

Waldbau mit Douglasie in Deutschland und in Frankreich

Ulrich Kohnle^{1,*}, Joachim Klädtke¹, Bruno Chopard²

¹Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg (DE)

²Office National des Forêts (FR)

Abstract

Der erwartete Klimawandel macht die Douglasie (*Pseudotsuga menziesii* [Mirb.] Franco) zu einer vielversprechenden Option für die Waldbewirtschaftung in Mitteleuropa. Die Art ist resistenter gegenüber Trockenheit als zum Beispiel die Fichte, wächst sehr gut und liefert wertvolles Sägeholz mit überlegenen technischen Holzeigenschaften. Die über ein Jahrhundert vor allem in Frankreich und in Deutschland gesammelte Erfahrung in Forschung und Praxis hat substanzielles, evidenzbasiertes waldbauliches Wissen zur Bewirtschaftung der Douglasie in Europa geschaffen. Der Artikel hat zum Ziel, die wichtigsten Aspekte darzustellen. Während die mit relativ hohen Kosten verbundene Pflanzung bislang die gebräuchlichste Begründungstechnik in Europa war, wird das offensichtliche Potenzial der natürlichen Verjüngung mit grosser Wahrscheinlichkeit an Bedeutung gewinnen. Allerdings wird die Wurzelentwicklung junger Bäume sowohl durch Überschirmung als auch durch seitliche Konkurrenz negativ beeinflusst. Wenn die Douglasie unter Schirm verjüngt werden soll, muss die Dauer der Überschirmung kurz gehalten und die seitlichen Konkurrenten frühzeitig und entschlossen entfernt werden. Das Durchmesserwachstum lässt sich durch geeignete Pflanzabstände, Durchforstung und die Wahl der Produktionszeiträume gezielt steuern. Die Holzqualität kann durch die Auswahl von Z-Bäumen und eine Ästung verbessert werden. Um den Anteil an qualitativ minderwertigen schwachen Sortimenten klein zu halten, kann ein längerer Produktionszeitraum in Verbindung mit grösserem Zieldurchmesser als Bewirtschaftungsoption in Betracht gezogen werden. Allerdings sind längere Produktionszeiträume ausnahmslos mit höheren Risiken verbunden, insbesondere nimmt das Sturmschadenrisiko mit der Baumhöhe progressiv zu. Im Zusammenhang mit dem Risikomanagement und der Integration der nicht einheimischen Douglasie in naturnahe Bewirtschaftungssysteme sind die Begründung und die Bewirtschaftung von Mischbeständen von grosser Bedeutung.

Keywords: Douglas-fir, *Pseudotsuga menziesii*, Europe, silviculture, management strategies

doi: 10.3188/szf.2021.0066

* Wonnhaldestrasse 4, DE-79100 Freiburg, E-Mail ulrich.kohnle@forst.bwl.de

In Europa war die Douglasie (*Pseudotsuga menziesii* [Mirb.] Franco) bis Ende des 18. Jahrhunderts unbekannt. Der schottische Schiffsarzt Archibald Menzies entdeckte sie 1792 an der Westküste Kanadas und brachte ein Exemplar mit nach England. 1827 gelangten die ersten Samen nach Europa. Der schottische Botaniker David Douglas führte sie nach Grossbritannien ein, wo ein Jahr später in Scone Palace, Perthshire/Schottland, auch der erste Anbau erfolgte (van Loo 2019).

Nach Frankreich kamen die ersten Douglasien wohl zwischen 1828 und 1842. Für Deutschland sind die Daten exakt bekannt: 1831 wurden die ersten Douglasien in einem Arboretum bei Klein-Flottbeck gepflanzt; die erstmalige Begründung eines Bestan-

des erfolgte 1875 im Bismarckschen Sachsenwald nahe Hamburg. Tatsächlich wurden Douglasien an der Wende des 19. zum 20. Jahrhundert europaweit in Wälder eingeführt. Einen deutlichen Auftrieb erhielt der Anbau in Deutschland nach 1880, als die Versammlung des Vereins der Deutschen Forstlichen Versuchsanstalten einen verstärkten Fremdländereinstaub in das Arbeitsprogramm aufnahm; wesentlichen Anteil an dieser Initiative hatte John Booth, der Besitzer einer Klein-Flottbecker Samenfirma (z.B. in Dankelmann 1884, Lorey 1899, Wimmer 1909, Kenk & Thren 1984a). Die ersten Versuchsanbauten verliefen recht erfolgreich. Als Glücksfall erwies sich, dass bei dieser ersten «Douglasienwelle» auf schottische Erntebestände zurückgegriffen wurde, deren

Mutterbäume aus der Nähe Portlands, Oregon/USA stammten. Ohne Kenntnis der Herkunftsproblematik hatte man besonders gut geeignete Herkünfte der Küstenform (*P. menziesii* var. *menziesii*) verwendet.

In Süddeutschland empfahl die württembergische Staatsforstverwaltung zwar 1922 und 1930 ausdrücklich, die Nachzucht der Douglasie auf die Küstenform zu beschränken. Trotzdem verwendeten in der Zeit nach dem Ersten Weltkrieg zahlreiche Forstämter «sicherheitshalber» Inlandherkünfte (*P. menziesii* var. *glauca*) aus Hochlagen. Von ihnen versprach man sich mehr Sicherheit, wohl insbesondere hinsichtlich der Frostgefährdung. Tatsächlich trat jedoch das Gegenteil ein, denn die Inlandherkünfte erwiesen sich als ausserordentlich anfällig für Infektionen durch die Rostige Douglasenschütte (*Rhabdocline pseudotsugae* Syd. [1922]; Merkle 1950/1951, Stephan 1973). Der bei Inlandherkünften in der Regel einjährige und tödliche Krankheitsverlauf führte ab 1934 zu einem drastischen Einschnitt im Douglasienanbau: Die Badische Staatsforstverwaltung warnte 1937 vor einem weiteren Douglasienanbau; die Württembergische Staatsforstverwaltung erliess 1940 gar ein Anbauverbot für Douglasien und ordnete die Vernichtung allen Pflanzschulmaterials an (vgl. Kenk & Thren 1984a).

Aus der Aufklärung der Zusammenhänge zwischen der Schütteanfälligkeit der Douglasie und ihrem Herkunftsgebiet wurden Konsequenzen gezogen: Seit dem Zweiten Weltkrieg werden in Deutschland nahezu ausschliesslich die gegenüber Rostiger Douglasienschütte resistenten Küstenformen angebaut (Merkle 1950/1951, Stephan 1981). Zwar werden diese ebenfalls von einer Schütte, der

Russigen Douglasienschütte (*Phaeocryptopus gaeumannii* (T.Rohde) Petrak (1938); Syn. Schweizer Douglasienschütte), befallen, aber der mehrjährige Krankheitsverlauf endet im Gegensatz zur «Rostigen» selten tödlich. Allerdings kann ein starker Befall trotzdem zu erheblichen Zuwachsverlusten und Vitalitätseinbussen führen (Merkle 1950/1951, Butin 1983, Keller et al 2016).

Während zu Beginn der Anbaugeschichte in Europa die ausserordentliche Wuchskraft der Douglasie im Vordergrund stand, rücken in jüngerer Vergangenheit zunehmend auch die guten technischen Holzeigenschaften (Henin et al 2019) und die im Zusammenhang mit der enormen Wuchseistung gegebene hohe Kohlenstoffbindekazapazität der Baumart (Bastien 2019) in den Fokus des Interesses. Auch im Zusammenhang mit Fragen nach der Zukunftsfähigkeit von Baumarten im Klimawandel wird die Douglasie in Mitteleuropa gerne ins Gespräch gebracht. Ausgehend von den bisherigen Anbauerfahrungen in Europa und dem Klima des natürlichen Verbreitungsgebietes, das auch im Bereich der Küstenform durch zwei bis drei sommertrockene Monate charakterisiert wird, bietet sich die Baumart als anpassungsfähige Option an (Spiecker et al 2019).

Vorteilhaft ist in diesem Zusammenhang auch, dass zum waldbaulichen Umgang mit dieser Baumart in Mitteleuropa ein solider Wissensfundus vorliegt, der dem zu heimischen Hauptbaumarten im Prinzip in nichts nachsteht. Die Basis dafür bilden umfangreiche Untersuchungen und seit über 100 Jahren gesammelte praktische Anbauerfahrungen insbesondere in Frankreich und in Deutschland. Dieser Artikel, der in weiten Teilen einer Übersetzung des Artikels «Management of Douglas-fir» von Kohnle et al (2019) entspricht, stellt einen Versuch dar, die für einen erfolgreichen Douglasienanbau wesentlichen Gesichtspunkte zusammenzufassen. Neben veröffentlichten wissenschaftlichen Untersuchungen werden hierzu auch Erfahrungen aus der forstlichen Praxis herangezogen, die nach Ansicht der Autoren als gesichert gelten können. Ausserdem erfolgen, beschränkt auf wenige Stellen, Ergänzungen durch eigene, noch nicht veröffentlichte neue Befunde.

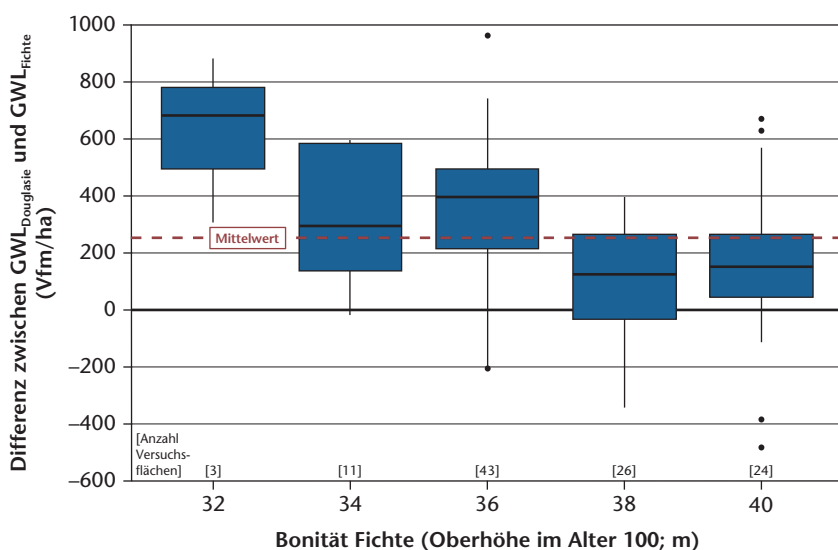


Abb 1 Unterschiede in der Gesamtwuchsleistung (GWL; Vfm/ha) zwischen benachbarten Douglasien- und Fichtenversuchsflächen in Südwestdeutschland. Die Unterschiede sind entlang eines Gradienten von fünf Fichtenbonitätsklassen dargestellt. Die Vergleichsmethodik ist in Klädtke (2016) beschrieben; es handelt sich um orientierende Bonitätsvergleiche +/- nahegelegener Fichten- und Douglasienversuche. Für die Abbildung wurden die in der Veröffentlichung aufgeführten Wachstumsdaten neu analysiert (verändert nach Kohnle et al 2019).

Wuchspotenzial

Eines der auffälligsten Merkmale der Douglasie ist das enorme Wuchspotenzial. In Mitteleuropa zählt sie zu den produktivsten Nadelbäumen. Sie kommt in Frankreich auf knapp 400 000 ha vor bei einem mittleren jährlichen Zuwachs von 14.8 m³/ha (IGN 2016); in Deutschland auf über 250 000 ha mit 18.9 m³/ha Zuwachs pro Jahr (BWI 2012¹). Damit ist

¹ Dritte Bundeswaldinventur 2012; <https://bwi.info/> (10.9.2020)

die Douglasie wüchsiger als die Fichte (Frankreich 13.2 m³/ha und Jahr; Deutschland 15.3 m³/ha und Jahr); verbunden ist dies mit einem gegenüber heimischen Nadelbaumarten wie Fichte, Tanne oder Kiefer deutlich höheren ertragswirtschaftlichen Potenzial (Knook & Hanewinkel 2019).

Dabei ist durchaus vorstellbar, dass die Amplitude potenziell anbaueigneter Areale grösser als das derzeit waldbaulich genutzte Spektrum ist (Schuler & Chakraborty 2021, dieses Heft). Hinsichtlich ihrer langfristigen bioklimatischen Anpassungsfähigkeit sind zwar noch Fragen offen (Chaumet 2017), es ist jedoch davon auszugehen, dass die Möglichkeiten für den Douglasienanbau weiter in trockenere und/oder wärmere Bereiche reichen als bei der Fichte oder der Tanne. Die Douglasie wird daher im Rahmen der anhaltenden Klimaerwärmung verstärkt als mögliche Alternative zu diesen Baumarten aufgefasst (Vitali et al 2017, Spiecker et al 2019).

Die Erfahrungen mit dem derzeitigen Anbauspektrum zeigen, dass sich eine Vielzahl der für die Fichte (bisher) geeigneten Standorte auch gut für den Anbau produktiver und stabiler Bestände unter massgeblicher Beteiligung der Douglasie eignet. Das Wuchspotenzial der Douglasie liegt in beiden Ländern generell über dem von Fichte. Die Wuchsrelation ist jedoch keine Konstante. Beobachtungen in Frankreich (Berthelot et al 2014) und orientierende Versuchsflächenvergleiche in Südwestdeutschland (Abbildung 1; Kohnle et al 2019) deuten darauf hin, dass die Überlegenheit der Douglasie mit zunehmender Standortqualität abnimmt. Diese Hinweise be-

dürfen allerdings noch einer Verifikation auf solider Datenbasis.

Um das Wuchspotenzial der Douglasie optimal nutzen zu können, muss man

- ein geeignetes Produktionsziel (v.a. Durchmesser und Qualität) wählen,
- standortgerechte, gesunde und wüchsige (Misch-)Bestände begründen und
- sich für ein zielorientiertes Waldbauregime entscheiden, das auf die Optimierung der Aspekte Durchmesserwachstum, Holzqualität und Risiken (z.B. durch Sturm) abstellt.

Bestandesbegründung

Naturverjüngung

In Europa wird die Douglasie derzeit überwiegend gepflanzt, allerdings nimmt die Bedeutung von Naturverjüngung zu. Vor allem Praxiserfahrungen aus Frankreich zeigen, dass es unter den meisten Standortbedingungen (insbesondere auf sauren, sandigen Böden ohne Stauhazone) ein Leichtes ist, Naturverjüngung im Zuge progressiver Verjüngungshiebe zu generieren (Angelier et al 2004, Angelier 2007). Wird der überschirmende Hauptbestand rasch genutzt, kann sich die Naturverjüngung bereits nach kurzer Zeit unter Verhältnissen entwickeln, wie sie im nordamerikanischen Verbreitungsgebiet typisch sind, wo Naturverjüngung üblicherweise auf Kahlflächen wächst. Da sich bei der Douglasie starke Konkurrenz ausgesprochen nachteilig auf Wachstum und Stabilität auswirkt (Abbildung 2), ist es in sehr baumzahlreichen Naturverjüngungen dringend nötig, die Dichte im Wege der Jungbestandspflege auf etwa 2000 Pflanzen/ha zu reduzieren, ähnlich wie bei der Fichte (Albrecht et al 2017).

Interessanterweise kommt es in Europa nicht selten vor, dass sich unter dem Schirm des Hauptbestandes sukzessive Douglasien naturverjüngung einstellt. Dies scheint auf den ersten Blick ein guter Ansatzpunkt für eine Bewirtschaftung der Baumart im Dauerwaldbetrieb zu bieten. Allerdings zeigen neuere Untersuchungen, dass sich zwar der Spross auch unter Schirm durchaus befriedigend zu entwickeln vermag, solange ausreichend Licht vorhanden ist (Grundfläche des Douglasien-Hauptbestandes i.d.R. unter 30 m²/ha; Angelier 2007, Petit & Claessens 2013). Längere Überschirmungsphasen wirken sich aber negativ auf die Wurzelentwicklung und die Verankerungsfestigkeit der Pflanzen aus (Kühne et al 2011, Briggs et al 2012, Kühne et al 2015, Ruge et al 2019; Abbildung 2).

Aus waldbaulicher Sicht gibt es damit zwar keinen vernünftigen Grund, sich das Verjüngungspotenzial von Douglasie unter Schirm nicht nutzbar zu machen. Allerdings ist dringend anzuraten, die Überschirmungsphase unter Abwägung mit der

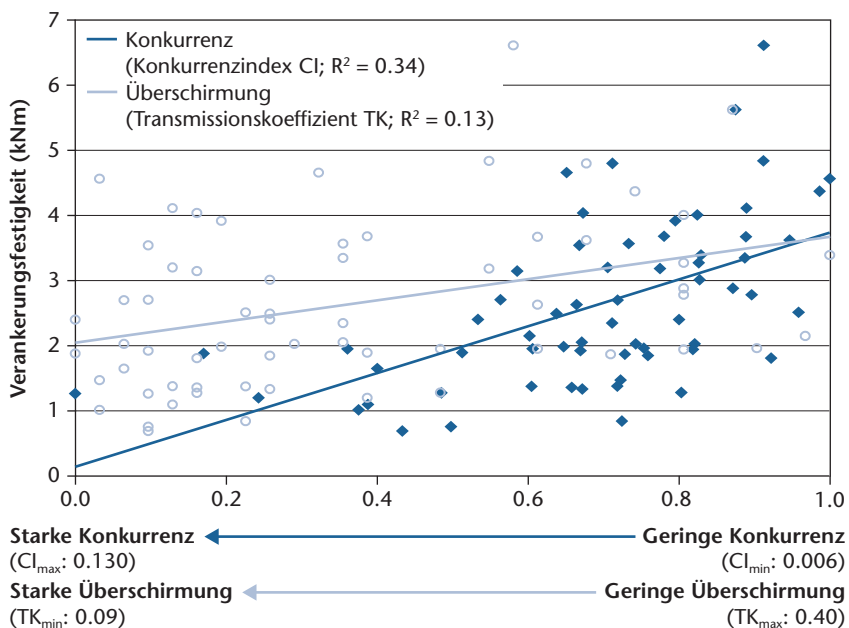


Abb 2 Auswirkung von Konkurrenz durch Nachbarbäume bzw. von Überschirmung auf die Festigkeit der Wurzelverankerung verjüngter Douglasien. Die Werte des als Konkurrenzindex (CI) gemessenen Einflusses von Konkurrenten bzw. des als Transmissionskoeffizient (TK) gemessenen Einflusses der Überschirmung wurden auf einen Bereich von 0 bis 1 standardisiert. Dabei entspricht jeweils der Indexwert CI bzw. TK, der den geringsten Einflussgrad repräsentiert, dem Wert 0, der Indexwert mit dem stärksten Einfluss dem Wert 1 (verändert nach Ruge et al 2019).

Wertentwicklung des Hauptbestands so kurz wie möglich zu halten.

Pflanzung

Der Erfolg einer Douglasienpflanzung hängt vor allem von der Grösse der Pflanzungsfläche, der Wahl geeigneter Herkünfte sowie der Qualität der Pflanzen und der Pflanztechnik ab.

Grösse der Pflanzungsfläche

Im natürlichen Verbreitungsgebiet in Nordamerika verjüngt sich die Douglasie im Regelfall auf grossen Freiflächen, wie sie entweder nach Kalamitäten (z.B. Feuer) oder Kahlschlag entstehen. Im europäischen Anbauggebiet haben sich dagegen grosse Freiflächen in der Praxis für Kulturen als suboptimal herausgestellt. Hier leiden frisch gepflanzte Douglasien oft stark unter sommerlicher Trockenheit oder winterlicher Frosttrocknis. Kritisch wird es bei gefrorenem Boden, wenn die Pflanzen infolge relativ warmer Luft zu transpirieren beginnen. Besser gedeihen daher Kulturen im Randbereich höherer Bestände, wo die jungen Pflanzen zum einen keiner Konkurrenz durch Übershirmung ausgesetzt sind und zum anderen noch den Seitenschutz des angrenzenden Bestandes geniessen.

Auch bei Anreicherung von Laubbaum-Naturverjüngungen mit Douglasien muss darauf geachtet werden, dass die (schirmfreien) Lücken, in die die Douglasien gepflanzt werden, ausreichend gross sind. Eine Praxisuntersuchung hat gezeigt, dass dafür Lücken von rund 0.1 ha Grösse noch deutlich zu klein sind; die Mindestgrösse sollte deutlich oberhalb dieses Wertes liegen (Kohnle 2019). Gutachtlich geschätzt sollten es bei der Halblichtbaumart Douglasie schon Lücken von 0.3 ha sein.

Herkunft

Im weiträumigen natürlichen Verbreitungsgebiet differenziert sich der Genpool der Douglasie in eine Vielzahl standortangepasster Provenienzen. Der Wahl einer für die Umweltbedingungen des Pflanzortes geeigneten Herkunft kommt daher grosse Bedeutung zu. Dabei ist von grundlegender Bedeutung, ob das Vermehrungsgut aus dem Bereich der Küstenform, der Inlandform oder dem Übergangsbereich der beiden Formen stammt. Für West- und Mitteleuropa gilt, dass Herkünfte grundsätzlich aus dem Bereich der Küstenform stammen und solche aus dem Bereich der Inlandform prinzipiell ausgeschlossen werden sollten (Stephan 1973, Stephan 1981).

Aus vielen Versuchen ist belegt, dass sich Douglasienherkünfte sowohl genotypisch als auch phänotypisch unterscheiden. In Regionen, in denen aus Anbauversuchen die provenienzspezifischen Unterschiede hinsichtlich Wuchsgeschwindigkeit und phänotypischem Erscheinungsbild (Stammform, Äs-

tigkeit) bekannt sind, ist es daher ratsam, den daraus abgeleiteten Empfehlungen zu geeigneten Herkünften zu folgen (z.B. Bastien et al 2013). Wo keine solchen Herkunftsempfehlungen vorliegen, muss aber noch lange nicht auf Douglasienanbau verzichtet werden. Denn solange man den richtigen Formenkreis wählt (i.d.R. die Küstenform), besteht eigentlich kein Risiko, dass man eine grundsätzlich ungeeignete Herkunft verwenden könnte.

So zeigen langfristig beobachtete Versuche mit Herkünften aus einem beachtlichen geografischen Bereich von Küsten- bis Übergangsformen (Kohnle et al 2012, Jansen et al 2013, Šeho & Kohnle 2014, Neophytou et al 2016), dass sich anfänglich signifikante Unterschiede im (Höhen-)Wachstum (Kenk & Thren 1984a, b) im Verlauf von rund fünf Jahrzehnten Beobachtungsdauer weitgehend verloren haben. Zudem erwies sich die Rangfolge der Provenienzen nach der Wachstumsgeschwindigkeit entlang eines Höhengradienten als ziemlich inkonsistent und für Prognosen wenig geeignet. Hinsichtlich verwe-
Douglasie
Downloaded from <http://enr.ianpubs.wiley.com/doi/10.1111/for.12212> by guest on 17 September 2023

terungsrelevanter Merkmale (z.B. Schaftform, Rindenstärke, Astabgangswinkel, Kernholzanteil) liessen sich zwar statistisch signifikante Unterschiede nachweisen. Allerdings waren die Unterschiede so gering, dass sie nach fünf Jahrzehnten trotz statistischer Signifikanz nahezu ohne ökonomische Relevanz waren. Im Zusammenhang mit dem Klimawandel kann zudem davon ausgegangen werden, dass im Prinzip alle Herkünfte aus dem Bereich der Küstenform in der Lage sind, sommerliche Trockenperioden zu tolerieren. Tatsächlich sind nämlich für den grössten Teil des Verbreitungsgebiets der Küstenform, den «Douglas-fir proper» (McArdle et al 1961), alljährlich auftretende, mehrwöchige Sommertrockenheiten typisch.

Pflanzgut

Qualitativ hochwertiges Pflanzenmaterial und der Einsatz an Standort und Pflanze angepasster Pflanztechniken sind entscheidende Voraussetzungen für eine erfolgreiche Kultur. Praxiserfahrungen weisen darauf hin, dass bei der Douglasie die Frische des Pflanzmaterials ein besonders kritischer Faktor ist. Die Pflanzen sollten daher möglichst rasch nach dem Ausheben wieder gesetzt werden. Douglasien werden durch längere Lagerungsperioden stärker beeinträchtigt als andere Baumarten. Zwar bieten Containerpflanzen im Vergleich zu wurzelnackten Pflanzen diesbezüglich gewisse Vorteile. Die Notwendigkeit, möglichst frisches Pflanzmaterial zu verwenden, bleibt jedoch im Grundsatz bestehen.

Eine weitere Anforderung sind gut gestufte Pflanzen mit einem ausgewogenen Spross-Wurzel-Verhältnis. Es ist davon auszugehen, dass sich durch übermässige Düngergabe in die Höhe getriebene oder unter übermässigem Konkurrenzdruck in zu dicht besetzten Pflanzbeeten angezogene Pflanzen

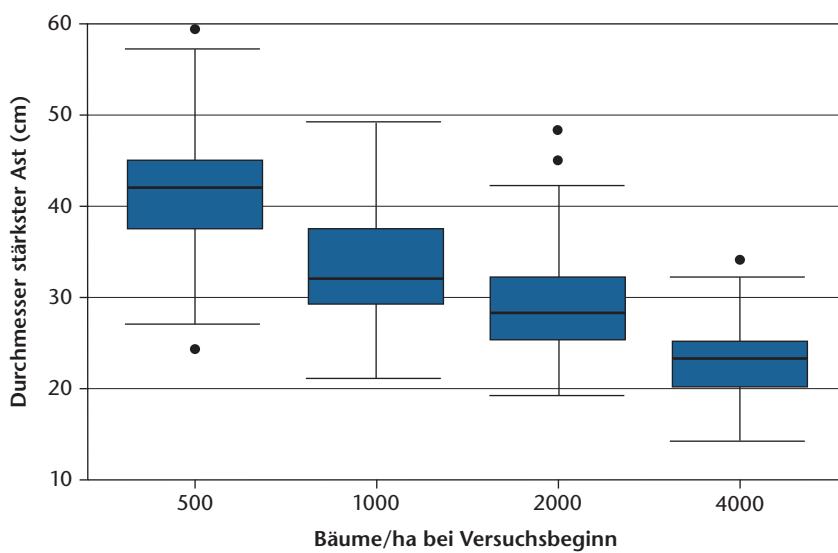


Abb 3 Zusammenhang zwischen Pflanzdichte und Astdurchmesser in Douglasienbeständen. Der stärkste Ast wurde im Quirl bei +/- 5 m Stammhöhe des Kollektivs der rund 150 Z-Bäume/ha gemessen. Die Bestände waren mit 500 bis 4000 Douglasien/ha gepflanzt worden (Versuchsbeschreibung in Klädtke et al 2012; Ergebnisse aus Brodersen 2016).

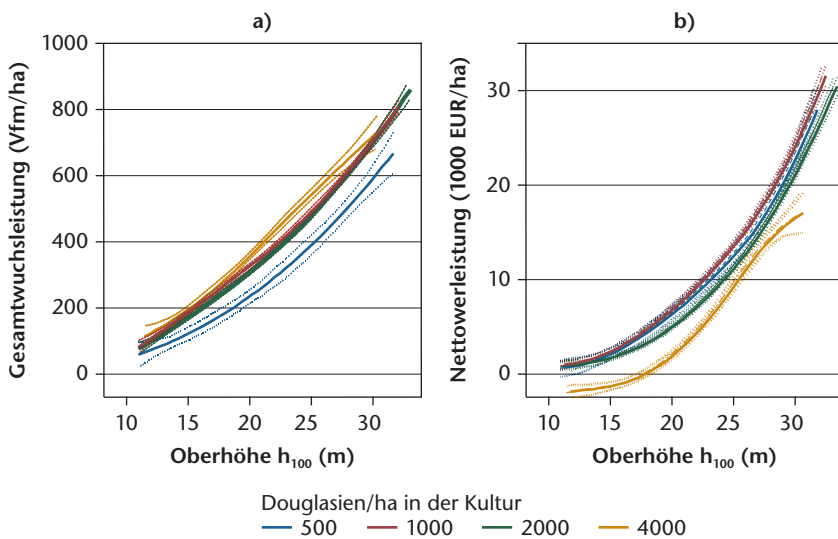


Abb 4 Gesamtwuchsleistung an Volumen (a) und Nettowertleistung durch Stammholzproduktion (b) in Douglasienbeständen, die mit unterschiedlichen Ausgangsbaumzahlen gepflanzt wurden (Vertrauensbereich in gestrichelten Linien). In der Nettowertleistung sind die Kosten für Pflanzen und Pflanzung nicht berücksichtigt. Auch wurde kein Kalkulationszins veranschlagt (aus Klädtke et al 2012, verändert).

nach dem Setzen am neuen Standort erheblich schwerer etablieren können.

Insgesamt ist die Douglasie in der Anwuchsphase der Kultur eher eine «Mimose». Neben den bekannten Problemen durch Wildschäden (insbesondere Fegen), Frosttrocknis und Trockenperioden nach der Pflanzung sind die Gründe für diese besondere Empfindlichkeit noch nicht abschliessend geklärt. In der Praxis muss jedenfalls damit gerechnet werden, dass Douglasienkulturen auch bei Wildschutz, bester Pflanzqualität und optimaler Pflanztechnik selbst unter regulären Umweltverhältnissen nicht selten schlechter anwachsen und sich heterogener entwickeln als beispielsweise Fichtenkulturen (Kenk & Weise 1983, Borchert & Hahn 2008).

Standraum: Entwicklung von Durchmesser und Qualität

Pflanzverband, Jungbestandspflege und Durchforstung sind zentrale waldbautechnische Instrumente mit Einfluss auf die Standraumdynamik. Der Pflanzverband wirkt sich unmittelbar sowohl auf die Kosten als auch auf die Konkurrenzverhältnisse aus. Später bieten dann Jungbestandspflege bzw. Durchforstung Möglichkeiten, durch Eingriffe in die Konkurrenz zwischen den Bäumen die weitere Entwicklung zu steuern.

Konkurrenz wirkt sich unmittelbar auf die Entwicklung von Stamm- und Astdurchmesser aus (Kenk & Unfried 1980, Kenk & Weise 1983, Wilson & Oliver 2000, Šeho & Kohnle 2014). Bei der Douglasie gibt es zahlreiche Hinweise darauf, dass Astmerkmale ausser durch Konkurrenz auch provenienzenspezifischem Einfluss unterliegen können (Schmidt & Weller 2006, Šeho & Kohnle 2014). Für forstpraktische Verhältnisse ist dies aber kaum von Belang, weil sich der Standraum viel stärker auf die Aststärke und die damit verbundenen ertragswirtschaftlichen Konsequenzen auswirkt. Einerseits profitiert die Durchmesserentwicklung der Bäume von abnehmender Konkurrenz bei mit sinkenden Pflanzzahlen zunehmenden Standräumen. Dadurch ergibt sich auch ein abnehmendes Verhältnis von Höhe zu Durchmesser, was bei Bäumen allgemein ein guter Indikator für zunehmende Schaftstabilität ist (Merkel 1975, Kohnle et al 2014). Andererseits nimmt wie zum Beispiel auch bei der Fichte (Merkel 1967, Abetz & Unfried 1983) mit sinkenden Ausgangspflanzzahlen die Stärke der Äste ebenso eindeutig zu (Abbildung 3; Kenk & Unfried 1980). Der Ausgleich zwischen dem Einfluss der Standraumdynamik auf die Entwicklung von Stammdurchmesser und Aststärke ist daher ertragswirtschaftlich gesehen eine Optimierungsaufgabe.

Bezüglich des Pflanzverbandes ergeben sich aus der etwa 50-jährigen Beobachtungsdauer des «Koordinierten Standraumversuchs bei Douglasie» (Abetz 1971, Kenk & Weise 1983, Klädtke et al 2012) folgende Empfehlungen: Unter den aktuellen wirtschaftlichen Rahmenbedingungen bieten Pflanzdichten zwischen 1000 und 2000 Bäumen/ha einen optimalen Ausgleich zwischen der Entwicklung von Qualität, Stabilität und Durchmesser der Z-Bäume und der flächenbezogenen Volumenleistung (Klädtke et al 2012, Berthelot et al 2014). Bei deutlich unter 1000 Bäumen/ha in der Kultur leidet die Volumenleistung (Abbildung 4a). Ausserdem entwickeln sich Aststärken, die die Holzqualität deutlich mindern (Abbildung 3). Werden jedoch deutlich mehr als 2000 Bäume/ha gepflanzt, entstehen inakzeptabel hohe Pflanzungskosten ohne adäquate Erhöhung der Volumenproduktivität. Und der konkurrenzbedingt reduzierte Durchmesserzuwachs beeinträchtigt zudem die Nettowertleistung (Abbildung 4b).

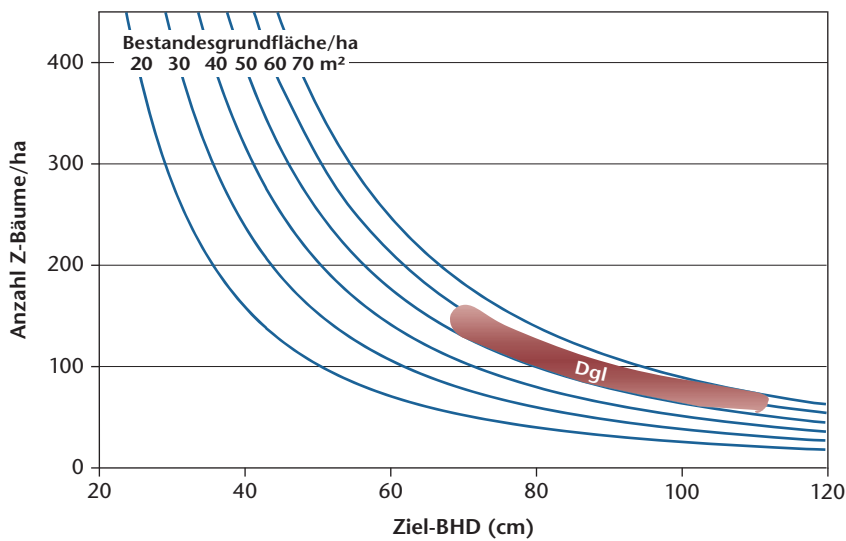


Abb 5 Empfohlene (maximale) Anzahl von Douglasien-Z-Bäumen in Abhängigkeit des angestrebten Zieldurchmessers und der Grundfläche des erntereifen Bestandes für Deutschland (eingefärbte Fläche; verändert nach Abbildung 2 in Klädtke & Abetz 2010).

Auch bei Douglasie bietet das Z-Baum-Konzept (Kenk 1999, Abetz & Klädtke 2002) beste Voraussetzung zur optimalen Förderung ausgewählter Hauptzuwachssträger. Die dafür relevanten Rahmenbedingungen wurden von Klädtke & Abetz (2010) quantitativ ausgearbeitet. So lässt sich die maximal mögliche Anzahl Z-Bäume/ha für den gewünschten Zieldurchmesser aus der Beziehung zwischen Stamm- und Kronendurchmesser berechnen (Abbildung 5) und die Intensität der erforderlichen Freistellung direkt aus der Durchmesserentwicklung der Bäume ableiten. Dabei gelten folgende Zusammenhänge:

- Mit sinkendem Zieldurchmesser nimmt die mögliche Anzahl Z-Bäume zu.
- Je stärker ein Z-Baum freigestellt wird, desto stärker wird sein Durchmesserzuwachs gefördert.
- Je grösser der Standraum ist, desto grösser ist die Krone und desto stärker werden die Äste.

Aus diesen Zusammenhängen lässt sich je nach Ziel der Waldbesitzenden eine optimale Standraumhaltung aus Pflanzdichte und Durchforstungsintensität herleiten. Zu berücksichtigen ist, dass dabei hinsichtlich der empfohlenen Grundfläche der hiebsreifen Bestände regionale und/oder nationale Unterschiede bestehen. So wird in Frankreich empfohlen, dass die Bestände, die mit einer Zielstärke von 55 bis 65 cm Brusthöhendurchmesser (BHD) bewirtschaftet werden, Grundflächen von 40 bis 45 m²/ha nicht überschreiten sollten (Sardin 2013). In Deutschland bewegen sich die Empfehlungen bei dieser Zielstärke dagegen im Bereich von 50 bis 60 m²/ha (Kenk & Hradetzky 1984).

Holzqualität, Ästung

In Europa stellt die Douglasienbewirtschaftung im Regelfall auf die Produktion von sägefähigem Stammholz ab (Henin et al 2019). Dabei gibt es eine erstaunlich grosse Spanne wirtschaftlich interessanter Zielstärken. So kann beispielsweise die rasche Produktion mittelstarker Bauholzsortimente durchschnittlicher Qualität rein ertragswirtschaftlich gesehen ähnlich attraktiv sein wie die Produktion wertvoller Starkhölzer in langen Produktionszeiträumen (Heidingsfelder & Knoke 2004).

Für die Qualität des Stammholzes spielt die Ästigkeit eine entscheidende Rolle. Für die Einstufung als mittelstarkes Bausägeholz durchschnittlicher Qualität sind Aststärken von maximal 4 cm zulässig. Diese Grenze kann im Rahmen praxisüblicher Durchforstungen ohne Weiteres eingehalten werden. Dagegen ist Starkholz nur dann als Wertholz vermarktbar, wenn es ausreichende Anteile astfreien (Kern-)Holzes aufweist. In Nordamerika stammten solche Hölzer früher aus alten Urwäldern. Da die Produktionszeiten in Wirtschaftswäldern erheblich kürzer sind, setzt die Produktion astfreien Wertholzes hier selbst in mit 4000 Douglasien/ha gepflanzten Bestände zwingend eine Wertästung voraus (Klädtke et al 2012).

Zielführende Ästungskonzepte müssen dabei sowohl einen grossen astfreien Mantel anstreben als auch eine ausreichend grosse Grünkrone erhalten. Aus Sicht der Holzverwertung sollte der astfreie Mantel des Stammholzes mindestens zwei Drittel seines Durchmessers umfassen. Zu starke Eingriffe in die Grünkrone führen unweigerlich zu nennenswerten Zuwachsverlusten. Daher ist der Erhalt einer Grünkrone von mindestens der Hälfte der Stammlänge erforderlich.

Dies legt nahe, dass mit der Ästung so früh wie möglich begonnen wird. Sie darf aber nicht zu früh und/oder zu stark erfolgen. So müssen beispielsweise die Bäume mindestens 10 bis 12 m hoch sein, wenn der Erdstammabschnitt (rund 5–6 m Länge) geästet wird. Normalerweise haben herrschende Douglasien zu diesem Zeitpunkt einen BHD von 15 bis 20 cm erreicht. Für die Erzeugung eines astfreien Mantels von mindestens zwei Dritteln des Stammdurchmessers wäre dann demnach eine Zielstärke von rund 60 bis 70 cm BHD erforderlich (DeChamps 1997).

Höher gelegene Abschnitte können erst zu einem späteren Zeitpunkt geästet werden. Ausserdem muss dafür zwangsläufig der Zieldurchmesser angehoben werden. Soll beispielsweise ein zweiter Abschnitt vergleichbarer Länge geästet werden, ist ein Zieldurchmesser von 80 bis 90 cm in Brusthöhe erforderlich, um auch beim zweiten Abschnitt einen ausreichend starken astfreien Mantel erzeugen zu können. Diese notwendige Anhebung des Zieldurchmessers bedingt dann ihrerseits eine Verringerung der Anzahl Z-Bäume (Abbildung 5; Klädtke & Abetz 2010).

Entsprechend den Befunden bei anderen Baumarten kann auch bei der Douglasie davon aus-

gegangen werden, dass grundsätzlich zu jeder Jahreszeit ohne besondere Infektionsgefahren geästet werden kann. Von grösster Bedeutung ist dagegen die Qualität der Ästung. Während Bäume Astwunden rasch und wirkungsvoll abriegeln können, führen Verletzungen des Stammholzes zu länger anhaltenden Störungen und unerwünschten Veränderungen, beispielsweise zu Holzverfärbungen (Metzler 1997, Metzler & Ehring 2006, Danescu et al 2015, Klädtke & Ehring 2017). Daher ist die früher gerne propagierte stammenebene Ästung grundfalsch. Sie verletzt nämlich den zum Stammholz gehörenden wulstartigen Ring an der Austrittsstelle des Astes aus dem Stamm, den sogenannten Astkragen. Bei der Schnitfführung ist also darauf zu achten, dass der Trennschnitt den Astkragen am Stamm belässt und dass die Rinde nicht ausschlitzt.

Zudem müssen die geästeten Bäume durch ausreichende Freistellung konsequent begünstigt werden. Dies fördert ihren Durchmesserzuwachs, ihre Konkurrenzkraft sowie die Geschwindigkeit, mit der sie die Schnittstellen überwallen. Die Freistellung dient damit quasi der Investitionssicherung. Tatsächlich wird die Dauer bis zur vollständigen Überwallung einer Ästungswunde viel stärker von der Wuchskraft bzw. dem Radialzuwachs eines Baumes bestimmt als vom Durchmesser des Astes (Metzler 1997, Danescu et al 2015, Klädtke & Ehring 2017).

Wertästung kann nur dann wirtschaftlich erfolgreich sein, wenn die geästeten Bäume auch tatsächlich die erforderliche Zielstärke erreichen. Daraus ergibt sich die Notwendigkeit, die Ästung auf diejenige Anzahl Bäume zu begrenzen, die beim erforderlichen Zieldurchmesser auf der jeweiligen Fläche Platz finden (Abbildung 5; Klädtke & Abetz 2010).

Die ökonomische Sinnhaftigkeit einer Wertästung sinkt zudem mit steigenden Zinssätzen (Heidingsfelder & Knoke 2004) und zunehmenden Risiken. Der letztere Aspekt ist vor allem für die Beurteilung der Ästungshöhe relevant. Ohne Einbeziehung von Risiken kann die Ästung höher liegender Stammpartien zwar kalkulatorisch durchaus sinnvoll sein (Heidingsfelder & Knoke 2004). Sie ist aber gleichzeitig unausweichlich mit längeren Produktionszeiten und damit höheren Bäumen verbunden. Dieser Aspekt ist nicht konfliktfrei, denn auch bei der Douglasie nehmen störungsbedingte Produktionsrisiken, beispielsweise durch Sturm (Schmidt et al 2010, Albrecht et al 2012), mit zunehmender Produktionsdauer bzw. Baumhöhe zu.

Mischbestandswirtschaft

Die Douglasie lässt sich zwar prinzipiell auch in Reinbeständen bewirtschaften. Tatsächlich empfehlen jedoch die gängigen waldbaulichen Richt-

linien beispielsweise in Baden-Württemberg (MLR 2014) eine Mischung mit (natürlich vorkommenden) Baumarten, die auch aus Gründen des Naturschutzes empfohlen werden (Ammer et al 2016). Diese Empfehlungen beruhen im Wesentlichen auf der Erwartung, dass Mischbestände im Vergleich zu Reinbeständen eine erhöhte Widerstandskraft und Resilienz gegenüber Schadorganismen (z.B. Knoke et al 2008, Neuner et al 2014) aufweisen. Zudem kann so die nicht heimische Douglasie an die natürliche Waldgesellschaft angebunden werden – ein ganz grundlegendes Anliegen des naturnahen Waldbaus (Leibundgut 1986, Weidenbach 1992, Brang et al 2014). Ausserdem ist die Mischung mehrerer Baumarten auf Betriebs- oder Bestandesebene ein zentrales Element der Risikoverteilung, das angesichts des Klimawandels noch weiter an Bedeutung gewinnen dürfte.

Eine erfolgreiche Mischbestandswirtschaft mit Douglasie erfordert allerdings die Berücksichtigung ihrer Besonderheiten. Dies sind zum einen die Lichtansprüche (Halblichtbaumart) und zum anderen die Wuchsdynamik. Sobald die Douglasie gut angewachsen ist, wächst sie in der Regel wesentlich rascher als die heimischen Baumarten und erreicht auch deutlich grössere Baumhöhen. Wenn Douglasien nicht nur beigemischt sein sollen, sondern in Douglasien-geführten Mischbeständen bewirtschaftet werden, ist es ratsam, die Beimischungen auf ausreichend grossen Flächen einzubringen, wo sie auch auf Dauer wirkungsvoll von der Konkurrenz benachbarter Douglasien freigehalten werden können. Ausserdem sollte bei der Pflege der beigemischten heimischen Baumarten deren Vitalität und Wuchskraft oberste Priorität zukommen.

Fazit

Die Douglasie ist eine leistungsstarke Baumart, die gerade unter den sich wandelnden Klimaverhältnissen in Europa bis in Lagen der derzeit montanen/hochmontanen Wärmestufe eine gute Alternative zur Fichte bietet. Über die waldbaulichen Möglichkeiten, Chancen und Risiken liegen in Mitteleuropa langjährige Erfahrungen vor. Nach Überwindung der kritischen Kulturphase wächst die Douglasie auf produktiven Standorten in der Regel rascher als alle heimischen Baumarten. Bei geeigneten waldbaulichen Massnahmen (geeigneter Standort, adäquate Pflanzanzahl in der Kultur, früh einsetzende, Z-Baum-orientierte Hochdurchforstungen, Ästung bei Wertholzproduktion, angemessene Produktionszeiträume) lässt sich mit ihr eine hohe Wertschöpfung erzielen (Abbildung 6).

Wenn die schwierige Anwuchsphase erfolgreich gemeistert ist und sich die Wildpopulationen auf waldbaulich tragbarem Niveau befinden, bieten

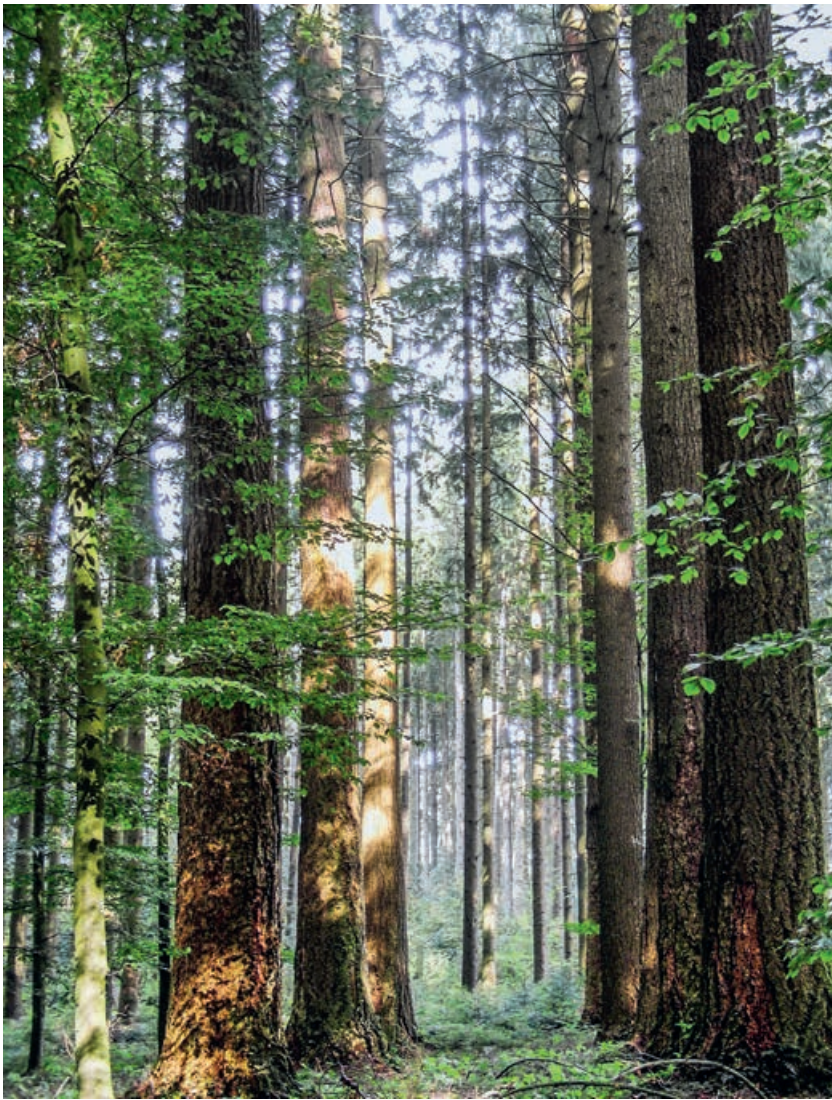


Abb 6 Der Douglasienbestand auf der Versuchsfläche Dgl 50 (Alb-Donau-Kreis, Baden-Württemberg) zeichnete sich im Jahr 2019 durch folgende Kennwerte aus: Alter: 108 Jahre, Höhe: 51 m, Stammzahl: 97 Douglasien/ha, mittlerer BHD: 83 cm, Vorrat: 1030 Vfm/ha, laufender Zuwachs: 25 Vfm/(ha × Jahr). Foto: Oswald Keller

Wuchspotenzial und Holzigenschaften der Douglasie beste Voraussetzungen für eindrucksvolle Erträge. Oder um den langjährigen, früheren Leiter des Süd-schwarzwälder «Douglasien-Forstbezirks» Kandern, Martin Groß, zu zitieren: *Wie mir scheint, ist Douglasie ziemlich behandlungsresistent – es ist verflixt schwierig, mit ihr kein Geld zu verdienen!* Bei Integration in Mischbestände mit heimischen Baumarten genügt sie den Anforderungen des naturnahen Waldbaus an Risikoverteilung, Resistenz und Resilienz. ■

Eingereicht: 19. März 2020, akzeptiert (mit Review): 16. Oktober 2020

Literatur

- ABETZ P (1971) Douglasien-Standraumversuche. AFZ/Der Wald 26: 448–449.
- ABETZ P, KLÄDTKE J (2002) The target tree management system. Forstw Cent.bl 121: 73–82.
- ABETZ P, UNFRIED P (1983) Aststärken an Z-Bäumen in einem Fichtenstandraumversuch im Forstbezirk Riedlingen/Donau. Allg Forst- Jagdztg 154: 189–197.
- ALBRECHT A, HANEWINKEL M, BAUHUS J, KOHNLE U (2012) How does silviculture affect storm damage in forests of south-western Germany? Results from empirical modeling based on long-term observations. Eur J For Res 131: 229–247.
- ALBRECHT A, HANEWINKEL M, BAUHUS J, KOHNLE U (2015) Wie sturmstabil ist die Douglasie? AFZ/Der Wald 70 (3): 30–34.
- ALBRECHT A, KOHNLE U, HANEWINKEL M, BAUHUS J (2013) Storm damage in Douglas-fir unexpectedly high compared to Norway spruce. Ann For Sci 70: 195–207.
- ALBRECHT A, LENK E, ROSE B, KOHNLE U (2017) Effekte von Jungbestandspflege in baumzahlreichen Fichtenverjüngungen. Forstarchiv 88: 79–90.
- AMMER C, BOLTE A, HERBERG A, HÖLTERMANN A, KRÜSS A ET AL (2016) Vertreterinnen und Vertreter von Forstwissenschaft und Naturschutz legen gemeinsame Empfehlungen für den Anbau eingeführter Waldbaumarten vor. Gemeinsames Papier des DVFFA und des BfN. Nat Landsch 91: 141.
- ANGELIER A (2007) Douglasiaies françaises. Guide de sylviculture. Paris: Office National des Forêts. 296 p.
- ANGELIER A, BAILLY A, ROMAN JL, COURDIER JM, VAUTIER F ET AL (2004) Mise au point de scénarios de régénération naturelle du douglas pour le Massif central. Rendez-vous techniques 6: 64–68.
- BASTIEN JC, SANCHEZ L, MICHAUD D (2013) Douglas-fir (*Pseudotsuga menziesii* [Mirb.] Franco). In: Pâques LE, editor. Forest tree breeding in Europe. Dordrecht: Springer. pp. 325–369.
- BASTIEN JC (2019) Douglas-fir biomass production and carbon sequestration. In: Spiecker H, Lindner M, Schuler J, editors. Douglas-fir – an option for Europe. Joensuu: European Forest Institute, What Science Can Tell us 9. pp. 84–88.
- BERTHELOT A, BOUVET A, RICHTER C, GIBAUD G (2014) Potentialités de production de biomasse de quelques essences résineuses en conditions forestières: Douglas, épicéa commun, épicéa de Sitka, cyprès de Leyland, séquoia toujours vert. Rev For Fr 66: 695–713.
- BORCHERT H, HAHN JT (2008) Die Douglasie: eine wirtschaftlich lohnende Baumart. Freising: Bayer Landesanstalt Wald Forstwirtschaft, LWF aktuell 65. pp. 51–53.
- BRANG P, SPATHELF P, LARSEN JB, BAUHUS J, BONCINA A ET AL (2014) Suitability of close-to-nature silviculture for adapting temperate European forests to climate change. Forestry 87: 492–503.
- BRIGGS NA, KÜHNE C, KOHNLE U, BAUHUS J (2012) Root system response of naturally regenerated Douglas-fir (*Pseudotsuga menziesii*) after complete overstory removal. Can J For Res 42: 1858–1864.
- BRODERSEN T (2016) Entwicklung von Ausfällen und Stamm-Qualitätsmerkmalen im koordinierten Douglasien-Standraumversuch. Freiburg i.Br.: Albert-Ludwigs-Univ, Fakultät für Umwelt und natürliche Ressourcen. 76 p.
- BUTIN H (1983) Krankheiten der Wald- und Parkbäume. Stuttgart: Georg Thieme Verlag. 172 p.
- CHAUMET M (2017) Analyse des souhaits de la filière en matière de création variétale de Douglas. Verneuil sur Vienne: Pôle Biotechnologies Sylviculture Avancée, FCBA INFO. 4 p.
- DANESCU A, EHRING A, BAUHUS J, ALBRECHT A (2015) Modeling discoloration and duration of branch occlusion following green pruning in *Acer pseudoplatanus* and *Fraxinus excelsior*. For Ecol Manage 335: 87–98.
- DANKELMANN B (1884) Anbauversuche mit ausländischen Baumarten in den Preussischen Staatsforsten. Z Forst- Jagdwes 16: 289–371.
- DECHAMPS J (1997) Le Douglas. Paris: Association Forêt Cellulose. 416 p.
- HEIDINGSFELDER A, KNOKE T (2004) Douglasie versus Fichte – ein betriebswirtschaftlicher Leistungsvergleich auf der Grundlage des Provenienzversuches Kaiserslautern. Bad Orb: Sauerländer, Schriften zur Forstökonomie 26. 111 p.

- HENIN JM, POLLET C, SCHMITT U, BLOHM JH, KOCH G ET AL (2019) Technological properties of Douglas-fir wood. In: Spiecker H, Lindner M, Schuler J, editors. Douglas-fir – an option for Europe. Joensuu: European Forest Institute, What Science Can Tell Us 9. pp. 89–97.
- IGN (2016) La forêt en chiffres et en cartes. Paris: Institut national de l'information géographique et forestière, Le Mémento – inventaire forestier. 17 p.
- JANSEN K, SOHRT J, KOHNLE U, ENSMINGER I, GESSLER A (2013) Tree ring isotopic composition, radial increment and height growth reveal provenance-specific reactions of Douglas-fir towards environmental parameters. *Trees* 21: 37–52.
- KELLER T, KEHR R, SCHUMACHER J (2016) Russige Douglasenschütte in der Südwestpfalz. *AFZ/Der Wald* 71 (2): 31–35.
- KENK G (1999) Thinning in Germany. In: Wagner RG, Egan AF, Ostrofsky WD, Seymour RS, editors. Thinning in the Maine Forest. Augusta/Maine: Univ Maine. pp. 69–80.
- KENK G, HRADETZKY J (1984) Behandlung und Wachstum der Douglasien in Baden-Württemberg. Freiburg i.Br.: Forstliche Versuchs- Forsch.anstalt Baden-Württemberg, Mitteilungen 113. 89 p.
- KENK G, THREN M (1984A) Ergebnisse verschiedener Douglasienprovenienzversuche in Baden-Württemberg. Teil I: Der Internationale Douglasien-Provenienzversuch 1958. *Allg Forst- Jagdztg* 155: 165–184.
- KENK G, THREN M (1984B) Ergebnisse verschiedener Douglasienprovenienzversuche in Baden-Württemberg. Teil II: Die Versuche Kirchzarten, Aalen/Schwarzach, Steinheim und Heidelberg/Ettenheim/Kandern. *Allg Forst- Jagdztg* 155: 221–240.
- KENK G, UNFRIED P (1980) Aststärken in Douglasienbeständen. *Allg Forst- Jagdztg* 152: 201–210.
- KENK G, WEISE U (1983) Erste Ergebnisse von Douglasien-Pflanzverbandsversuchen in Baden-Württemberg. *Allg Forst- Jagdztg* 154: 41–55.
- KLÄDTKE J (2016) Zum Wachstum eingeführter Baumarten in Baden-Württemberg. *Allg Forst- Jagdztg* 187: 81–92.
- KLÄDTKE J, ABETZ P (2010) Durchforstungshilfe 2010. Freiburg i.Br.: Forstliche Versuchs- Forsch.anstalt Baden-Württemberg, Merkbl 53. 12 p.
- KLÄDTKE J, EHRING A (2017) Ergebnisse eines Grünästungsversuchs mit Bergahorn, Buche, Eiche und Esche. *Schweiz Z Forstwes* 168: 67–74. doi: 10.3188/szf.2017.0067
- KLÄDTKE J, KOHNLE U, KUBLIN E, EHRING A, PRETZSCH H ET AL (2012) Wachstum und Wertleistung der Douglasie in Abhängigkeit von der Standraumgestaltung. *Schweiz Z Forstwes* 163: 96–104. doi: 10.3188/szf.2012.0096
- KNOKE T, AMMER C, STIMM B, MOSANDL R (2008) Admixing broadleaved to coniferous tree species: a review on yield, ecological stability and economics. *Eur J For Res* 127: 89–101.
- KNOOK J, HANEWINKEL M (2019) Economics of growing Douglas-fir. In: Spiecker H, Lindner M, Schuler J, editors. Douglas-fir – an option for Europe. Joensuu: European Forest Institute, What Science Can Tell Us 9. pp. 99–104.
- KOHNLE U (2019) Nadelbaum-Tuning für Laubbaum-Verjüngungen. *AFZ/Der Wald* 74 (10): 50–54.
- KOHNLE U, HEIN S, SORENSEN FC, WEISKITTEL AR (2012) Effects of seed source origin on bark thickness of Douglas-fir (*Pseudotsuga menziesii*). *Can J For Res* 42: 382–399.
- KOHNLE U, KLÄDTKE J, CHOPARD B (2019) Management of Douglas-fir. In: Spiecker H, Lindner M, Schuler J, editors. Douglas-fir – an option for Europe. Joensuu: European Forest Institute, What Science Can Tell Us 9. pp. 73–83.
- KOHNLE U, LENK E, FREYLER K, KELLER O (2014) Alter Wein in neuen Schläuchen? H/D-Wert und Schneeschäden auf Kiefern- und Birken-Versuchsflächen. *AFZ/Der Wald* 69 (4): 12–15.
- KÜHNE C, BAUHUS J, HÖRNIG T, OH S (2011) Einfluss von Überschildung, Dichtstand und Pflanzengröße auf die Wurzelentwicklung natürlich verjüngter Douglasien. *Forstarchiv* 82: 184–194.
- KÜHNE C, KARRIÉ C, FORRESTER D, KOHNLE U, BAUHUS J (2015) Root system development in naturally regenerated Douglas-fir saplings as influenced by canopy closure and crowding. *J For Sci* 61: 406–415.
- LEIBUNDGUT H (1986) Ziele und Wege der naturnahen Waldwirtschaft. *Schweiz Z Forstwes* 137: 245–250.
- LOREY C (1899) Die forstlichen Versuchsanstalten. *Allg Forst- Jagdztg* 75: 113–121.
- MCARDLE RE, MEYER WH, BRUCE D (1961) The yield of Douglas fir in the Pacific Northwest. Washington DC: United States Department of Agriculture, Techn Bull 201. 74 p.
- MERKEL O (1967) Der Einfluss des Baumabstandes auf die Aststärke der Fichte. *Allg Forst- Jagdztg* 138: 113–125.
- MERKEL O (1975) Schneebruch im Fichtenbestand bei 40-jähriger Auslesedurchforstung. *AFZ/Der Wald* 30: 663–665.
- MERKLE R (1950/1951) Über die Douglasien-Vorkommen und die Ausbreitung der *Adelopus*-Nadelschütte in Württemberg-Hohenzollern. *Allg Forst- Jagdztg* 122: 161–192.
- METZLER B (1997) Infektionsrisiko und Überwallungszeit bei grüngeästeten Fichten. *AFZ/Der Wald* 52: 149–151.
- METZLER B, EHRING A (2006) Überwallung, Holzverfärbung und Pilzinfektionen nach Grünästung der Walnuss (*Juglans regia*) zu verschiedenen Jahreszeiten. In: Dujesiefken D, editor. Jahrbuch der Baumpflege 2006. Braunschweig: Thalacker. pp. 219–225.
- MLR (2014) Richtlinie landesweiter Waldentwicklungstypen (Baden-Württemberg). Stuttgart: Ministerium Ländlicher Raum und Verbraucherschutz Baden-Württemberg. 117p.
- NEOPHYTOU C, WEISSER AM, LANDWEHR D, ŠEHO M, KOHNLE U ET AL (2016) Assessing the relationship between height growth and molecular genetic variation in Douglas-fir (*Pseudotsuga menziesii*) provenances. *Eur J For Res* 135: 465–481.
- NEUNER S, ALBRECHT A, CULLMANN D, ENGELS F, GRIESS VC ET AL (2014) Survival of Norway spruce remains higher in mixed stands under a dryer and warmer climate. *Glob Chang Biol* 21: 935–946.
- PETIT S, CLAESSENS H (2013) La régénération naturelle des douglasaies à le vent en poupe. Le point sur les itinéraires techniques existants. *Forêt Wallonne* 126: 40–52.
- RUGE F, NICKE A, KOHNLE U (2019) Douglasien-Naturverjüngung unter Schirm. *AFZ/Der Wald* 74 (17): 42–46.
- SARDIN T (2013) Douglasaies françaises. Référentiels sylvicoles – Correctif 2012. Paris: Office National des Forêts. 52 p.
- SCHMIDT M, HANEWINKEL M, KÄNDLER G, KUBLIN E, KOHNLE U (2010) An inventory-based approach for modeling single tree storm damage – experiences with the winter storm 1999 in southwestern Germany. *Can J For Res* 40: 1636–1652.
- SCHMIDT M, WELLER A (2006) Ein statistisches Modell zur Auswertung ordinaler Merkmale dargestellt am Beispiel der Ausprägung von Ästigkeit in Douglasien-Provenienzversuchen (*Pseudotsuga menziesii* [Mir.] FRANCO). *Allg Forst- Jagdztg* 177: 149–159.
- SCHÜLER S, CHAKRABORTY D (2021) Limitierende Faktoren für den Douglasienanbau in Mitteleuropa im Klimawandel. *Schweiz Z Forstwes* 172: 84–93. doi: 10.3188/szf.2021.0084
- ŠEHO M, KOHNLE U (2014) Der internationale Douglasien-Provenienzversuch: Unterschiede in der Ausprägung von Stamm- und Astmerkmalen auf den südwestdeutschen Versuchsflächen. *Allg Forst- Jagdztg* 185: 27–41.
- SPIECKER H, LINDNER M, SCHULER J (2019) Douglas-fir – an option for Europe. Joensuu: European Forest Institute, What Science Can Tell Us 9. 121 p.
- STEPHAN BR (1973) Über die Anfälligkeit und Resistenz von Douglasien-Herkünften gegenüber *Rhabdocline pseudotsugae*. *Silvae Genetica* 22: 5–6.
- STEPHAN BR (1981) Douglasienschütte. Freiburg i.Br.: Forstliche Versuchs- Forsch.anstalt Baden-Württemberg, Merkbl 2. 8 p.

- VAN LOO M (2019) Douglas-fir distribution in Europe. In: Spiecker H, Lindner M, Schuler J, editors. Douglas-fir – an option for Europe. Joensuu: European Forest Institute, What Science Can Tell Us 9. pp. 21–32.
- VITALI V, BÜNTGEN U, BAUHUS J (2017) Silver fir and Douglas fir are more tolerant to extreme droughts than Norway spruce in south-western Germany. *Glob Chang Biol* 23: 5108–5119.
- WEIDENBACH P (1992) 40 Jahre Baden-Württemberg. Waldbauliche Ziele und Ergebnisse. *AFZ/Der Wald* 13: 711–717.
- WILSON JS, OLIVER CD (2000) Stability and density management in Douglas-fir plantations. *Can J For Res* 30: 910–920.
- WIMMER E (1909) Anbauversuche mit fremdländischen Baumarten in den Waldungen des Grossherzogtums Baden. Berlin: Paul Parey. 89 p.

La sylviculture avec le sapin de Douglas en Allemagne et en France

Le changement climatique attendu fait du sapin de Douglas (*Pseudotsuga menziesii* [Mirb.] Franco) une option prometteuse pour la gestion des forêts en Europe centrale. L'espèce est plus résistante à la sécheresse que l'épicéa, par exemple, elle pousse très bien et fournit un bois de sciage précieux aux propriétés techniques supérieures. Plus d'un siècle d'expérience dans la recherche et la pratique, notamment en France et en Allemagne, a permis de créer des connaissances sylvicoles substantielles et fondées sur des preuves pour la gestion du douglas en Europe. L'article vise à présenter les aspects les plus importants. Si la plantation au coût relativement élevé a été la technique de culture la plus courante en Europe jusqu'à présent, le potentiel évident de la régénération naturelle va très probablement gagner en importance. Cependant, le développement des racines des jeunes arbres est influencé négativement par la couverture de la canopée et la concurrence latérale. Si le sapin de Douglas doit être rajeuni sous couvert, la durée de la canopée doit être courte et les concurrents latéraux doivent être éliminés de manière précoce et décisive. La croissance du diamètre peut être contrôlée par un espacement approprié, par des éclaircies et par le choix des périodes de révolution. La qualité du bois peut être améliorée par la sélection de tiges d'avenir et l'élagage. Afin de réduire la proportion d'assortiments de faible dimension de mauvaise qualité, une période de révolution plus longue combinée à des diamètres cibles plus importants peut être envisagée comme option de gestion. Cependant, des temps de production plus longs sont invariablement associés à des risques plus élevés, en particulier le risque de chablis causés par les tempêtes augmente progressivement avec la hauteur des arbres. En ce qui concerne la gestion des risques et l'intégration du sapin de Douglas non indigène dans des systèmes de gestion quasi naturels, l'établissement et la gestion de peuplements mixtes revêtent une grande importance.

Silviculture with Douglas-fir in Germany and in France

The expected climate change renders Douglas-fir (*Pseudotsuga menziesii* [Mirb.] Franco) a promising option for forest management in Central Europe. The species offers better resistance to drought than e.g. Norway spruce, is growing rather well and provides valuable sawtimber with superior technical wood properties. Research and practical management experience accumulated over a century particularly in France and in Germany has created substantial evidence-based silviculture knowledge about how to manage Douglas-fir in Europe. The paper attempts to describe the most relevant, basic aspects. While planting was up to now the most common establishment technique, causing relatively high costs, the evident potential for natural regeneration will most probably increase in importance for Douglas-fir management in the European arena. However, root development of young trees is negatively impacted by competing canopy shelter as well as lateral competitors. Therefore, if Douglas-fir is to be regenerated under canopy shelter, duration of the shelter period should be kept as short and lateral competitors in the regeneration should be removed early and resolutely. Diameter growth can be controlled through appropriate spacing, thinning, and timing of final cuts. Wood quality can be improved by crop tree selection and pruning. To keep the proportion of lower quality juvenile wood small, a longer lifespan combined with larger dimensions might be considered as a favorable management option. On the other hand, higher age is invariably associated with higher risks, in particular, risk by storm damage is progressively increasing with tree height. In the context of risk management and integration of the non-native Douglas-fir in close-to-nature management systems, establishment and management of mixed stands is of major importance.