

forstarchiv 88, 91-101  
(2017)

DOI 10.4432/0300-  
4112-88-91

© DLV GmbH

ISSN 0300-4112

Korrespondenzadresse:  
Christin.Carl@fh-erfurt.  
de

Eingegangen:  
04.10.2016

Angenommen:  
14.04.2017

# Ertragskundliche und dendrochronologische Untersuchungen des Internationalen Douglasien-Provenienzversuchs von 1961 in Kranichfeld (Thüringen, Deutschland) bis Alter 57 Jahre

Forest yield and dendrochronological analyses of the International Douglas fir-provenance trial 1961 in Kranichfeld (Thuringia, Germany) till age of fifty-seven years

CHRISTIN CARL<sup>1</sup>, GOTTFRIED JETSCHKE<sup>2</sup>, ANKA NICKE<sup>1</sup> und KARINA KAHLERT<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Fachhochschule Erfurt, Leipziger Straße 77, 99085 Erfurt, Deutschland

<sup>2</sup> Universität Jena, Institut für Ökologie, Dornburger Straße 159, 07743 Jena, Deutschland

<sup>3</sup> Forstliches Forschungs- und Kompetenzzentrum Gotha, ThüringenForst AöR, Jägerstraße 1, 99867 Gotha, Deutschland

## Kurzfassung

An die Douglasie (*Pseudotsuga menziesii* [Mirb.] Franco) werden vor dem Hintergrund des projizierten Klimawandels (IPCC 2014) aufgrund ihrer weiten ökologischen Amplitude hohe Erwartungen geknüpft. Dies zeigt unter anderem das bundesweite Verbundprojekt „FitforClim“. Im Rahmen dieses Projekts ist in Thüringen die 1961 angelegte Douglasien-Versuchsfläche im Revier Kranichfeld untersucht worden. Insgesamt 26 Provenienzen aus Canada, Washington und Oregon, sowohl von der Küste als auch aus dem Inland, befinden sich in Kranichfeld. Ertragskundliche Untersuchungen (Brusthöhendurchmesser (BHD), Höhe, Qualitätsansprache) dienen als Basis für die Plusbaumauswahl (FitforClim). Die dendrochronologischen Untersuchungen sollen die langfristigen Reaktionen der einzelnen Provenienzen auf das lokale Klima erkennen lassen. In dieser Arbeit werden die ertragskundlichen und (von 14 Provenienzen) die dendrochronologischen Ergebnisse zum Wachstum der Douglasie in Kranichfeld zusammen mit den klimaökologischen Parametern dargestellt. Darüber hinaus werden die Wuchseigenschaften und die klimatischen Bedingungen der Douglasie in der nordamerikanischen Heimat vergleichend herangezogen. Unsere Ergebnisse zeigen die Überlegenheit der Küstenherkünfte aus Washington und Nord-Oregon bezüglich des Durchmesser- und des Höhenwachstums. Positiven Einfluss auf das Wachstum haben vor allem hohe Temperaturen im Frühjahr und hohe Niederschläge im Sommer. Die Niederschläge in Nordamerika sind bei den Provenienzen aus dem Inland Canadas, die auf der Untersuchungsfläche das geringste Wachstum aufweisen, nahezu identisch mit den mittleren Niederschlagssummen in Kranichfeld. Die Durchschnittstemperaturen sind im Inland Canadas geringer. Demgegenüber finden die wüchsigen Küstenprovenienzen aus Washington und Oregon in ihrer Heimat deutlich höhere Niederschläge und höhere Temperaturen vor. Zudem weist das gesamte Kollektiv der Douglasie andere Reaktionen auf extreme Witterungsereignisse auf als die einheimischen Baumarten, wie beispielsweise die Weißtanne. Die Douglasien reagieren unmittelbar auf klimatische Umweltfaktoren ohne autokorrelative Verzögerung.

**Schlüsselwörter:** *Pseudotsuga menziesii*, Provenienz, Wuchsleistung, Radialzuwachs, Dendrochronologie, Klimareaktion

## Abstract

Due to its wide ecological amplitude there are great expectations for Douglas-fir regarding to the projected climate change (IPCC 2014). This shows amongst others the nationwide (Germany) joint project "FitforClim". Within this project in Thuringia the Douglas-fir provenance trial area in the forestry district Kranichfeld, established in 1961, has been analyzed. Douglas-fir trees from 26 different regions in Canada, Washington and Oregon, from coastal and interior areas, are part of the trial. The intention of the analysis is both forestry yield data (diameter at breast height, height, visual quality characteristics) for the "Plus-tree-selection" (FitforClim) as well as dendrochronological data showing the response of different provenances to the local climate.

This paper presents forestry yield data combined with dendrochronological data of 14 provenances of Douglas-fir in Kranichfeld. In addition, growth and climate conditions of *Pseudotsuga menziesii* [Mirb.] Franco in North-America are compared with the case study in Kranichfeld.

Our results show a dominance of coastal regions in Washington and North Oregon with respect to diameter and height increase. The study shows that above all, warm temperatures in spring and high precipitation in summer impact positively the growth of the trees. The precipitation in North America of the provenances from the Inner-Canada, showing the least increase growth rate, is almost identically with the average precipitation in Kranichfeld, while the average temperature is a little lower in Canada. In contrast to this, the vigorous coastal regions of Washington and North-Oregon benefit in their native environment from more rain and higher temperatures. However, the whole Douglas-fir tree population shows different reaction to extreme climate conditions compared to native species, like *Abies alba* Mill. This study found out that Douglas fir responds directly to climatic environmental factors without autocorrelative delay.

**Key words:** *Pseudotsuga menziesii*, provenance, growth performance, radial growth, dendrochronology, climate correlation

## Einleitung

Die Douglasie wurde im Jahr 1827 in Europa durch den schottischen Botaniker D. Douglas eingeführt und gelangte kurz darauf über die Hamburger Baumschule von J. Booth (Hermann 1981, Lavender und Hermann 2014) nach Deutschland. Ab dem Jahr 1881 folgten Anbauversuche und später Provenienzversuche (Brosinger und Baier 2008). Der internationale Douglasien-Provenienzversuch von 1961 geht auf eine Initiative des Verbandes Deutscher Forstlicher Versuchsanstalten zurück. Die kontrollierte Beerntung wurde Professor Strehlke übertragen (Schober et al. 1983, Mehl 2001). Im Revier Kranichfeld wurde im Jahr 1961 eine von 6 Douglasien-Versuchsflächen der damaligen Deutschen Demokratischen Republik (DDR) angelegt (Dittmar et al. 1985). In Nordwestdeutschland wurden zum selben Zeitpunkt 14 Douglasien-Provenienzversuche (deutschlandweit 32 Teilversuche) mit ähnlichem Design begründet (Weller 2011). Ertragskundliche und qualitative Untersuchungen der Douglasien-Provenienzversuche in Deutschland sind von Schober et al. (1983, 1984), Kenk und Thren (1984), Kleinschmit et al. (1991), Kenk und Ehring (2004), Rau (2005), Wolf et al. (2007), Weller (2011) sowie Weller und Jansen (2017) durchgeführt worden. Die Regionen Kaskadenwesthang (Schober et al. 1983, 1984, Kenk und Thren 1984, Kleinschmit et al. 1991, Weller 2011), Puget-Senke (Rau 2005) und Westkaskaden in Nordoregon (Kenk und Thren 1984, Weller 2011) werden als leistungsstark beschrieben. All diese Untersuchungen erfolgten auf intakten Versuchsflächen. Kranichfeld geriet, aufgrund wechselnder Besitzverhältnisse, als Versuchsfläche in Vergessenheit und stellt somit eine Besonderheit dar.

Das Ziel der folgenden Untersuchungen ist die erstmalige Analyse des Douglasien-Provenienzversuchs unter ertragskundlichen, qualitativen und dendrochronologischen Aspekten (Carl 2016). Die ertragskundlichen Daten (Höhe und Brusthöhendurchmesser) sind die Basis zur Beurteilung des aktuellen Wachstumsverhaltens und der Qualität (Schaffform, Astigkeit) der einzelnen Provenienzen. Auf der Grundlage der ertragskundlichen Daten wird die „Plusbaum“-Auswahl (Gewinnung von Veredlungsreißern) für das Projekt „Fitfor Clim“ (Liesebach et al. 2013) getroffen. Die dendrochronologischen

Untersuchungen sollen die Reaktion der Douglasienprovenienzen auf Witterungs- und Klimaveränderungen zeigen. Es ergeben sich folgenden Forschungsfragen:

- Wie unterscheiden sich die Provenienzen in den ertragskundlichen Parametern (BHD, Höhe) und der Qualität (Schaffform, Astigkeit)?
- Wie hat sich der jährliche Radial- und Grundflächenzuwachs in den 57 Jahren (Betrachtungszeitraum) geändert?
- Auf welche Witterungseinflüsse reagiert die Douglasie (Klima- und Autokorrelation) besonders stark?
- Welche klimatischen Bedingungen finden die wüchsigsten und die mattwüchsigsten Provenienzen im Ursprungsgebiet Nordamerikas vor?

## Material und Methoden

Das Untersuchungsgebiet befindet sich in Thüringen, im Forstamt Erfurt-Willrode, im Revier Kranichfeld in der Abteilung 315a1. Das Wuchsgebiet ist das Ostthüringische Trias-Hügelland, der Wuchsbezirk ist die Ilm-Saale-Platte, und der Teilwuchsbezirk ist der Tannrodaer Buntsandstein. Das Klima dieses Teilwuchsbezirks wird durch die Lee-Wirkung des Thüringer Waldes und des Thüringer Schiefergebirges beeinflusst. Die Versuchsfläche befindet sich 360 m über NN (ThüringenForst AöR 2015). Das Klima ist anhand der langfristigen Verläufe von Jahrestemperatur- und Jahresniederschlag schwach subatlantisch getönt. Die Niederschläge fallen vor allem in den Sommermonaten. Das Ausgangsgestein ist Buntsandstein, die Humusform ist Moder, und der Bodentyp ist überwiegend Braunerde, verbreitet Podsol-Braunerde/Braunerden-Podsole und in geringen Anteilen Braunerden-Pseudogleye (BGR 2012).

Die dreijährig verschulten 1/2-Pflanzen und ein geringer Teil dreijähriger Sämlinge kamen im Frühjahr 1961 in der Versuchsanlage zur Aussaat (Dittmar et al. 1985). Die Versuchsfläche umfasst 43 Parzellen mit einer Größe von jeweils 0,1 ha (Abbildung 1). In Kranichfeld wurden 26 Provenienzen angepflanzt (Tabelle 1).



Abb. 1. Versuchsaufbau des Internationalen Douglasien-Provenienzversuchs 1961 und räumliche Lage der dendrochronologisch untersuchten Douglasien (ThüringenForst AöR 2016), Revier Kranichfeld.

Experimental set-up of the international Douglas-fir provenance trial 1961 and location of the dendrochronological analyzed trees (ThüringenForst AöR 2016), forestry district Kranichfeld.

Tab. 1. Übersicht der untersuchten Douglasien-Provenienzen der Versuchsfläche Kranichfeld.  
Overview of the 26 provenances of the provenance trial Kranichfeld.

Land	Staat	Provenienz- Nr.	Gebiet	
Canada	British Columbia	102	Östliches Inland in der Nähe des Shuswap Lake	
		31*		
		28	Ostteil Vancouver Island	
		100*		
		33		
		101*		
USA	Washington	200*	Küstengebirge im Norden der Olympic-Halbinsel	
		24*	Darrington am Kaskadenwesthang	
		27		
		26*		
		34*		
		206*	Küstengebirge im Süden der Olympic-Halbinsel	
		202	Kaskadenwesthang in Mittel-Washington	
		203*		
		204		
		207*		
	208			
			209	Puget-Senke
			219	
			213*	
			32*	
	Oregon	300*	Küstengebirge im Norden Oregons	
		2	Gebirge vor den Westkaskaden im Norden Oregons	
		3		
		301*		
		305		
				Kaskadenwesthang in Mittel-Oregon

\*dendrochronologisch untersuchte Provenienzen

Gemäß der internationalen Vereinbarung erfolgte die Pflanzung im 1,5 m Quadratverband, somit waren es pro Parzelle 444 Pflanzen und pro Hektar 4.444 Pflanzen (Dittmar et al. 1985). Die ertragskundliche Erfassung erfolgte 1985 und ist von Dittmar et al. (1985) beschrieben. Von den insgesamt 26 Provenienzen in Kranichfeld waren lediglich 10 Provenienzen auswertbar. Der Grund waren Kulturausfälle als Folge von Staunässe. Die Versuchsfläche wurde verworfen. Pflegemaßnahmen, Durchforstungen und weitere Versuchsaufnahmen sind nicht dokumentiert.

### Ertragskundliche Aufnahmen

Die ertragskundlichen Aufnahmen erfolgten im Sommer des Jahres 2015 in Form einer Vollaufnahme der untersuchten Provenienzen (1.817 Bäume). Es wurden von jeder Douglasie auf der Versuchsfläche der Brusthöhendurchmesser (BHD; cm) und die Höhe gemessen. Zudem wurden die Schaftform und die Astigkeit in Anlehnung an Wolf et al. (2007) aufgenommen. Die Auswertung der Daten erfolgte mit Excel (Microsoft 2010) und dem Statistikprogramm SPSS v22 (IBM Corp. 2013). Zudem wurden für jede Parzelle der Durchmesser und die Höhe des Grundflächenmittelstammes (dg, hg) sowie der Durchmesser der 100 stärksten Stämme ( $d_{100}$ ) und die Oberhöhe ( $h_{100}$ ) berechnet. Basierend auf den Parzellenwerten, erfolgten die Berechnungen für das gesamte Kollektiv und die einzelnen Provenienzen. Hinzu kamen die Berechnungen der Grundfläche, der Vorrat und die Auswertung der Qualitätsmerkmale nach einer Quadrat-

wurzeltransformation (Hedderich et al. 2016). Die Ermittlung der Bonität basiert auf der nordwestdeutschen Douglasien-Ertragstafel nach Bergel (1985).

### Dendrochronologische Untersuchungen

Von den insgesamt 26 Provenienzen erfolgte bei 14 Provenienzen eine Probenentnahme mit dem Zuwachsbohrer nach Preßler. Durch die Wahl solcher Provenienzen, die mit einer Wiederholung angebaut wurden, konnten kleinstandräumliche Einflüsse vermieden werden (Abbildung 1). Zudem wurde auf eine breite geografische Streuung im Herkunftsgebiet geachtet. Pro Baum wurden jeweils 2 Proben im 90°-Winkel in der Baumhöhe von 1,3 m entnommen. Insgesamt sind 10 Bäume pro Provenienz der Kraft'schen Klassen 1 (vorherrschend) und 2 (herrschend) beprobt worden, was 20 Proben je Provenienz und insgesamt 280 Bohrkern auf der gesamten Versuchsfläche ergab. Die Bohrkern wurden auf Holzträger verleimt und mit Sandpapier steigender Körnung (120 bis 400) mit einem Bandschleifer geglättet. Das Ausmessen der Ringbreiten erfolgte mit einem Messtisch (Lintab™ 6) der Firma RINNTECH mit 0,01 mm Genauigkeit. Die Daten wurden digital in das Softwareprogramm TSAP-Win™ Professional v 4.70 (Time Series Analysis Programm) der Firma RINNTECH übertragen (vgl. auch Moser et al. 2016, Thurm 2016). Für die Qualitätskontrolle der Datierung wurde das Programm COFECHA (Holmes 1983, Grissino-Mayer 2001) verwendet (vgl. auch Affolter 2007, Grundmann 2009, Fischer 2013,

Cebulla 2015). Aufgrund des relativ niedrigen Alters wurde zur Kontrolle der Datierung eine Segmentlänge von 30 Jahren mit einer Verschiebung um jeweils eine Dekade gewählt, mit der alle Segmente für jeden Baum mit einem aus den restlichen Proben gemittelten Master verglichen wurden. Deshalb sind die empirischen Korrelationskoeffizienten oberhalb von 0,35 bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit < 5 % signifikant.

Für die weiteren Auswertungen wurden die Programme ARSTAN von Cook und Holmes (1986), Excel (Microsoft) und die Statistiksoftware JMP (SAS Institute Inc. 2014) genutzt. Die Breite des Jahrrings im Jahr t ist durch das Alter des Baumes, das Klima, den Standort, die soziale Stellung im Bestand und zufällige Einflüsse im Jahr t geprägt. Um das Klimasignal zu extrahieren, wurde der von anderen Einflüssen herrührende Trend eliminiert. Für jeden Kern wurde durch numerische Glättung der jährlichen Schwankungen (kubische Splines mit dem Parameter 32 Jahre) ein mittel- bis langfristiger Trend definiert (Cook und Peters 1981). In diesem Trend stecken primär das Alter, aber auch langsame Standortveränderungen. Danach erfolgte die Berechnung des Tree-Ring-Index (TRI) als Quotient aus der Jahrringbreite des aktuellen Jahres und der Jahrringbreite des Trends. Die Indexkurve beschreibt damit das relative Wachstum im Jahr t im Vergleich zum Trend und schwankt nach Konstruktion um den zeitlichen Mittelwert eins. Die Weiserjahre wurden visuell als Jahre synchron geringen oder hohen Wachstums ermittelt. Es erfolgten eine einfaktorische Varianzanalyse und post-hoc ein Tukey-HSD-Test.

### Klimadaten und deren Auswertung

Als Klimadaten wurden die Tages- und Monatsdaten der Messstation Erfurt-Weimar (geografische Distanz 20 km) für den Zeitraum von 1961 bis 2015 (DWD 2016, CDC 2016) verwendet. Berechnet wurde der Pearsonsche Korrelationskoeffizient zwischen dem absoluten Wachstum bzw. der Chronologie mit verschiedenen monatlichen Klimaparametern (Niederschlag, Temperatur) für die letzten 25 Jahre (1991–2015), aufgeteilt nach den 6 Herkunftsregionen. Empirische Werte der Korrelation sind bei Beträgen oberhalb 0,38 signifikant ( $p < 0,05$ ,  $n = 25$ ).

Die Referenzdaten aus Nordamerika (USA und Canada) basieren auf der Internationalen Tree Ring Database (ITRDB) der National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA 2015) und wurden direkt oder mithilfe der „Dendrobox“ von Zang (2015) regionen- und baumartenspezifisch abgerufen.

## Ergebnisse

### Ertragskundliche Kennwerte

Der Grundflächenmitteldurchmesser beträgt für das gesamte 57-jährige Douglasienkollektiv 34,4 cm. Die Höhe des Grundflächenmittelstammes ist 30,4 m. Der Durchmesser der 100 stärksten Douglasien je Hektar ist 47,6 cm, und die Oberhöhe ist 34,1 m, I. Bonität nach Bergel (1985). Die Grundfläche beträgt  $39 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ , der Vorrat  $536 \text{ Vfm}_{\text{Schaffholz}} \text{ ha}^{-1}$  und die Stammzahl  $423 \text{ Stück ha}^{-1}$ . Das Qualitätsmerkmal Schaffform beziffert in der Kategorie „gerade“ 82 % der Bestandesglieder. Die Kategorie „gerade mit geringen Bögen“ ist bei 14 %, „bogig“ bei 2 %, „krumm“ bei 0 % und „sehr krumm, auch bei Zwieseln und Drehwuchs“, bei 1 % der Bestandesindividuen ausgewiesen. Die Astigkeit ist klassifiziert in 16 % „feinastig“, 33 % „etwas stärkere Äste im Quirl und wenige Äste zwischen den Quirlen“, 34 % „stärkere Äste im Quirl und mehrere stärkere Einzeläste zwischen den Quirlen“, 12 % „Doppelquirl mit starken Ästen“ und 4 % „Doppelquirl mit starken Zwischenästen“.

Die Provenienzen aus Washington (USA) und Oregon (USA) weisen gegenüber den Provenienzen aus British Columbia (Canada) deutlich höhere Durchmesser ( $d_g$ ,  $d_{100}$ ) und Höhen ( $h_g$ ,  $h_{100}$ ) auf. Wüchsig sind die Regionen Gebirge vor den Westkaskaden (Oregon), das Küstengebirge (USA) und die Puget-Senke (USA). Im Mittelfeld befindet sich der Kaskaden-Westhang (USA), und mattsüchtiger sind die Regionen Inland Canada und Vancouver Island (Abbildung 2). Die größten Durchmesserwerte,  $d_g$  und  $d_{100}$ , besitzt die Provenienz 206 (USA, Washington, Küstengebirge, südlich der Olympic-Halbinsel):  $d_g$  ist 41,7 cm und  $d_{100}$  ist 49,6 cm.

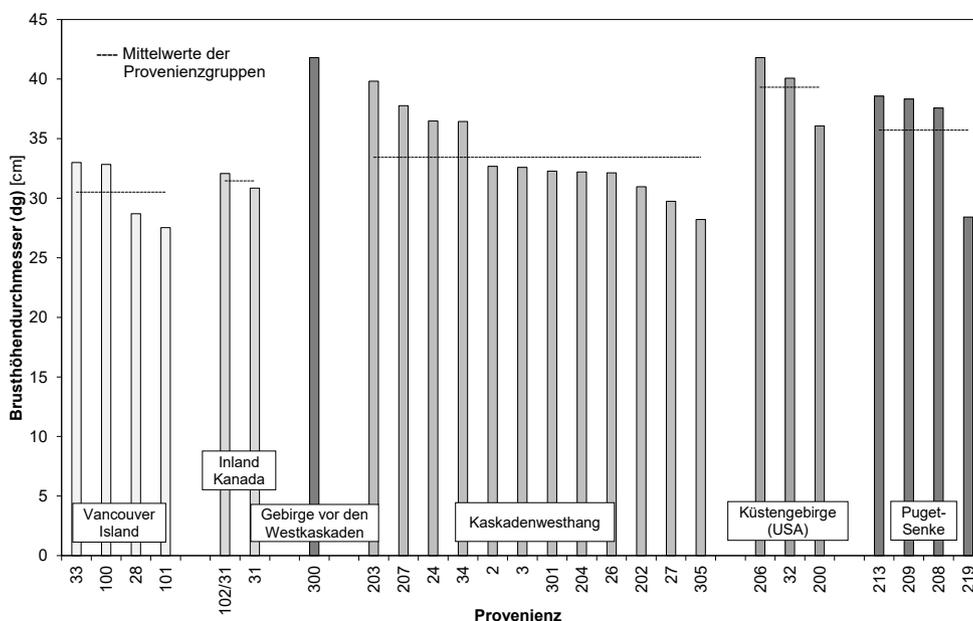


Abb. 2. Durchmesser des Grundflächenmittelstammes ( $d_g$ ) der 26 Provenienzen, regionale Anordnung (rechteckige Textfelder). Diameter at breast height of the mean base area ( $d_g$ ) of the 26 provenances arranged by regions (description field).

Bei der Höhe,  $h_g$  und  $h_{100}$ , ist die Provenienz 213 (USA, Washington, Puget-Senke) am leistungsstärksten (Abbildung 3). Der Wert von  $h_g$  beträgt 33,7 m, und  $h_{100}$  ist 37,0 m. Zudem dominiert die Provenienz 213 beim Vorrat mit 731  $Vfm_{Schaffholz} ha^{-1}$ . Die größte Grundfläche mit 53  $m^2 ha^{-1}$  weist die Provenienz 102/31 (Canada, British Columbia, Östliches Inland, Nähe Shuswap Lake) auf. Zudem dominiert diese Provenienz mit 675 Einzelbäumen je Hektar. Die geringsten Werte hat die Provenienz 101 (Canada, British Columbia, Ostteil Vancouver Island) dg 27,5 cm,  $h_g$  25,3 m. Die Provenienz 305 (USA, Oregon, Kaskadenwesthang Mittel-Oregon) ist in Bezug auf die Grundfläche mit 24  $m^2 ha^{-1}$  und den Vorrat 313  $Vfm_{Schaffholz} ha^{-1}$  am leistungsschwächsten. Bei der Stammzahl weist die Provenienz 206 mit 265 Stück  $ha^{-1}$  den geringsten Wert auf.

Die einfaktorielle Varianzanalyse der Region zeigt, dass es zwischen den 6 bestehenden Regionen keine signifikanten Unterschiede gibt (stets  $p > 0,05$ ), außer zwischen Vancouver Island und dem Küstengebirge USA. Die Varianz der Provenienzen innerhalb der Regionen ist deutlich größer als zwischen den Mittelwerten der 6 Regionen.

Bei der Betrachtung der Qualitätsmerkmale weisen 96 % der Bestandesindividuen der Provenienz 219 (Puget-Senke in Washington), 94 % der Provenienz 2 und 28 (Kaskadenwesthang in Mittel-Oregon und Ostteil Vancouver Island) sowie 92 % der Provenienz 32 (Küstengebirge Nord-Oregons) eine „gerade (zweischnürige)“ Schaftform auf. Die geringsten geradschaftigen Individuen sind den Provenienzen 209 (Washington, Puget-Senke) mit 70 % und 102/31 (Östliches Inland Canada) mit 63 % zugeordnet. Bei der ersten Astigkeitsstufe „feinastig und großer Astabstandswinkel“ sind die Provenienzen 204 (Kaskadenwesthang in Mittel-Washington) mit 34 %, 208 (Washington, Puget-Senke) mit 26 %, Provenienz 28 (Ostteil Vancouver Island) mit 26 % sowie die Provenienzen 305 und 2 (beide: Kaskadenwesthang in Mittel-Oregon) mit 32 % und 23 % qualitativ am hochwertigsten. Starkastig sind die Provenienzen 24 (Darrington am Kaskadenwesthang, Washington), 100 (Ostteil Vancouver Island), 206 (Küstengebirge südlich der Olympic-Halbinsel) und 207 (Kaskadenwesthang in Mittel-Washington).

### Dendrochronologie

Die Überprüfung mit COFECHA bestätigte, dass die Datierung aller Jahrringe absolut fehlerfrei erfolgte, da nur 20 von 930 möglichen Segmentkorrelationen geringfügig unter der Signifikanzschwelle von 0,35 lagen (in der Regel für ganz frühe Ringe). Die mittlere paarweise Korrelation aller Proben beträgt 0,641.

Für den Radialzuwachs (Abbildung 4) ist festzustellen, dass die Kurvenverläufe der einzelnen Provenienzen in den ersten 25 Jahren der erfassten Werte (1965 bis 1990) noch sehr heterogen verlaufen. Lediglich leichte Wachstumsunterschiede der wachstumsstärksten bzw. -schwächsten Provenienzen sind zu erkennen. Ab 1995 verlaufen die Kurven bis 2015 nahezu synchron bei weitgehend fester Rangfolge. Wüchsige und leistungsschwächere Provenienzen sind deutlich erkennbar. Somit hat sich im Alter von etwa 35 Jahren unter den Bedingungen der Versuchsfläche ein provenienzspezifischer Wachstumsgang eingestellt. Die Provenienz 34 (USA, Washington, Darrington am Kaskadenwesthang) weist fast durchgängig die höchsten Radialzuwächse auf. Dagegen ist die Provenienz 31 (Canada, British Columbia, Östliches Inland, Nähe Shuswap Lake) ab 1995 als mattwüchsige Provenienz optisch ausweisbar. Maximale mittlere Radialzuwächse von über 7 mm weisen die Provenienz 203 (USA, Washington, Kaskadenwesthang in Mittel Washington) im Jahr 1967, die Provenienz 24 im Jahr 1968 sowie die Provenienzen 34 (beide: USA, Washington, Darrington am Kaskadenwesthang) und 300 (USA, Oregon, Gebirge vor den Westkaskaden in N-Oregon) im Jahr 1994 auf. Jährliche mittlere Radialzuwächse unter 2 mm hat die Provenienz 31 ab 2011 bis 2015. Unterdurchschnittliches Wachstum von 1976 bis 1994 ist bei der Provenienz 101 (Canada, British Columbia, Ostteil Vancouver Island) registrierbar. Generell lässt sich feststellen, dass die Radialzuwächse seit 1995 alters- und konkurrenzbedingt abnehmen, der konkrete Verlauf aber von den Witterungsbedingungen der jeweiligen Jahre stark überformt wird.

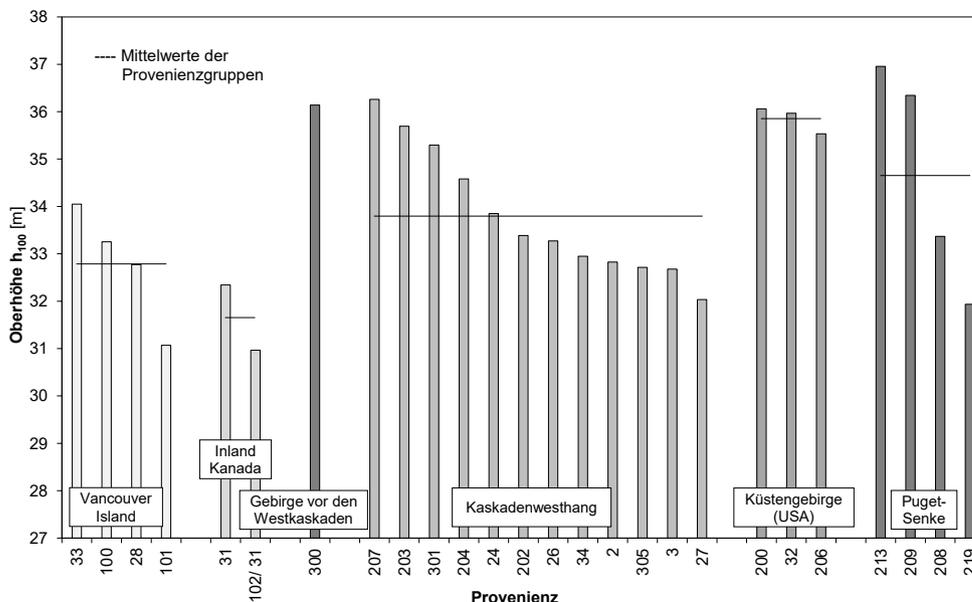


Abb. 3. Oberhöhe ( $h_{100}$ ) der 26 Provenienzen, regionale Anordnung (Textfelder). Mean height of predominant ( $h_{100}$ ) of 26 provenances arranged by regions (description field).

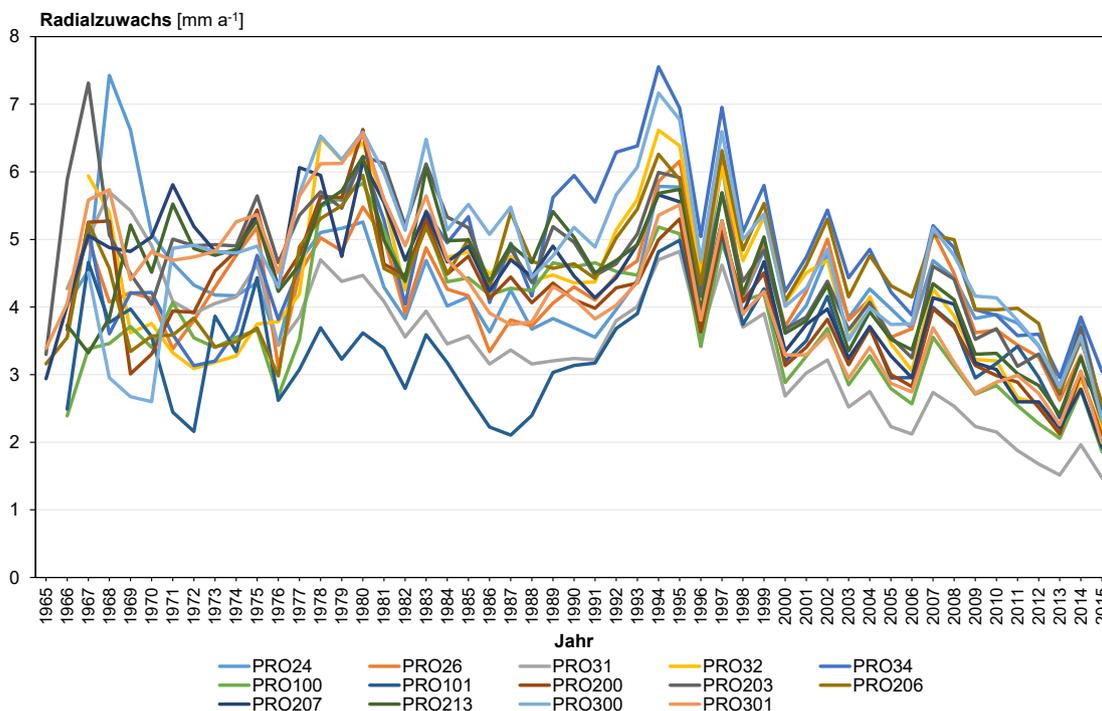


Abb. 4. Jährliche Radialzuwächse [mm a<sup>-1</sup>] der 14 Douglasienprovenienzen.  
Annual radial growth [mm a<sup>-1</sup>] of 14 Douglas-fir provenances.

Die Jahre 1980, 1997, 2002, 2007 und 2014 sind positive Weiserjahre mit einem deutlich erhöhten Wachstum im Vergleich zu den 5 vorausgegangenen und folgenden Jahren. Dagegen sind die Jahre 1976, 1982, 1996, 2003, 2013 und 2015 mit einem Einbruch des Wachstums als negative Weiserjahre ersichtlich.

Der mittlere Grundflächenzuwachs pro Baum (dm<sup>2</sup> a<sup>-1</sup>) aller 14 Provenienzen (Abbildung 5) zeigt einen heterogenen Anstieg in

der Jugendphase und ist ab etwa 1995 durch einen im Mittel gleichbleibenden jährlichen Grundflächenzuwachs (absolutes Wachstum) und einen nahezu synchronen Verlauf aller Provenienzen geprägt. Die Provenienz 101 ist ab dem Jahr 1977 bis 2000 im Vergleich mit den restlichen Provenienzen diejenige mit dem geringsten Grundflächenzuwachs. Ab dem Jahr 2000 ist Provenienz 31 am mätzigsten und liegt unter Provenienz 101. Überdurchschnittli-

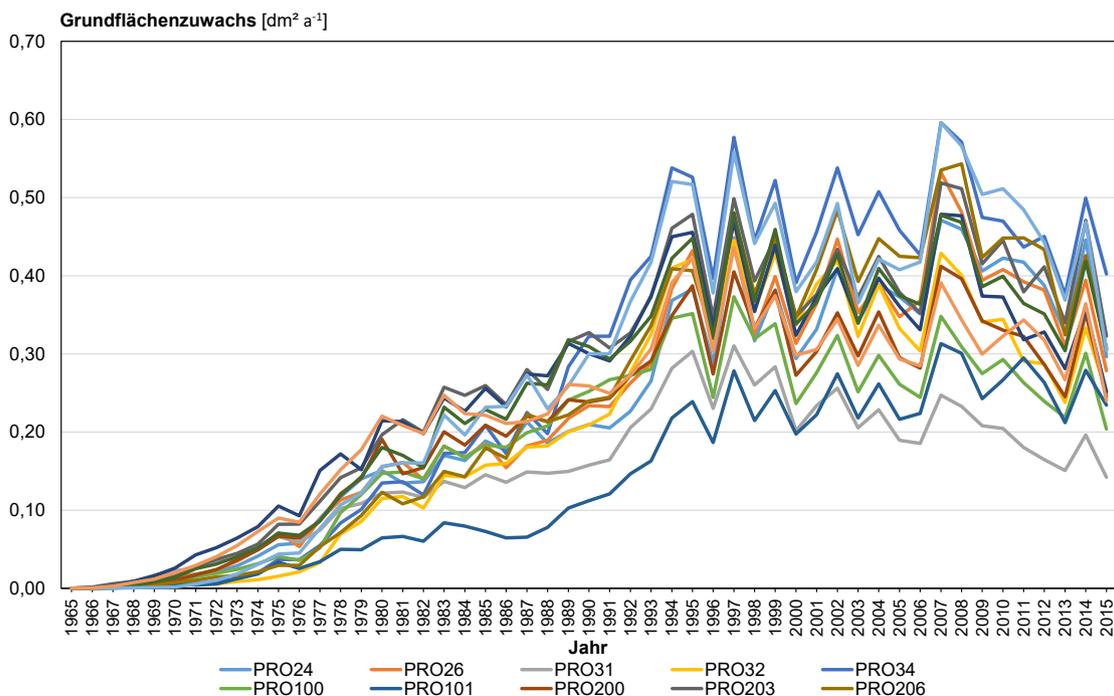


Abb. 5. Jährliche Grundflächenzuwächse [dm<sup>2</sup> a<sup>-1</sup>] der 14 Douglasienprovenienzen.  
Annual base area growth [dm<sup>2</sup> a<sup>-1</sup>] of 14 Douglas-fir provenances.

che Wuchseigenschaften weisen die Provenienzen 34 und 300 auf. Grundflächenzuwächse über 0,55 dm<sup>2</sup> erreichen die Provenienzen 34 und 300 im Jahr 1997 sowie im Jahr 2007.

Die mittleren jährlichen Kreisflächenzuwächse bilden seit etwa 1990 nahezu stationäre Zeitreihen (Abbildung 6); die lineare Regression ergibt keine signifikanten Anstiege ( $p > 0,05$ ), außer für die Provenienzen 31 und 32, die eine schwache Abnahme aufweisen ( $p < 0,01$ ). Bei dem Vergleich der zeitlichen Mittel aller Kreisflächenzuwächse für den Zeitraum 1991–2015 mithilfe einer einfaktoriellen Varianzanalyse werden signifikante Unterschiede sichtbar

( $F = 34,2, p < 0,0001$ ). Der posthoc durchgeführte Tukey-HSD-Test liefert die in Abbildung 6 angegebene Rangfolge der Provenienzen (einschließlich der homogenen Untergruppen, d. h. paarweise nicht unterscheidbaren Untergruppen).

**Korrelation von Wachstum und Klima**

Alle Herkünfte profitieren von hohen Niederschlägen (Abbildung 7) im Zeitraum März bis Juli ( $r$ -Werte um 0,5), insbesondere von hohen Niederschlägen im Juli ( $r$ -Werte um 0,4). Der Niederschlag im Mai des Vorjahres hat positiven Einfluss auf das Wachstum der Provenienzen aus Vancouver Island und aus dem Kaskadenwesthang. Die meisten Ökotypen, speziell von Vancouver Island, Inland Canada und der Puget-Senke, profitieren tendenziell von Niederschlägen im Oktober des Vorjahrs. Die Niederschläge im Februar haben einen positiven Einfluss auf das Wachstum der Provenienzen aus dem Inland Canadas. Herkünfte aus dem Gebiet vor den Westkaskaden reagieren stärker auf Niederschläge im September. Eine lineare Regression zwischen Niederschlag im Juli und Zuwachs impliziert, dass (im Mittel über alle Provenienzen) ein Millimeter mehr Regen den Grundflächenzuwachs um durchschnittlich 0,04 dm<sup>2</sup> a<sup>-1</sup> erhöht.

Bei der Analyse der Temperaturkorrelation (Abbildung 8) der Douglasienherkunftsregionen (Grundfläche, 25 Jahre) ist ein sinusförmiger Jahresgang ersichtlich. Alle Regionen profitieren vor allem von höheren Temperaturen im Februar, am stärksten die Region Vancouver Island ( $r = +0,59$ ). Die Temperaturen im September des Vorjahrs beeinflussen das Wachstum der Douglasien aus dem Inland Canadas ebenfalls signifikant ( $p = 0,052$ ). Bei den Temperaturen im Sommer lassen sich keine signifikanten Korrelationen nachweisen.

Die mittlere Autokorrelation aller Indexkurven liegt für Zeitverschiebungen von einem bis zu 10 Jahren stets unter der Signifikanzschwelle (bei  $p = 0,05$ ). Die Douglasie hat somit keine nachweisbare Autokorrelation bzw. „Gedächtnis“. Bei gleichen Witterungsbedingungen hängt das relative Wachstum des laufenden Jahres nicht von der Qualität des Vorjahres ab.

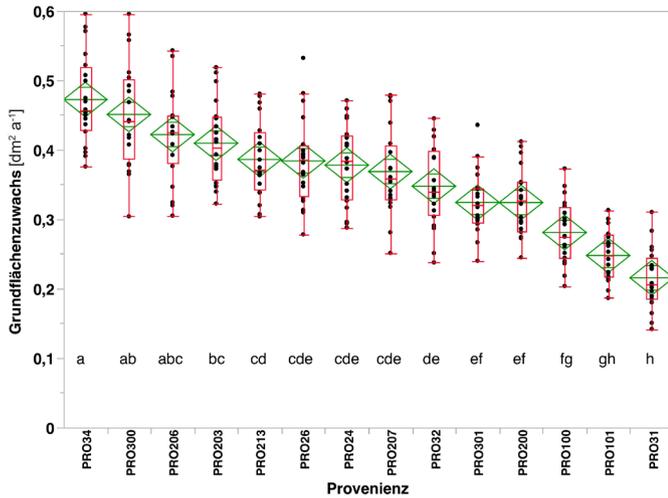


Abb. 6. Boxplots für die zeitlichen Mittel (1991–2015) der jährlichen Grundflächenzuwächse, geordnet nach absteigenden Werten. Gleiche Buchstaben bezeichnen homogene Untergruppen, die Diamanten Mittelwert und Konfidenzintervall. Boxplots for temporal averages (1991–2015) of annual base increments, ordered by decreasing values. Equal characters denote homogeneous subgroups, the diamonds denote average and confidence interval.

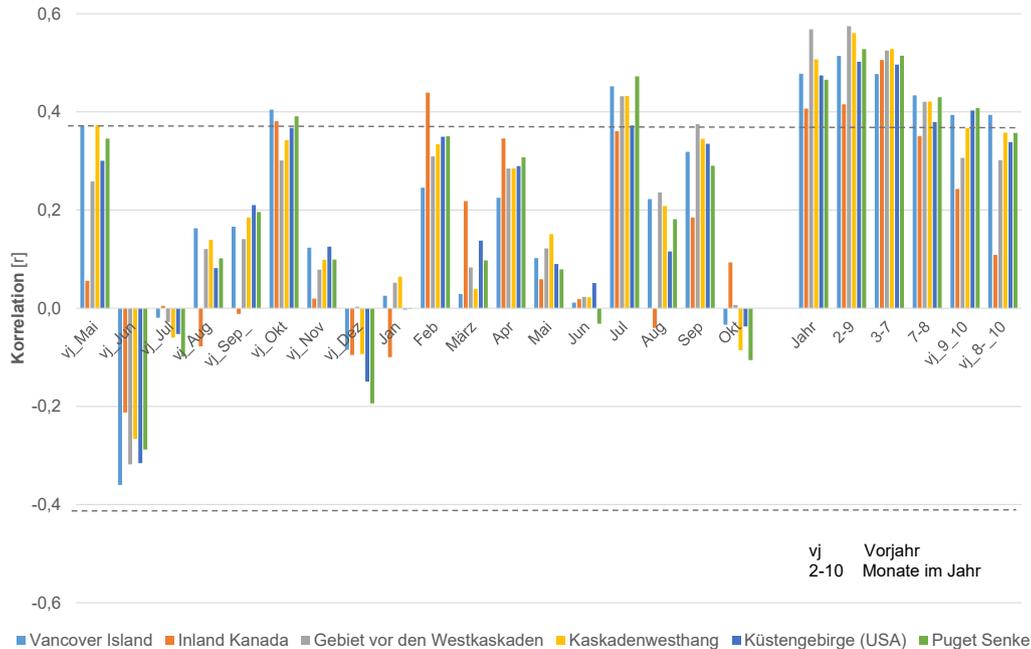


Abb. 7. Korrelationen der mittleren jährlichen Kreisflächenzuwächse der sechs Herkunftsregionen mit den monatlichen Niederschlagsmengen (im Zeitraum 1991–2015). Correlations of the average annual base area increases of the six regions of provenance with the monthly precipitation (period 1991–2015).

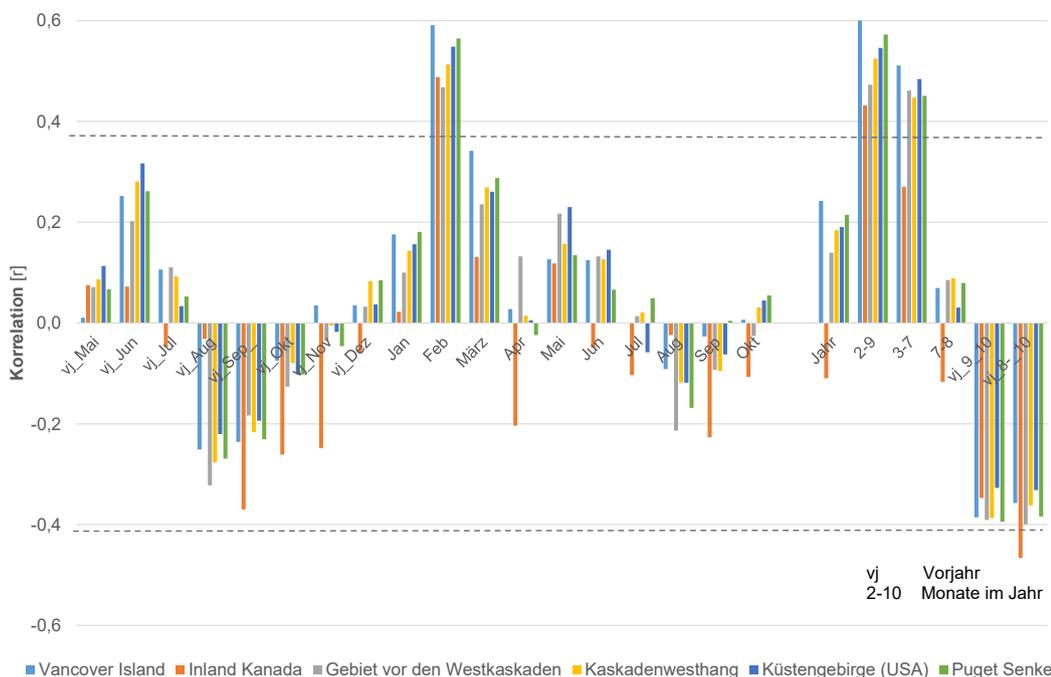


Abb. 8. Korrelation der Jahrringchronologien mit der Temperatur (letzte 25 Jahre), Revier Kranichfeld. Correlation of the tree ring chronologies of Douglas-fir regions with the temperature (past 25 years), forest district Kranichfeld.

Die vergleichende Betrachtung der Klimabedingungen im Ursprungsgebiet der leistungsstärksten und der -schwächsten Provenienz mit den Klimabedingungen (1961–2015) im Revier Kranichfeld (Abbildung 9) zeigt, dass die (bezüglich  $h_{100}$ , dg) leistungsstärkste Provenienz 206 (Washington) höhere Niederschläge und Durchschnittstemperaturen im Ursprungsgebiet vorfindet. Der Hauptniederschlag fällt in der vegetationsfreien Zeit. Die mattwüchsige Provenienz 31 hat vergleichbare Niederschlagssummen (wie Kranichfeld) und niedrigere Temperaturen im Herkunftsgebiet (Canada). Der Niederschlag fällt in der Vegetationszeit, so wie auch in Kranichfeld.

## Diskussion

Die Douglasien sind in einem waldbaulich und versuchstechnisch ungepflegten Zustand gewachsen, da (wegen zeitweise begrenzten Zugangs, Änderung der Besitzverhältnisse) keine Pflege und/oder keine Durchforstung durchgeführt wurden. Die Parameter, die den Durchmesser betreffen, sind somit durch die intraspezifische Konkurrenz mit beeinflusst. Der Faktor Konkurrenz überlagert jedoch nicht die deutlich sichtbaren Klimasignale. Der Versuchsstandort Kranichfeld ist mit einer mittleren 1. Bonität nach der nordwestdeutschen Douglasien-Ertragstafel (Bergel 1985) sehr leistungsfähig. Welche ertragskundlichen Werte die Douglasie nach Pflegeeingriffen aufgewiesen hätte, ist rein spekulativ. Das Verhältnis von mittlerem dg zu mittlerem  $d_{100}$  deutet auf eine (Selbst-)Differenzierung hin. Die gerade Schaftform bei über 80 % der Bestandesindividuen ist als positiv hervorzuheben. Zudem zeigt sich, dass keine Abhängigkeiten der Qualitätsmerkmale zu den ertragskundlichen Parametern bestehen. Hinzu kommt, dass die Provenienzen, die mithilfe ertragskundlicher Untersuchungen (dg,  $h_{100}$ ) als die fünf leistungsfähigsten eingestuft wurden (206, 300, 213, 203 und 207), bei den dendrochronologischen Untersuchungen vor allem in den letzten 25 Jahren

hohe Radialzuwächse aufweisen. Am leistungsstärksten bezüglich des Radialzuwachses und des Höhenwachstums sind einzelne Provenienzen aus Washington und Oregon, besonders aus den Regionen Küstengebirge USA (206), Kaskadenwesthang (203, 207). Dies deckt sich mit den Resultaten von Schober et al. (1983, 1984), Kenk und Thren (1984), Kleinschmit et al. (1991), Weller (2011). Hinzu kommen die Provenienz 213 aus der Puget-Senke, die auch von Rau (2005) als positiv bewertet wurde, und die Provenienz 300 (Westkaskaden in N-Oregon), die auch Kenk und Thren (1984) sowie Weller (2011) als wüchsig deklariert haben. Bei dem Vergleich unserer Ergebnisse mit denen älterer Douglasien-Provenienzversuche in Sachsen (Wolf et al. 2007) zeigt sich, dass lediglich eine der 5 ausgewählten Plusbaum-Provenienzen mit den leistungsstärksten Provenienzen in Sachsen übereinstimmt. Alle kanadischen Provenienzen, sowohl Inlands- als auch Küstenprovenienzen, sind bei der Betrachtung der ertragskundlichen und dendrochronologischen Untersuchungen den anderen Regionen unterlegen. Diese Ergebnisse decken sich unter anderem mit Kenk und Thren (1984), Kleinschmit et al. (1991), Rau (2005) sowie Weller und Jansen (2017). Dabei gilt es zu beachten, dass nicht alle Provenienzen der beschriebenen Regionen leistungsstark oder -schwach sind. Innerhalb der Regionen gibt es zwischen den Provenienzen starke Streuungen, sodass bei der Saatgutauswahl neben der Region auch die Provenienz überprüft werden sollte.

Isaac-Renton et al. (2014) haben eine europaweite Metaanalyse mit Daten von 120 Testflächen durchgeführt sowie mithilfe der Wachstums- und Klimadaten (IPCC 2014) die zukünftig wüchsigsten Provenienzen für ganz Europa modelliert. Als Resultat dieser Untersuchung zählen Herkünfte aus Washington Coast, Washington Dry Coast and Washington Cascades zu den leistungsfähigsten Provenienzen in Zentraleuropa. In den Jahren 1961 bis 1990 haben in Zentraleuropa die Provenienzen aus Washington Cascades und Washington Coast dominiert. In den Jahren 1990 bis 2009 und in den Klimaszenarien bis zum Jahr 2020 bzw. bis zum Jahr 2050 empfehlen Isaac-Renton et al. (2014) die Provenienzen Washington

Coast und Washington Dry Coast. Für das Jahr 2080 werden die Provenienzen Washington Dry Coast und Oregon Dry Coast als optimale Provenienzwahl empfohlen. Alle ab 2020 beschriebenen bzw. prognostizierten Herkunftsregionen zeigten und zeigen schon jetzt gute Wuchsleistungen in Kranichfeld. Dies könnte auf der Tatsache basieren, dass das Thüringer Becken, in dem sich Kranichfeld befindet, mit einem mittleren Jahresniederschlag von 523 mm (1961–2015) eine sehr trockene Region in Deutschland ist und

Klimabedingungen besitzt, die zukünftig für weite Teile Zentraleuropas prognostiziert werden.

Die Ansprache der Qualitätsmerkmale Schaftform und Astigkeit ist fünffach gestuft in Anlehnung an Wolf et al. (2007). Für die Schaftform nutzten auch Weller und Jansen (2017) fünf Kategorien. In Hessen (Rau 1985) und Österreich (Schultze und Raschke 2002) sind drei Kategorien aufgenommen wurden. Die qualitativ hochwertigsten Stämme (zweischnürige Schaftform) sind Puget-Senke in Washington, Kaskadenwesthang in Mittel-Oregon, Ostteil Vancouver Island sowie Küstengebirge Nord-Oregons zuzuordnen. Die Puget-Senke wird auch von Wolf et al. (2007) als qualitativ hochwertig beschrieben. Bei der Astigkeit zeigen sich, ähnlich wie bei der Schaftform, qualitative Schwankungen ohne regionale Abhängigkeiten. Es gibt lokale Qualitätsunterschiede, aber anhand der Ergebnisse kann keine Region als qualitativ (Schaftform, Astigkeit) hochwertig ausgewiesen werden.

Bei dem Radialzuwachs bzw. Grundflächenzuwachs und auch bei der damit zusammenhängenden Klimakorrelation sind bei der Douglasie zwei deutlich unterscheidbare Entwicklungsphasen sichtbar geworden: In der juvenilen Phase ist der Radialzuwachs durch das sogenannte „Jugendrauschen“ geprägt, das von lokalen und individuellen Besonderheiten abhängt. In der adulten Phase hat sich ein provenienzspezifischer Wachstumsgang eingestellt. Diese Wachstumsveränderung (Rangveränderung) ist auch in Norddeutschland von Weller und Jansen (2017) und in Süddeutschland von Kenk und Ehring (2004) anhand der Höhenwuchsleistung (Oberhöhe) an der Douglasie festgestellt worden. Zudem ist die Wachstums- bzw. Rangveränderung bei dem Vergleich der aufgenommenen Daten aus dem Jahr 1985 (Dittmar et al. 1985) im Vergleich zu unseren Daten aus dem Jahr 2015 (Carl 2016) auch in Kranichfeld nachweisbar.

Die Klimakorrelationen der Chronologien zeigen, dass der Niederschlag im Juli (als Einzelmonat) am deutlichsten das Wachstum der Douglasie positiv beeinflusst, aber auch die meisten anderen Monate relativ hohe positive Korrelationen erreichen. Bei der Temperatur gibt es einen ausgeprägten Jahresgang, wobei vor allem höhere Temperaturen im Februar sehr stark mit höherem Wachstum korrelieren. Dies könnte in einer früheren Aktivierung von physiologischen Vorgängen im Wurzelbereich begründet sein. Im Gegensatz zu den meisten anderen Baumarten (Dittmar und Elling 1999, Friedrichs et al. 2009, Scharnweber et al. 2011, Carrer et al. 2012, Beck et al. 2013, Gillner et al. 2014) ist keine signifikante Korrelation zu den Sommertemperaturen nachweisbar. Das relative, also speziell alterstrendbereinigte, Wachstum der Douglasie weist keine Autokorrelation auf, während andere einheimische Baumarten Autokorrelationen 1. Ordnung bis 0,4 aufweisen. Die einheimische Baumart Weißtanne (*Abies alba* MILL.) zeigt sogar einen signifikant positiv Autokorrelationskoeffizienten bis zur 2. Ordnung, d.h., das relative Wachstum der Tannen ist – bei gleicher Witterung – höher, wenn bereits das Vorjahr relativ gut war und umgekehrt (Cebulla 2015). Die Douglasie hingegen startet jedes Jahr bei „null“. Ob diese Eigenschaft in Bezug auf den Klimawandel positiv oder negativ einzustufen ist, ist bisher strittig. Diskutiert wird, dass die Douglasie sich durch diese Fähigkeit schneller erholt als die einheimischen Baumarten und somit klimaangepasster ist.

Die klimatischen Bedingungen im nordamerikanischen Herkunftsgebiet der in Kranichfeld am besten abschneidenden Provenienzen sind im Vergleich zu Kranichfeld durch höhere Temperaturen und höhere Niederschläge charakterisiert, wobei die Niederschläge aber überwiegend in der vegetationsfreien Zeit fallen. Trotzdem sind diese Provenienzen in Kranichfeld am leistungsstärksten (dg,  $h_{100}$ ), während erstaunlicherweise Provenienzen mit vergleichbaren Klimabedingungen weniger wüchsig sind.

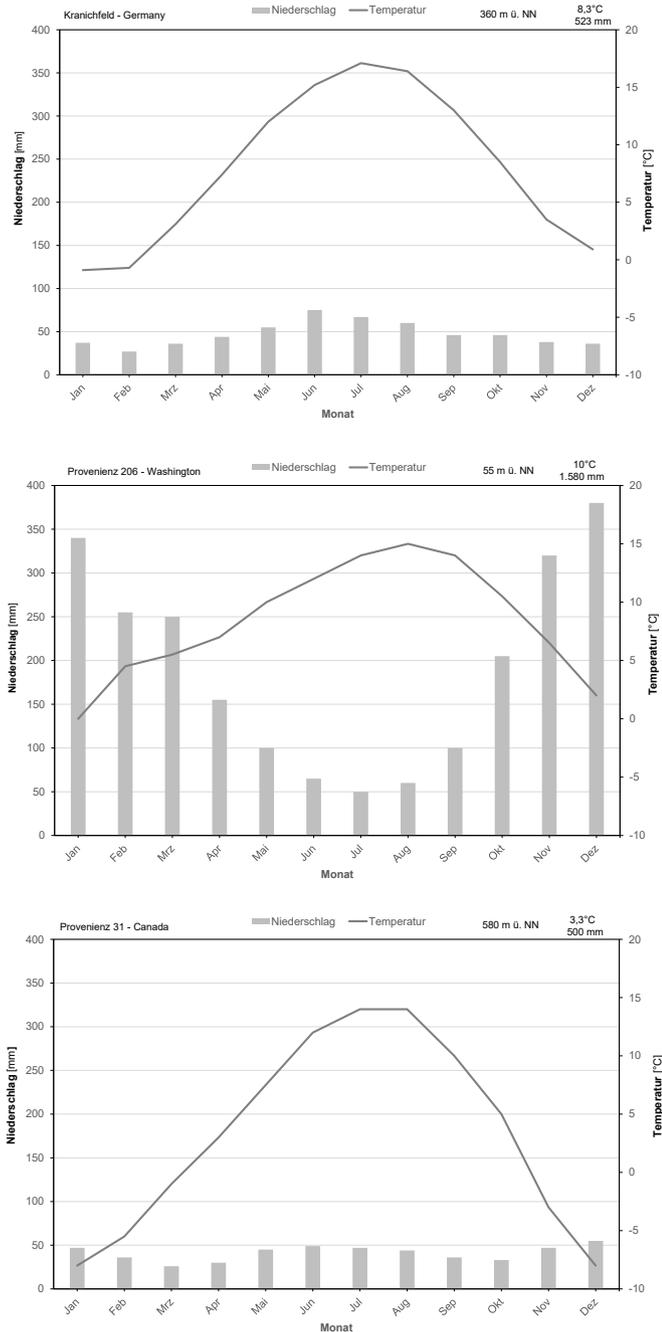


Abb. 9. Klimadiagramme Deutschland-Kranichfeld (360 m ü. NN, 523 mm, 8,3 °C), Washington-Küstengebirge, südliche Olympic-Halbinsel (55 m ü. NN, 1.580 mm, 10,0 °C) und British Columbia-Östliches Inland, Shuswap Lake (580 m ü. NN, 500 mm, 3,3 °C). Climate charts Germany-Kranichfeld (360 m ü. NN, 523 mm, 8,3 °C), Washington coast area, south Olympic Peninsula (55 m ü. NN, 1.580 mm, 10,0 °C) and British Columbia-east interior area, Shuswap Lake (580 m ü. NN, 500 mm, 3,3 °C).

## Ausblick

Die Herkunftswahl bei der Douglasie hat entscheidende Auswirkungen auf das Wachstum. Die aufgrund ihrer Wuchseigenschaften und Klimareaktionen zu bevorzugenden Provenienzen im Thüringer Becken sind die Provenienzen aus der Küstenregion Washingtons und Nord-Oregons (Stand 2015). Die Douglasie reagiert auf Umweltinflüsse plastischer als die einheimischen Baumarten. Im Zuge des Klimawandels fällt immer wieder der Name der nordamerikanischen Konifere *Pseudotsuga menziesii*, die nicht als invasiv gilt (Spellmann et al. 2015, European Commission for Environment, Fisheries and Maritime Affairs 2016). Aufgrund dessen ist die Douglasie als Zukunftsbaumart in das Projekt „FitForClim“ integriert worden. Weitere Analysen der langfristig beobachteten Provenienzversuche in Deutschland können zukünftig Erkenntnisse für die Saatguteignung der Douglasienherkünfte liefern. Zudem sind Analysen der Reaktionen der Douglasie in Mischbeständen, z. B. Thurm et al. (2016) für die Mischung der Douglasie mit der Rotbuche, interessante Fragestellungen vor dem Hintergrund der Risikostreuung.

## Danksagung

Besonderer Dank gilt den Mitarbeitern des Forstlichen Forschungs- und Kompetenzzentrums (FFK) Gotha (ThüringenForst AöR). Des Weiteren ist Herrn Dr. C. Freise (Forstamtsleiter Erfurt-Willrode) und Herrn R. Schäfer (Revierleiter Revier Kranichfeld) als Praktiker vor Ort zu danken. Ebenso gebührt unser Dank Herrn Dr. H. Wolf, Herrn A. Alghurbani und Herrn J. Zimmermanns für ihre Hilfe.

## Literatur

- Affolter N. 2007. Aufbau eines Tieflagen-Jahrringnetzwerkes im Rhonetal, Wallis, und seine klimatische Analyse. Diplomarbeit Philosophisch-naturwissenschaftliche Fakultät Universität Bern. [http://www.wsl.ch/fe/landschaftsdynamik/dendroclimatology/Diplomarbeiten/Diplom\\_Pascale\\_Affolter.pdf](http://www.wsl.ch/fe/landschaftsdynamik/dendroclimatology/Diplomarbeiten/Diplom_Pascale_Affolter.pdf) (abgerufen am 03.03.2016)
- Beck W., Sanders T.G., Pofahl U. 2013. CLIMTREG: detecting temporal changes in climate-growth reactions – a computer program using intra-annual daily and yearly moving time intervals of variable width. *Dendrochronologia* 31, 232–241
- Bergel D. 1985. Douglasien-Ertragstafel für Nordwestdeutschland. Niedersächsische Forstliche Versuchsanstalt Abt. Ertragskunde (Hrsg.), Göttingen
- BGR (Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe) 2012. Bodenübersichtskarte 1:200.000 (BÜK 200) – Erfurt CC 5526. Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe in Zusammenarbeit mit den staatlichen Geologischen Diensten der Bundesrepublik Deutschland (Hrsg.), Hannover
- Brosinger, F., Baier, R. 2008. Chancen und Grenzen des Waldbaus mit der Douglasie in Bayern. In: Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (Hrsg.) Die Douglasie – Perspektiven im Klimawandel. LWF Wissen 59, 33–38
- Carl C. 2016. Untersuchung des 1961 angelegten Douglasien-Provenienzversuchs im Revier Kranichfeld (Thüringen) unter ertragskundlichen und dendrochronologischen Aspekten. Masterarbeit Fachhochschule Erfurt, Autoren-Manuskript (unveröff.)
- Carré M., Motta R., Nola P. 2012. Significant mean and extreme climate sensitivity of Norway spruce and silver fir at mid-elevation mesic sites in the Alps. *Plos One*, 7 (11), e50755
- CDC (Climate Data Center) 2016. Zugang zu den Klimadaten des Deutschen Wetterdienstes. [http://www.dwd.de/DE/klimaumwelt/cdc/cdc\\_node.html](http://www.dwd.de/DE/klimaumwelt/cdc/cdc_node.html) (abgerufen 17.03.2016)
- Cebulla D. 2015. Dendrochronologische Untersuchungen zum Wachstum der Weißtanne (*Abies alba* MILL.) in Thüringen. Bachelorarbeit Friedrich-Schiller-Universität Jena, Autoren-Manuskript (unveröff.)
- Cook E., Holmes R.L. 1986. ARSTAN. Guide for computer program ARSTAN. The University of Arizona Laboratory of Tree-Ring Research, Arizona
- Cook E., Peters K. 1981. The smoothing spline. A new approach to standardizing interior tree-ring width series for dendroclimatic studies. Lamont-Doherty Geological Observatory, New York
- Dittmar C., Elling W. 1999. Jahrringbreite von Fichte und Buche in Abhängigkeit von Witterung und Höhenlage. *Forstwissenschaftliches Centralblatt* 118, 251–270
- Dittmar O., Knapp E., Schulsen B. 1985. Ergebnisse des internationalen Douglasienprovenienzversuchs 1961 im Pleistozän der DDR. *Beiträge für die Forstwirtschaft* 19, 8–18
- DWD (Deutscher Wetterdienst) 2016. Wetter und Klima aus einer Hand. <http://www.dwd.de/DE/leistungen/klimadatendeutschland/klarchivtagmonat.html?nn=16102> (abgerufen am 09.12.2015)
- European Commission for Environment, Fisheries and Maritime Affairs 2016. Invasive alien species. [http://ec.europa.eu/environment/nature/invasivealien/index\\_en.htm](http://ec.europa.eu/environment/nature/invasivealien/index_en.htm) (abgerufen 09.12.2016)
- Fischer S. 2013. Wuchspotenziale der Waldbäume unter sich ändernden Klimabedingungen im westdeutschen Mittelgebirgsraum – eine dendroökologische Netzwerkanalyse. Dissertation Mathematisch-Naturwissenschaftliche Fakultät Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn
- Friedrichs D. A., Trouet V., Büntgen U., Frank D.C., Esper J., Neuwirth B., Löffler J. 2009. Species-specific climate sensitivity of tree growth in Central-West Germany. *Trees* 23, 729–739
- Gillner S., Bräuning A., Roloff A. 2014. Dendrochronological analysis of urban trees: climatic response and impact of drought on frequently used tree species. *Trees* 28, 1079–1093
- Grissino-Mayer H.D. 2001. Evaluating crossdating accuracy: a manual and tutorial for the computer program COFECHA. *Tree-Ring Research* 57, 205–221
- Grundmann B.M. 2009. Dendroökologische und dendroökologische Untersuchungen des Zuwachsverhaltens von Buche und Fichte in naturnahen Mischwäldern. Dissertation TU Dresden. <http://www.qucosa.de/fileadmin/data/qucosa/documents/56/1243414382782-8513.pdf> (abgerufen 10.11.2015)
- Hedderich J., Sachs L. 2015. *Angewandte Statistik: Methodensammlung mit R*. Springer, Berlin
- Hermann R. 1981. Die Gattung *Pseudotsuga*, ein Abriss ihrer Systematik, Geschichte und heutigen Verbreitung. *Forstarchiv* 52, 204–212
- Holmes R.L. 1983. Computer-assisted quality control in tree-ring dating and measurement. *Tree-Ring Bulletin* 43, 69–78
- IBM Corp. Released 2013. IBM SPSS Statistics for Windows, Version 22.0. Armonk, NY
- IPCC (Intergovernmental Panel of Climate Change) 2014. Climate change 2014. In: Intergovernmental panel of climate change (Hrsg.) Synthesis report - fifth assessment report 5, Geneva, Switzerland. [http://ar5-syr.ipcc.ch/ipcc/resources/pdf/IPCC\\_SynthesisReport.pdf](http://ar5-syr.ipcc.ch/ipcc/resources/pdf/IPCC_SynthesisReport.pdf) (abgerufen am 13.04.2016)
- Isaac-Renton M., Roberts D., Hamann A., Spiecker H. 2014. Douglas-fir plantations in Europe: a retrospective test of assisted migration to address climate change. *Global Change Biology* 20, 2607–2617
- Kenk G., Ehring A. 2004. Variation in Herkunftsversuchen. In: Hussendörfer E., Aldinger E. (Hrsg.) Veränderungen in der Höhenwuchsleistung (h200) beim Internationalen Douglasien-Provenienzversuch 1958 in Baden-Württemberg. *Berichte Freiburger Forstliche Forschung* 54, 79–89
- Kenk G., Thren M. 1984. Ergebnisse verschiedener Douglasienprovenienzversuche in Baden-Württemberg. Teil I: Der Internationale Douglasien-Provenienzversuch von 1958. *Allgemeine Forst- und Jagdzeitung* 155, 165–183
- Kleinschmit J., Svolba J., Weisgerber H., Rau H.-M., Dimpflmeier H., Ruetz W. 1991. Ergebnisse des IUFRO-Douglasien-Herkunftsversuches in West-Deutschland im Alter 20. *Forst und Holz* 46, 238–241
- Lavender D.P., Hermann R.K. 2014. Douglas-fir. The Genus *Pseudotsuga*. Forest Research Publications Office, Oregon State University, Corvallis
- Liesebach M., Degen B., Grotehusmann H., Janßen A., Konnerth M., Rau H.-M., Wolf H. 2013. Strategie zur mittel- und langfristigen Versorgung mit hochwertigem forstlichem Vermehrungsgut durch Züchtung in Deutschland. In: Johann Heinrich von Thünen Institut (Hrsg.) Thünen Report 7, Band 7, Braunschweig, Deutschland. [http://literatur.thuenen.de/digbib\\_extern/dn052664.pdf](http://literatur.thuenen.de/digbib_extern/dn052664.pdf) (abgerufen am 11.03.2017)
- Mehl M. 2001. Ergebnisse des internationalen Douglasien-Provenienzversuches von 1961 in Mecklenburg-Vorpommern. *Mitteilung aus dem Forstlichen Versuchswesen Mecklenburg-Vorpommern* 3, 9–17

- Moser A., Rötzer T., Pauleit S., Pretzsch H. 2016. The urban environment can modify drought stress of small-leaved lime (*Tilia cordata* Mill.) and black locust (*Robinia pseudoacacia* L.). *Forests* 71, 1–20
- NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) 2015. International Tree Ring Data Bank (ITRDB). <https://www.ncdc.noaa.gov/data-access/paleoclimatology-data/datasets/tree-ring> (abgerufen am 04.10.2015)
- Pearson K. 1901. Principal components analysis. *The London, Edinburgh and Dublin Philosophical Magazine and Journal* 6, 566
- Rau, H.M. 2005. Der Internationale Douglasien-Provenienzversuch in Hessen. Ergebnisse bis zum Alter 27. *Forst und Holz* 60, 291–294
- SAS Institute Inc. 2014. JMP v11, SAS Institute Inc., Cary, NC, USA
- Scharnweber T., Manthey M., Criegee C., Bauwe A., Schröder C., Wilmking M. 2011. Drought matters-declining precipitation influences growth of *Fagus sylvatica* L. and *Quercus robur* L. in north-eastern Germany. *Forest Ecology and Management* 262, 947–961
- Schober R., Kleinschmit J., Svolba J. 1983. Ergebnisse des Douglasien-Provenienzversuches von 1958 in Nordwestdeutschland, Teil I. *Allgemeine Forst- und Jagdzeitung* 154, 209–236
- Schober R., Kleinschmit J., Svolba J. 1984. Ergebnisse des Douglasien-Provenienzversuches von 1958 in Nordwestdeutschland, Teil II. *Allgemeine Forst- und Jagdzeitung* 155, 53–80
- Schulze U., Raschke H.D. 2002. Douglasienherkünfte für den „Sommerwarmen Osten“ Österreichs. Ergebnisse aus Douglasien-Herkunftsversuchen des Institutes für Forstgenetik FBVA-Wien. FBVA Bericht 126
- Spellmann H., Weller A., Brang P., Michiels H.-M., Bolte A. 2015. Douglasie (*Pseudotsuga menziesii* [Mirb.] Franco). In: Vor T., Spellmann H., Bolte A., Ammer C. (Hrsg.) *Potenziale und Risiken eingeführter Baumarten – Baumartenportraits mit naturschutzfachlicher Bewertung*. Göttinger Forstwissenschaften, Band 7, Universitätsverlag Göttingen, 187–217. [https://www.univerlag.uni-goettingen.de/bitstream/handle/3/isbn-978-3-86395-240-2/GoeForst7\\_baumarten.pdf?sequence=4](https://www.univerlag.uni-goettingen.de/bitstream/handle/3/isbn-978-3-86395-240-2/GoeForst7_baumarten.pdf?sequence=4) (abgerufen am 12.02.2016)
- ThüringenForst AöR 2015. 6.2 Revierbuch lang, Stichtag Forsteinrichtung: 01.01.2013, Forstamt: 27 Erfurt – Willrode, Revier: 6 Kranichfeld. DSW 9.1.16.1-1612, In: *ThüringenForst – Anstalt öffentlichen Rechts, Forstliches Forschungs- und Kompetenzzentrum Gotha* (Hrsg.), 1–2
- ThüringenForst AöR 2016. 315a1-1. DGL-Versuchsfläche. In: *ThüringenForst – Anstalt öffentlichen Rechts, Forstliches Forschungs- und Kompetenzzentrum Gotha* (Hrsg.), Copyright/Datenquellen: Geobasisdaten – Thüringer Landesamt für Vermessung und Geoinformation öffentliche Straßen – NAVTEQ/Intergraph SG&I Deutschland GmbH
- Thurm E., Uhl E., Pretzsch H. 2016. Mixture reduces climate sensitivity of Douglas-fir stem growth. *Forest Ecology and Management* 376, 205–220
- Weller A. 2011. Prüfung der Anbaueignung von 38 autochthonen bzw. nichtautochthonen Douglasienherkünften (*Pseudotsuga menziesii* [Mirb.] Franco) in Bezug auf ihre Wuchsleistung und qualitative Entwicklung. Dissertation Fakultät Forstwissenschaften und Waldökologie Universität Göttingen. Cuvillier, Göttingen
- Weller A., Jansen M. 2017. Internationale Douglasien-Provenienzversuchserie von 1961: Vergleich ausgewählter Herkünfte auf Basis von Oberhöhenleistung und Rangveränderungen bis Alter 58 Jahre. *Forstarchiv* 88, 3–16
- Wolf H., Gerold D., Bach C. 2007. Ergebnisse älterer Douglasien-Provenienzversuche in Sachsen. Kolloquium Staatsbetrieb Sachsenforst am 13. März 2007, Autoren Manuskript (unveröff.)
- Zang C. 2015. Dendrobox. <http://dendrobox.org/> (abgerufen am 26.12.2015)