20)	22.3 (21.4–23.5)	12.0 (11.6–13.0)	47.7 (46.9–49.3)	20.0 (14.6–24.2)	91.3 (59.0–111.0)
1000	Rheinland-Pfalz	6	3.0 (3)	18.0 (18)	23.4 (21.9–24.9)	13.9 (13.4–14.6)	54.0 (53.2–55.1)	24.2 (22.0–26.3)	134.7 (122.4–145.9)
2000	Baden-Württemberg	23	6.1 (4–7)	18.0 (16–20)	18.3 (17.1–21.6)	12.5 (11.3–14.8)	52.1 (46.5–55.1)	24.4 (16.7–32.7)	118.0 (75.6–193.7)
2000	Bayern	11	4.5 (3–5)	20.0 (20)	20.9 (19.3–22.8)	12.7 (11.8–14.4)	48.8 (47.2–51.6)	26.3 (19.5–31.1)	119.6 (87.0–144.0)
2000	Rheinland-Pfalz	8	3.0 (3)	18.0 (18)	20.8 (19.6–21.8)	13.9 (12.8–14.9)	54.1 (52.2–55.6)	28.7 (21.3–32.4)	166.8 (146.2–187.7)
4000	Baden-Württemberg	6	5.4 (4–6)	17.0 (16–19)	16.2 (15.6–16.7)	12.6 (12.1–13.3)	53.8 (50.5–55.6)	31.5 (24.9–35.5)	142.4 (105.4–165.5)
4000	Bayern	5	4.6 (3–)	20.0 (20)	17.6 (16.8–18.1)	12.8 (11.6–13.2)	48.9 (46.7–49.6)	34.5 (30.6–36.7)	147.6 (131.0–156.0)
4000	Rheinland-Pfalz	5	3.0 (3)	18.0 (18)	18.4 (17.2–20.6)	14.0 (13.0–14.6)	54.1 (52.5–55.1)	34.4 (32.5–36.3)	181.8 (165.5–196.6)

Tab 3 Übersicht über die ausgewerteten Versuchsfelder und -parzellen. Angegeben sind jeweils der Mittelwert und in Klammer der Minimal- und der Maximalwert.

Güteklasse	Ausgangsbaumzahl (St./ha)			
	4000	2000	1000	500
B	100%	90%	80%	40%
C	0%	10%	20%	60%

Tab 4 Güteklasseneinteilung des Stammholzes aufgrund der Aststärke nach Sortierung EN 1927-3: 2008.

Güteklasseneinteilung keine A-Qualität ausgeschieden, da die Bäume gegenwärtig noch keine wertholztauglichen Dimensionen besitzen.

Holzerlöse

Die Wertberechnungen basieren auf den im Staatswald Baden-Württemberg in den Jahren 2005 bis 2009 erzielten durchschnittlichen Preisen für Douglasienholz (Tabelle 5). Die Kalkulationen für das Stammholz erfolgten getrennt nach B- und C-Qualität. Für das Industrieholz wurde ein einheitlicher Durchschnittswert unterstellt.

HKS-Sorte	Güteklasse B (EUR/Efm)	Güteklasse C (EUR/Efm)
L1a	32.64*	33.35**
L1b	51.54	38.79
L2a	63.79	52.37
L2b	71.23	65.08
L3a	78.55	72.06
L3b	79.34	75.3
L4	78.48	75.25
IL/IS	25.15	

Tab 5 Durchschnittliche Holzerlöse 2005–2009 im Staatswald Baden-Württemberg in Euro pro Erntefestmeter Derbholz ohne Rinde. HKS: Holzhandelsklassensortierung. * Menge nur 8.7 Efm. ** Menge nur 29.4 Efm.

Holzerntverfahren/Aufarbeitungskosten

Zur Herleitung der Kosten wurden eine voll mechanisierte Aufarbeitung, eine Erschliessung im 20-m-Gassenabstand und die in Tabelle 6 enthaltenen Holzerntekosten unterstellt.

Die Aufarbeitungskosten wurden zur Berücksichtigung des infolge grösserer Astdurchmesser höheren Aufwandes für die 500er-Varianten um 10% und für die 1000er-Varianten um 3% erhöht. Für das nicht verwertbare Restholz (X-Holz) wurden Aufar-

Brusthöhen-durchmesser (cm)	Harvester		Forwarder	
	Kosten (EUR/Efm)	Leistung (Efm/h)	Kosten (EUR/Efm)	Leistung (Efm/h)
10–19.9*	10.0		IS 5.50 PZ 4.0	
20–22.9	7.7	14		15
23–25.9	6.5	17		15
26–28.9	5.7	19		17
29–31.9	5.2	23		17
31–50	4.6	25		19

Tab 6 Aufarbeitungskosten (nach Schulz 2010). * Daten gutachtlich geschätzt. IS: Industrieschichtholz, PZ: Profilerspannerholz.

beitungskosten von 2 EUR/Stück kalkuliert. Da sich die Bestände derzeit noch in der Durchforstungsphase befinden und noch kein Wertholz anfällt, wurden in den Kalkulationen auch keine Aufwendungen für Wertästungen veranschlagt. Kulturkosten und Verzinsungen blieben für die vorliegende Betrachtung ebenfalls unberücksichtigt.

Statistische Auswertungen

Die Korrelation zwischen den Zielgrössen Durchmesser (D_{100}), Grundfläche nach Durchforstung (G_{nDf}), Gesamtwuchsleistung an Volumen (GWV_V) und Nettowertleistung (NWL) einerseits und den Prädiktoren Ausgangsbaumzahl (N_0) und Oberhöhe (H_{100}) andererseits wurde mittels einer B-Spline-Regressionsanalyse untersucht (Kublin et al 2009), die sich aufgrund ihrer Flexibilität insbesondere für varianzanalytische Untersuchungen kurzfristiger Effekte wie beispielsweise Wachstumsreaktionen bei unterschiedlicher Bestandesbehandlung eignet. Neben den Prädiktoren N_0 und H_{100} wurde auch der Einfluss der Variablen Bundesland (BL) und Bonität (BON) berücksichtigt und im Regressionsmodell

$$y = \alpha_0^{BL} + \beta^{BON} \times BON + f^{N_0}(H_{100}) + \epsilon \quad (1)$$

mit einem Interzept α_0^{BL} für die Bundesländer BL \in {Baden-Württemberg, Bayern, Rheinland-Pfalz} und separaten Spline-Funktionen $f^{N_0}(H_{100}) = \sum_{k=1}^5 \beta_k^{N_0} \times B_k(H_{100})$ für die Ausgangsbaumzahlen $N_0 = 500, 1000, 2000$ und 4000 untersucht. Für die Konstruktion der Spline-Funktionen $f^{N_0}(H_{100})$ wurden kubische B-Splines mit Knotenpunkten $k_{H_{100}} = 10, 15, 24$ und 33 m als Basisfunktionen $B_k(H_{100})$ verwendet. Die Residualfehler ϵ wurden als unabhängige und identisch verteilte Zufallsgrössen mit Mittelwert 0 und konstanter Varianz σ_ϵ^2 angenommen. Eine eingehende mathematisch-statistische Erläuterung der Verfahren und ergänzende Literaturhinweise findet man in den Arbeiten von Kublin et al (2009, 2010).

Ergebnisse

Grundflächenentwicklung

Die Entwicklung der Grundflächen nach Durchforstung (G_{nDf} ; Abbildung 2) steht in engem Zusammenhang mit der Baumzahlhaltung (Abbildung 1). Dementsprechend ist sie nicht als Leistungsgrösse wie zum Beispiel Gesamtwuchsleistung oder Nettowertleistung zu verstehen, sondern dient vor allem als Konkurrenzweiser, der für die spätere Interpretation der Ergebnisse von Bedeutung ist.

Zu Beginn der Beobachtung liegt die G_{nDf} der 4000er-Varianten aufgrund der bereits bei 12 m erfolgten Eingriffe unter jener der 2000er-Varianten. Die Ausgleichskurven zeigen, dass sich die G_{nDf} bei

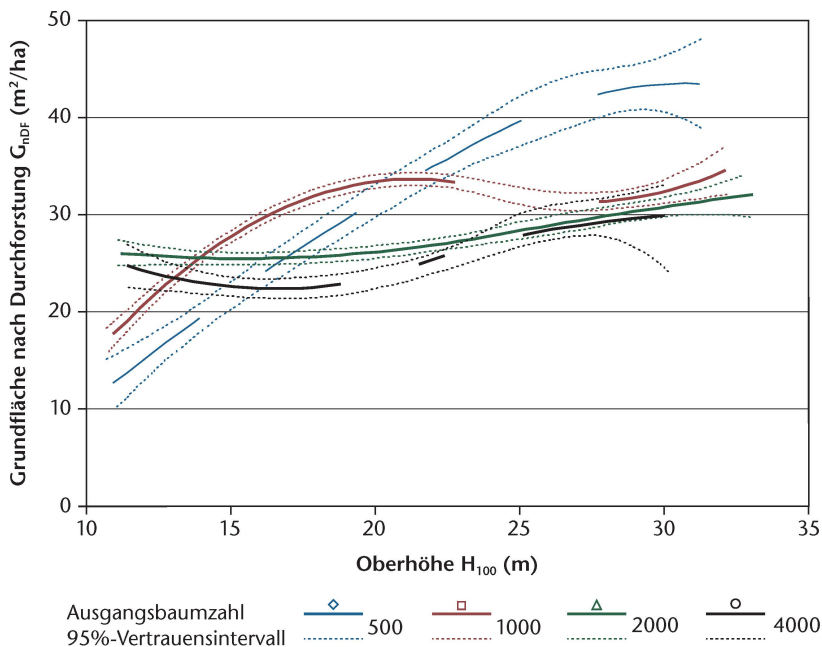


Abb 2 Entwicklung der Bestandesgrundflächen nach Durchforstung.

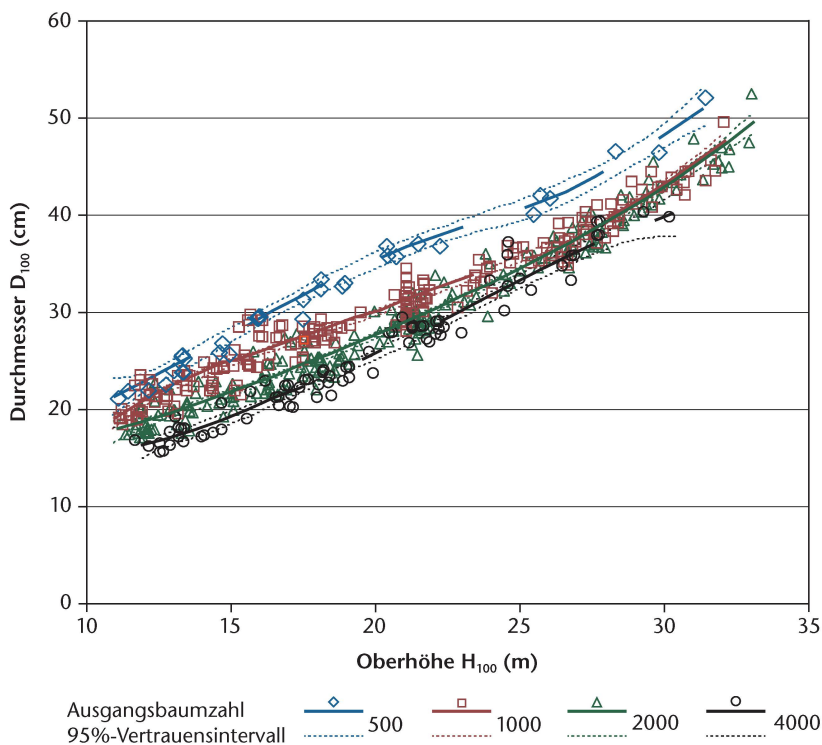


Abb 3 Entwicklung des Durchmessers (D_{100}).

den 4000er- und 2000er-Varianten bis zu einer Höhe von etwa 20 m im Mittel zwischen 20 und 25 m² bewegt und dann langsam ansteigt. Die 1000er-Varianten liegen aufgrund der niedrigen Ausgangsbaumzahl in der G_{nDf} anfangs tiefer, übertreffen aber bereits bei 14 m Oberhöhe die baumzahlreichere, jedoch bereits einmal durchforstete 4000er-Variante. Erst mit programmkonformem Durchforstungsbeginn bei 21 m sinkt die Ausgleichskurve dieser Variante ab und nähert sich schliesslich dem Niveau der baumzahlreicheren Varianten. Ab 25 m Ober-

höhe überlappen sich die Vertrauensintervalle der drei Varianten, sodass hier keine gesicherten Unterschiede mehr bestehen. Auf den 500er-Varianten steigt die G_{nDf} dagegen über die gesamte Beobachtungsdauer an und flacht erst ab Oberhöhe 27 m ab.

Durchmesserentwicklung

Die Durchmesserentwicklung (D_{100}) weist zu Beginn der Beobachtung eine deutliche Staffelung nach der Ausgangsbaumzahl auf (Abbildung 3). Während die Ausgleichskurven der 500er-, 2000er- und 4000er-Varianten in etwa parallel zueinander ansteigen, verläuft die Kurve der 1000er-Variante flacher und nähert sich mit zunehmender Oberhöhe immer mehr dem D_{100} der 2000er-Variante an. Ab 25 m Oberhöhe unterscheiden sich die Ausgleichskurven der 1000er- und der 2000er-Variante dann nicht mehr signifikant (überlappende Vertrauensintervalle). Die Entwicklung des D_{100} der 500er-Variante flacht zwischen 20 und 25 m ab und steigt danach wieder an.

Die für das D_{100} -Kollektiv gefundenen Ergebnisse gelten analog auch für die Durchmesserentwicklung der Z-Bäume (D_{ZB}). Ein Vergleich nach Bundesländern (aus Platzgründen hier nicht dargestellt) ergab, dass die Entwicklung der Durchmesser-Kennwerte D_{100} und D_{ZB} (analog GWLV und NWL) der Versuche in Bayern signifikant über jener der Versuche in Baden-Württemberg liegt.

H/D-Entwicklung

Der H/D-Wert ist ein Indikator für die statische Belastbarkeit des Baumschaftes und gilt bei Nadelbäumen insbesondere in der Jugend- beziehungsweise Durchforstungsphase als wichtiger waldbaulicher Weiser für die Einschätzung des Schneebruchrisikos. Allgemein wird der kritische Grenzwert bei etwa 80 gesehen (Merkel 1975, Abetz 1976).

In Abbildung 4 ist die Entwicklung des H/D-Werts der Z-Bäume (H/D_{ZB} , links) beziehungsweise des Grundflächenmittelstammes des Bestandes (H/D_g , rechts) dargestellt. In dieser Darstellung sind die Daten der Versuche in Rheinland-Pfalz nicht enthalten, da hier die Z-Baum-Auswahl erst bei der zweiten Aufnahme erfolgte und insgesamt nur drei Aufnahmen vorliegen.

Die Z-Bäume der 500er-Varianten (nur in Baden-Württemberg) starten mit H/D-Werten von unter 60, die im Laufe der Zeit auf etwa 68 ansteigen. Im Vergleich hierzu liegen die H/D_{ZB} -Werte der 1000er-Varianten aus Baden-Württemberg um circa zehn, die der 1000er-Variante aus Bayern um circa fünf Einheiten höher. Bei beiden (baumzahlarmen) Varianten steigen die H/D-Werte mehr oder weniger kontinuierlich an. Die H/D_{ZB} -Werte der 2000er- und besonders der 4000er-Varianten liegen im Vergleich hierzu höher, verlaufen aber flacher beziehungsweise fallen bei der 4000er-Variante aus Baden-Würt-

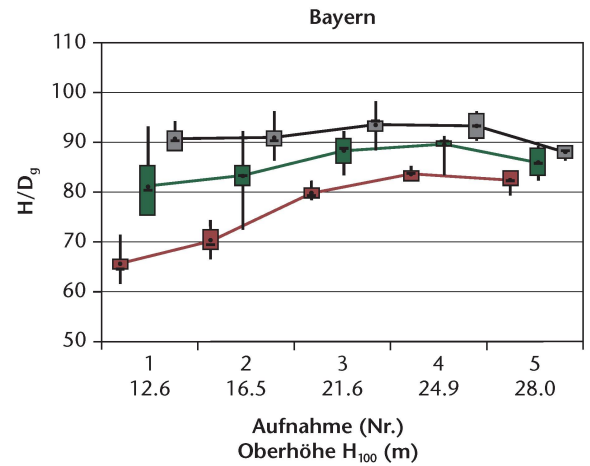
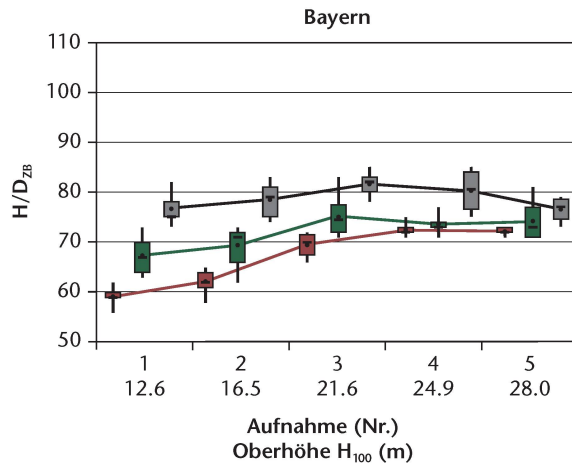
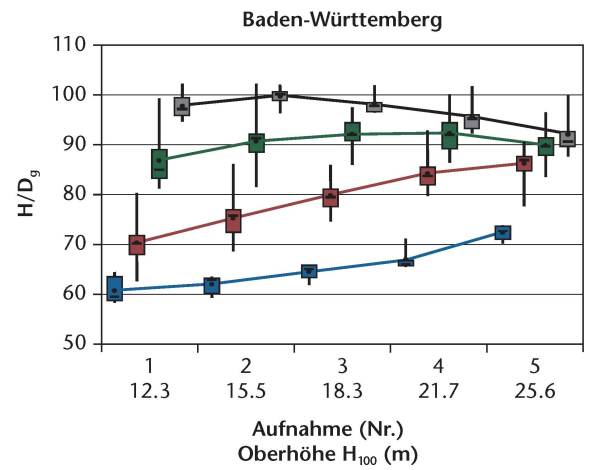
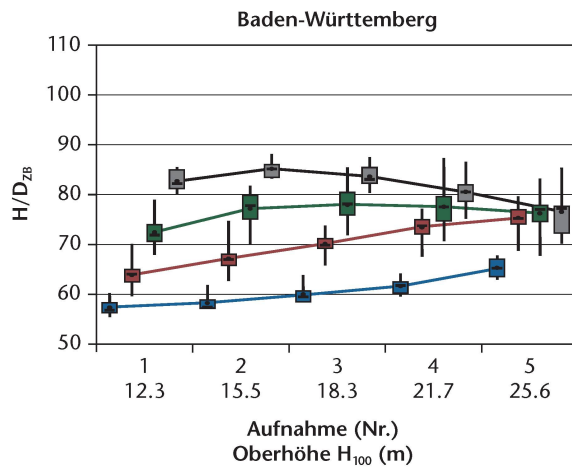


Abb 4 H/D-Entwicklung der Z-Bäume (H/D_{ZB} , links) und des Gesamtbestandes (H/D_g , rechts).

Ausgangsbaumzahl ■ 500 ■ 1000 ■ 2000 ■ 4000 Mittelwert • Median —

temberg nach einer frühen Kulmination sogar stetig ab. Trotzdem liegen zumindest im letzteren Fall bis zu einer Oberhöhe von 20 m die H/D-Werte deutlich über 80.

Die H/D-Werte des Gesamtbestandes steigen bei den ersten Aufnahmen der 4000er-Varianten auf über 100 (Baden-Württemberg) beziehungsweise über 90 (Bayern) und bleiben auch im weiteren Verlauf deutlich oberhalb 80. Da ein Einfluss der Ausgangsbaumzahl auf das Höhenwachstum nicht nachgewiesen werden konnte, geht der Verlauf der H/D-Werte ausschliesslich auf die aus den unterschiedlichen Ausgangsbaumzahlen und Durchforstungseingriffen resultierenden Durchmesserentwicklungen zurück.

Gesamtwuchsleistung an Volumen

Bei der Entwicklung der Gesamtwuchsleistung (GW_{LV}) unterscheiden sich die Ausgleichsfunktionen der 1000er- und 2000er-Varianten nicht signifikant, wie die sich überlappenden Vertrauensintervalle zeigen (Abbildung 5). Die Kurve für die mittlere GW_{LV} der 500er-Variante ist gegenüber allen Varianten deutlich nach unten und bei der 4000er-Variante im Bereich $15 \leq H_{100} \leq 30$ m nach oben abgesetzt – die entsprechenden Vertrauensbereiche sind überschneidungsfrei.

Wertentwicklung

Bei der Nettowertleistung (NWL) liegen die baumzahlarm begründeten Varianten an der Spitze (Abbildung 6). Die 500er-Varianten bewegen sich trotz ungünstigerer Holzqualität und erhöhten Aufarbeitungskosten auf gleichem Niveau wie die 1000er-Varianten. Die NWL der 4000er-Variante wird anfänglich stark durch den Anfall defizitärer Sortimente bestimmt, steigt dann steil an, bleibt jedoch auch gegen Ende der Beobachtungen unter dem Niveau der 2000er-Variante. In diesem Zusammenhang ist darauf hinzuweisen, dass sich die Kalkulationen ausschliesslich auf die NWL aus Holzertrag beziehen. Eine Berücksichtigung der sehr unterschiedlichen Pflanzungskosten würde den Unterschied zugunsten der baumzahlarmen Varianten weiter verstärken. Die Regressionsanalyse ergab einen signifikanten positiven Einfluss der Bonität sowohl auf die GW_{LV} als auch die NWL (nicht dargestellt).

Diskussion und Schlussfolgerungen

Grundflächen-, Durchmesser- und H/D-Entwicklung

Der zu Beginn der Beobachtungen enge Zusammenhang zwischen Durchmesser und Ausgangs-

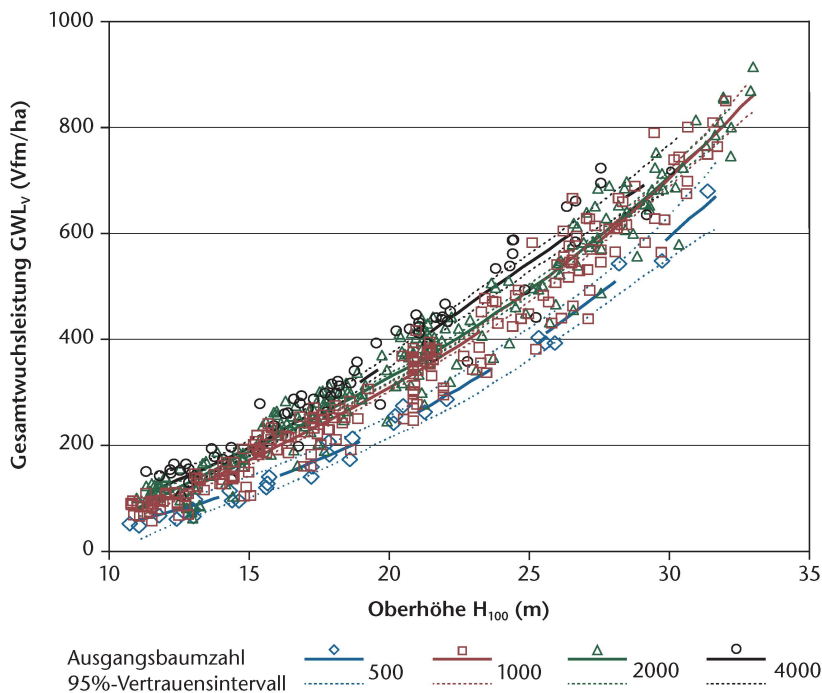


Abb 5 Entwicklung der Gesamtwuchsleistung an Volumen (GWL_V).

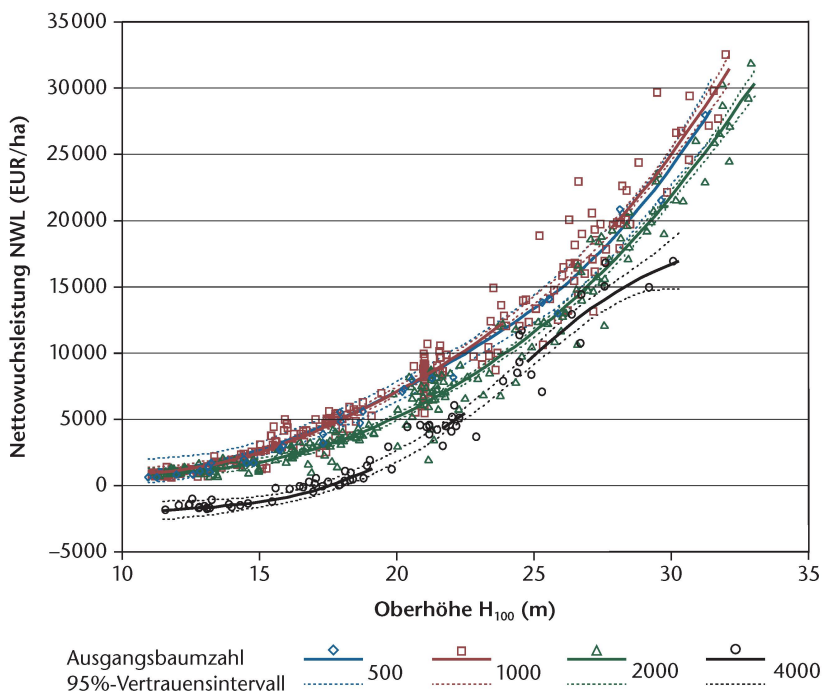


Abb 6 Entwicklung der Nettowertleistung (NWL).

baumzahl wurde bereits in verschiedenen Arbeiten zu dieser Versuchsserie dokumentiert (Spellmann & Nagel 1989, Ehring 1996, Weller 2006) und ist darüber hinaus auch aus Standraumversuchen mit anderen Baumarten bekannt (Schober 1979, Herbstritt et al 2006). Die Tatsache, dass die in den bayerischen Versuchen ermittelten Merkmalswerte signifikant über denen der Versuche in Baden-Württemberg liegen, könnte auf mehrere Ursachen zurückzuführen sein: So starteten die in die Auswertung einbezogenen Felder der bayerischen Versuche baumzahl-

ärmer, da zumindest die 1000er- und 2000er-Varianten zu Versuchsbeginn im unteren Bereich des 20%-Streubandes um die Baumzahlleitkurve liegen. Insbesondere in Verbindung mit der ebenfalls erhöhten GWL_V könnten auch Unterschiede im Ertragsniveau vermutet werden (Assmann 1961, Kramer 1988).

Interessant ist der weitere Verlauf der Durchmesserentwicklung: Der Vergleich der Parzellen der 1000er-Variante mit denen der 2000er- beziehungsweise 4000er-Varianten zeigt über die Versuche aus allen drei Bundesländern hinweg, dass der Vorsprung der 1000er-Variante relativ rasch verloren geht. Der Grund für diese Entwicklung liegt in der Steuerung der Durchforstung nach der Baumzahlleitkurve: Die Bäume auf den beiden baumzahlarm begründeten Varianten hatten standraumbedingt zunächst einen deutlichen Durchmesser Vorsprung. Die steil ansteigende Grundflächenentwicklung der 500er- und 1000er-Varianten lässt aber erkennen, dass dort infolge der spät(er) einsetzenden Durchforstung die Konkurrenz offenkundig stark zunahm, was vor allem bei der 1000er-Variante bereits früh zu einer Beeinträchtigung des Durchmesserzuwachses führte. Bei der 500er-Variante zeichnet sich zeitverzögert eine ähnliche Entwicklung ab, jedoch wirkt sich dort die Konkurrenz infolge der anfangs noch größeren Standräume noch weniger stark aus.

Umgekehrt waren in den baumzahlreicher begründeten Beständen die Konkurrenz zunächst höher und die Durchmesser der herrschenden Bäume geringer. Durch die früher einsetzende Standraumerweiterung wurde dann die Konkurrenz kontinuierlich reduziert, was zu einer Verbesserung des Durchmesserzuwachses führte. Offenkundig kommt es selbst bei anfänglich weiten Standräumen auch bei (vor)herrschenden Bäumen zu konkurrenzbedingten Beeinträchtigungen des Durchmesserzuwachses, wenn nötige Durchforstungen aufgeschoben werden (Weise 1985).

Anhand der H/D-Entwicklung wird deutlich, wie schwierig es bei der Douglasie aufgrund des in der Jugend raschen Höhenwachstums ist, einmal erreichte hohe H/D-Werte während der Durchforstungsphase wieder abzusenken. Trotz den starken Eingriffen und dem raschen Durchforstungsturnus von teilweise nur drei Jahren gelang es bei den Versuchen in Baden-Württemberg bei den 4000er-Varianten erst sehr spät, die H/D-Werte der Z-Bäume auf unter 80 zu senken. Bezogen auf den Gesamtbestand blieb die durch hohe H/D-Werte indizierte statische Instabilität daher sowohl auf den Flächen in Bayern als auch in Baden-Württemberg nahezu unverändert erhalten.

Gesamtwuchsleistung und Nettowertleistung

Die Überlegenheit baumzahlreicher Bestände in der flächenbezogenen Produktivität ist aus zahlreichen Untersuchungen bekannt (z.B. Schober 1979, Herbstritt et al 2006) und wurde auch für die vorlie-

gende Versuchsserie in den Arbeiten von Ehring (1996) und Weller (2006) bereits festgestellt. Die höhere GWL_V führt im Versuch damit nachweislich zu höheren Vornutzungen. Für eine Gesamtbetrachtung sind jedoch neben der GWL_V auch die Stabilität und die Wertleistung relevant. Bezüglich dieser Kriterien zeigen die Versuche in allen drei Bundesländern zumindest zum gegenwärtigen Zeitpunkt übereinstimmend, dass die baumzahlärmer begründeten Varianten die baumzahlreicher begründeten Varianten übertreffen.

Der Mehrzuwachs an Volumen entfällt insbesondere bei den 4000er-Varianten überwiegend auf Sortimente im defizitären Durchmesserbereich. Zu berücksichtigen ist dabei allerdings, dass der relativ hohe Anfall solcher Sortimente durch das Behandlungsprogramm mitbedingt ist. In der Praxis wäre der Anfall defizitärer Sortimente durch eine weniger intensiv geführte Niederdurchforstung möglicherweise geringer. Andererseits ist gerade bei Vollerntereinsatz in baumzahlreichen Beständen auch die Entnahme schwächerer Bäume erforderlich, um dem Sägeaggregat Zugriffsmöglichkeit in das Bestandessinnere zu verschaffen.

Bei den 500er- und 1000er-Varianten steht beim gegenwärtigen Entwicklungsstand der niedrigeren GWL_V wertmässig eine deutlich bessere Sortenstruktur gegenüber. Dabei ist hervorzuheben, dass auch die Berücksichtigung einer für diese Varianten dokumentierten stärkeren Astigkeit (Ehring 1996, Utshig & Moshhammer 1996, Weller 2006) und der damit verbundenen höheren C-Holz-Anteile und Aufarbeitungskosten nichts an der wirtschaftlichen Überlegenheit der baumzahlarmen Varianten ändert.

Zum Verständnis der Wertkalkulationen sei darauf hingewiesen, dass es sich um eine Abschätzung der Wertleistung ausschliesslich aus Holzsertrag handelt. Den Erlösberechnungen liegen dabei mehrjährige Durchschnittspreise (2005–2009) zugrunde, um den Einfluss allfälliger Jahresschwankungen auf das Ergebnis abzuf puffern. Bei den Aufwendungen wurden nur die in der Tabelle 6 dargelegten Aufarbeitungskosten berücksichtigt; die mit zunehmender Ausgangsbaumzahl ansteigenden Kulturkosten sind darin nicht enthalten. Auch blieben die Ästungskosten unberücksichtigt, da die aktuell erreichten Durchmesser eine Vermarktung starken, astfreien Wertholzes noch nicht zulassen. Dementsprechend wurde bei der Erlöskalkulation auch die durch Ästung zu erwartende Qualitätssteigerung nicht berücksichtigt. Stattdessen erfolgte die Gütesortierung der (geästeten) Z-Bäume so, wie sie bei der jeweiligen Variante ohne Ästung zu erwarten gewesen wäre. Sinnvollerweise bleibt die Einbeziehung der Ästungskosten späteren Auswertungen vorbehalten, wenn tatsächlich Wertholzsortimente anfallen und sich alle Aufwendungen und Erträge konkret bilanzieren lassen. Aus denselben Gründen wurde auch von ei-

ner Berücksichtigung der Verzinsung zum jetzigen Zeitpunkt abgesehen.

Waldbauliche Schlussfolgerungen

Aus der Zusammenschau der Wachstums-, Stabilitäts-, Qualitäts- und Ertragsaspekte des koordinierten Standraumversuches lassen sich folgende waldbaulichen Empfehlungen für die Behandlung von Douglasienbeständen ableiten: Wirtschaftlich gesehen ist die Douglasie im Hinblick auf die Ausgangsbaumzahl eine sehr flexible Baumart. Bereits mit gesicherten Pflanzungen mit nur 500 Douglasien je Hektar lassen sich gute wirtschaftliche Ergebnisse erzielen. Zwar führen solch niedrige Pflanzdichten zu Einschränkungen in der Gesamtwachstumleistung und der Holzqualität, aber insbesondere für technisch nicht befahrbare Lagen können sie eine wirtschaftlich sinnvolle Überlegung darstellen. Insgesamt erzielten die 1000er-Varianten bei den Wertberechnungen das beste wirtschaftliche Ergebnis. Die Kalkulationen der 2000er-Varianten schneiden jedoch nicht wesentlich schlechter ab, sodass sich der Optimalbereich bei entsprechender Nachfrage- und Preissituation vor allem im Industrie- und Energieholzbereich in diese Richtung verschieben kann. Einer weiteren Erhöhung der Ausgangsbaumzahlen dürften jedoch vor allem die damit verbundenen höheren Kulturkosten enge Grenzen setzen.

Prinzipiell gelten die aus dem koordinierten Standraumversuch abzuleitenden Erkenntnisse nur für Reinbestände, jedoch steht einer sinn gemässen Übertragung auf gruppen- bis horstweise eingebrachte Douglasienanteile in Mischbeständen nichts entgegen.

Eingereicht: 29. Juli 2011, akzeptiert (mit Review): 1. Dezember 2011

Literatur

- ABETZ P (1971) Douglasien-Standraumversuche. Allg Forst Z Waldwirtsch Umweltvorsorge 26: 448–449.
- ABETZ P (1976) Beiträge zum Baumwachstum. Der h/d-Wert – mehr als ein Schlankheitsgrad. Forst- Holzwirt 31: 389–393.
- ASSMANN E (1961) Waldertragskunde. München: Bayerischer Landwirtschafts Verlag. 491 p.
- BÖSCH B (2002) Neue Bonitierungs- und Zuwachshilfen. In: FVA. Wissenstransfer in Praxis und Gesellschaft. Freiburg i.Br.: Forstliche Versuchs- Forschungsanstalt Baden-Württemberg, Schriftenreihe Freiburger Forstliche Forschung 18. pp. 266–276.
- EHRLING A (1996) Pflanzverbände und Durchforstungsergebnisse bei Douglasienbeständen. Agrarforschung Baden-Württemberg 26: 281–288.
- EHRLING A (2005) Der Douglasien-Standraumversuch. In: Bauhaus J, Csapek G. Beiträge zur Tagung 2004 der Sektion Waldbau des deutschen Verbands forstlicher Versuchsanstalten. Freiburg i.Br.: Forstliche Versuchs- Forschungsanstalt Baden-Württemberg, Ber Freiburger Forstliche Forschung 60. pp. 27–35.

- HERBSTRIIT S, KOHNLE U, ABETZ P, KENK G (2006) The European stem number experiment in Norway Spruce (*Picea abies* [L.] Karst.). 3rd Report. Freiburg i.Br.: Forstliche Versuchs- Forschungsanstalt Baden-Württemberg, Ber Freiburger forstliche Forschung 66. 132 p.
- KENK G (1981) Auswirkungen von Douglasien-Pflanzverbänden auf Aststärken und Vornutzung sowie Überlegungen zur Ästungshöhe. Allg Forst- Jagdztg 152: 168–180.
- KENK G, WEISE U (1983) Erste Ergebnisse von Douglasien-Pflanzverbandsversuchen in Baden-Württemberg. Anwuchserfolg und Entwicklung der Kulturen bis zum Alter 11. Allg Forst- Jagdztg 154: 41–55.
- KENK G, HRADETZKY J (1984) Behandlung und Wachstum der Douglasien in Baden-Württemberg. Mitt Forstl Vers-Forsch.anst Baden-Württ 113. 89 p.
- KOHNLE U, EHRING A (2008) Stand des koordinierten Douglasien-Standraumversuchs in Baden-Württemberg. Freising: Bayer Landesanstalt Wald Forstwirtschaft, LWF Wissen 59: 49–56.
- KRAMER H (1988) Waldwachstumslehre. Hamburg: Paul Parey. 374 p.
- KUBLIN E, KLÄDTKE J, HERBSTRIIT S (2009) Glättende Splines im Kontext von linearen Regressionsmodellen mit zufälligen Effekten – Analyse von Wachstumsverläufen. In: Römisch K, Wunn U, editors. Tagungsbericht der Sektion Forstliche Biometrie und Informatik. Trippstadt: Forschungsanstalt Waldökologie Forstwirtschaft Rheinland-Pfalz. pp. 77–96.
- KUBLIN E, KLÄDTKE J, HERBSTRIIT S (2010) Nichtparametrische Analyse des Höhenwachstums von Japanlärchen mit glättenden und penalisierten Splines – Methodische Aspekte. Allg Forst- Jagdztg 181: 143–155.
- MERKEL O (1975) Schneebruch im Fichtenbestand bei 40-jähriger Auslesedurchforstung. Allg Forst Z Waldwirtsch Umweltvorsorge 30: 663–664.
- SCHOBER R (1979) Massen-, Sorten- und Wertertrag der Fichte bei verschiedener Durchforstung. Allg Forst- Jagdztg 150: 129–152, 174–183.
- SCHÖPFER W, AVE MARK W, STÖHR D (1996) Sorten-, Erlös- und Kostenkalkulation in der Holzernte – eine PC-gestützte Entscheidungshilfe in der Holzernte. Forst Holz 51: 457–461.
- SPELLMANN H, NAGEL J (1989) Zum Einfluss von Ausgangsbaumzahl und Pflanzverband auf die Jugendentwicklung von Douglasienbeständen. Forst Holz 17: 155–159.
- UTSCHIG H, MOSHAMMER R (1996) Der koordinierte Douglasien-Standraumversuch, Auswertung der bayerischen Flächen. www.wkk.forst.tu-muenchen.de/info/publications/OnlinePublications/419.pdf (30.11.2011).
- WEISE U (1985) Hinausschieben der Durchforstungen von Douglasienbeständen. Ein Weg aus der Schwachholzmisere? Allg Forst Z Waldwirtsch Umweltvorsorge 40: 570–573.
- WELLER A (2006) Abschliessende Auswertung des Douglasien-Standraumversuchs Hagenbach. www.nw-fva.de/~nagel/SektionErtragskunde/band2006/Tag2006_inhalt_cd.pdf (1.12.2011).

Wachstum und Wertleistung der Douglasie in Abhängigkeit von der Standraumgestaltung

Gegenstand der Untersuchung sind die Auswirkungen von Ausgangsbaumzahl und Durchforstung auf Wachstum und Wertleistung von Douglasienbeständen. Datenbasis ist ein vor 40 Jahren in Baden-Württemberg, Bayern und Rheinland-Pfalz angelegter Standraumversuch mit Ausgangsbaumzahlen von 500, 1000, 2000 und 4000 Douglasien je ha und einheitlichem Behandlungsprogramm. Die Ergebnisse zeigen, dass bei niedriger Ausgangsbaumzahl der BHD der herrschenden Bäume beziehungsweise Z-Bäume zu Beobachtungsbeginn (bei 12 m Oberhöhe) grösser ist als bei höheren Ausgangsbaumzahlen. Dementsprechend liegt der H/D-Wert (als Weiser für die Schaftstabilität) tiefer. Die weitere Entwicklung von BHD und H/D wird entscheidend durch die Bestandesbehandlung bestimmt, die den Effekt der Ausgangsbaumzahl überlagert. Auch die Volumenleistung zeigt eine klare Staffe-lung. Die Varianten mit hoher Ausgangsbaumzahl liegen hier an der Spitze. Bei monetärer Betrachtung kehrt sich diese Reihung um: Die Varianten mit niedriger Ausgangsbaumzahl übertreffen beim Wert aus Holzerträgen klar die Varianten, die baumzahlreich begründet wurden. Aus dem Versuch lassen sich folgende waldbaulichen Empfehlungen ableiten: Die Ausgangsbaumzahl sollte im Bereich von 1000 bis 2000 Pflanzen je ha liegen. In technisch nicht befahrbaren Lagen oder in Naturverjüngungen mit anderen Baumarten können auch niedrigere Ausgangsbaumzahlen infrage kommen. Die starke Abhängigkeit der Durchmesser- und H/D-Entwicklung von der Bestandesbehandlung verdeutlicht die Problematik des Aufschiebens von Durchforstungen, weil dies selbst bei konkurrenz-mässig zunächst günstigen Ausgangsbedingungen zu Zuwachs- und Stabilitätsverlusten führt.

La croissance et la production de valeur du douglas selon l'espacement

L'investigation se concentre sur les effets du nombre d'arbres initiaux et l'éclaircie sur la croissance et la performance de valeur du douglas. La donnée de base est une expérience d'espacement avec des douglas, commencée avant 40 ans, avec des essais dans le Bade-Wurtemberg, la Bavière et la Rhénanie-Palatinat. Les expériences sont basées sur des variantes du nombre d'arbres avec 500, 1000, 2000 et 4000 douglas par hectare. Le traitement a été effectué selon un programme d'expérimentation standardisé. Les résultats montrent que, à nombre initial des plantes bas, le diamètre des arbres (pré) dominants et des arbres d'avenir est initialement supérieur que pour un nombre initial plus élevé. En conséquence, le rapport entre la hauteur et le diamètre (H/D, comme un indicateur de stabilité) est plus bas. Les développements de diamètre et de H/D sont déterminés en grande partie par les éclaircies, qui se superposent à l'effet du nombre initial des plantes. En outre, la croissance du volume montre une différenciation claire: les variantes avec un nombre initial de plantes élevé sont supérieures. Dans l'analyse monétaire, ce classement est inversé: malgré une qualité de bois supposée inférieure, les variantes avec un nombre de plants initialement bas surpassent clairement les plus élevées en termes de valeur. De ces résultats, les recommandations sylvicoles suivantes pour le douglas peuvent être dérivées: le nombre d'arbres initial devrait être de l'ordre de 1000 à 2000 plants par hectare. Sur des sites techniquement pas accessibles ou dans les rajeunissements naturels, aussi moins d'arbres peuvent être pris en considération. La forte influence du traitement sur le développement du diamètre et H/D met en évidence le problème des éclaircies reportées, car cela entraîne des pertes de croissance et de stabilité.