

Verwendungszonen für Vermehrungsgut von Douglasie auf Basis von Klimadaten und Herkunftsversuchen

Deployment zones for reproductive material of Douglasfir based on climate and observations from provenance trials

Katharina J. Liepe, Mirko Liesebach

Zusammenfassung

Für die Begründung zukünftiger Baumgenerationen ist die Anpassungsfähigkeit an klimatische Verhältnisse von großer Bedeutung. Forstliches Vermehrungsgut sollte eine hohe genetische Vielfalt aufweisen, um bei Saat oder Pflanzung Produktivität und Vitalität des Waldes zu gewährleisten. Voraussetzung dafür ist die Kenntnis der Ausprägung unterschiedlicher Genotypen sowie der treibenden klimatischen Faktoren, welche über lange Zeiträume hinweg maßgeblich zur lokalen Anpassung beigetragen haben. Aufgrund klimatischer und standörtlicher Verhältnisse sind in der Vergangenheit Herkunftsgebiete für die Erzeugung forstlichen Vermehrungsgutes ausgewiesen worden. Im Waldklimafondsprojekt „FitForClim“ soll durch züchterische Verbesserung Vermehrungsgut erzeugt werden, welches für größere Regionen geeignet ist. Dafür werden gezielt Genotypen gesucht, ausgewählt und auf Versuchsflächen getestet. Die Douglasie (*Pseudotsuga menziesii* [Mirb.] Franco) ist

in Deutschland seit SCHWAPPACH zu einer wichtigen Wirtschaftsbaumart geworden. Aufgrund höherer Trockenheitstoleranz im Vergleich zur Fichte sowie der Möglichkeit einer erfolgreichen Mischung mit Buche eignet sie sich besonders als Ersatzbaumart im sich ändernden Klima. Bezüglich der Anpassung nimmt sie eine Sonderstellung ein, da sie erst im 19. Jahrhundert in Europa eingeführt wurde. Anpassungsprozesse konnten daher nur eingeschränkt stattfinden. Die Ausweisung von Verwendungszonen für Zuchtmaterial orientiert sich deshalb primär an klimatischen Unterschieden. Biologisch relevante Klimadaten wurden mittels einer Hauptkomponentenanalyse (engl. *Principal Component Analysis*) in unabhängige Dimensionen zusammengefasst. In einem Clusteransatz wurden diese anschließend in klimatisch relativ homogene geographische Regionen – die potentiellen Verwendungszonen – gegliedert. Zu ihrer baumartenspezifischen Validierung dienten auf Versuchsflächen beobachtete Unterschiede in Wachstum und Resistenzen.

Aufgabe des Projektes „FitForClim“ ist die Erzeugung von züchterisch verbessertem Vermehrungsgut für großräumige Verwendungszonen. Auf deutschlandweit vorhandenen Versuchsflächen wird eine wuchs- und qualitätsorientierte Auswahl von Plusbäumen durchgeführt. Durch ihre vegetative Vermehrung wird die Grundlage für Klonarchive und Samenplantagen geschaffen, die den einzelnen Verwendungszonen zugeordnet werden. Eine Anpassung der Verwendungszonen an prognostizierte Klimaänderungen soll weiterhin möglich sein.

Stichworte: Klimawandel, Plusbaumauswahl, *Pseudotsuga menziesii*, Verwendungszonen, Züchtung

Abstract

Adaptability to climatic conditions is of major importance when establishing future forest generations. Reproductive material should have high genetic diversity to ensure forest productivity and health. This requires a sound knowledge of the form of different genotypes, as well as of the climatic drivers that have shaped local adaptation over long time frames. In the past, provenance regions for forest reproductive material were delineated based on climatic and geographic conditions. The “FitForClim” project aims, through selective breeding, to produce improved reproductive material which is suitable for larger regions. Appropriate genotypes are sought and selected to be tested on forestry trial sites.

Since SCHWAPPACH’s work, the Douglas-fir (*Pseudotsuga menziesii* [Mirb.] Franco) has become an important commercial tree species in Germany. A higher drought tolerance in comparison to Norway spruce and the possibility of a successful species mixture with European beech make it a suitable replacement for spruce under changing climate conditions. In terms of adaptation Douglas-fir represents a special case. Due to its relatively recent introduction (in the 19th century) adaptation processes could only have occurred to a limited extent. The

delineation of deployment zones for breeding material is therefore orientated primarily on climatic differences. Using principle component analysis, biologically relevant climate data were grouped into independent dimensions, which were subsequently subdivided into climatically relatively homogenous geographic regions - the potential deployment zones - using a cluster analysis. Observed differences in growth and resistance from provenance trials were used for species specific validation.

One objective of "FitForClim" is the production of improved reproductive material for larger deployment zones. Plus trees of superior growth and quality are selected on trial sites across Germany and propagated vegetatively by grafting. These grafts form the basis population for clonal archives and seed orchards, which will be allocated to individual deployment zones. Shifting these zones with projected climate change should be possible.

Keywords: climate change, plus tree selection, *Pseudotsuga menziesii*, deployment zones, breeding

1 Einleitung

Für die Begründung zukünftiger Baumgenerationen ist die Anpassungsfähigkeit an klimatische Verhältnisse von großer Bedeutung. In Anbetracht der zunehmenden Geschwindigkeit des Klimawandels ist es fragwürdig, ob Baumpopulationen schnell genug sind, mit den für sie geeigneten Bedingungen zu wandern oder sich entsprechend anzupassen (AITKEN et al. 2008). Ist die hohe genetische Vielfalt natürlicher Populationen überhaupt ausreichend, um Anpassungsprozesse trotz der langen Generationszeiten zu ermöglichen? Insbesondere in bewirtschafteten Waldökosystemen, welche in Deutschland die Regel sind, steht die forstliche Praxis vor der Aufgabe, diese Anpassungsprozesse zu unterstützen. Die Wahl geeigneten Vermehrungsgutes ist dabei ein wichtiges Steuerungselement. Forstliches Vermehrungsgut sollte eine hohe genetische Vielfalt aufweisen, um bei Saat oder Pflanzung Produktivität und Vitalität des Waldes zu gewährleisten. Voraussetzung dafür ist die Kenntnis der Ausprägung unterschiedlicher Genotypen sowie der treibenden klimatischen Faktoren, welche über lange Zeiträume hinweg maßgeblich zur lokalen Anpassung beigetragen haben. Dieses Wissen ist in vielen Ländern die Grundlage für die Ausweisung von Herkunfts- und Verwendungsgebieten für forstliches Vermehrungsgut (z. B. YING u. YANCHUK 2006).

In Deutschland nimmt die Douglasie bezüglich der Anpassung an die lokalen Klimabedingungen eine Sonderstellung ein. Sie wurde erst im 19. Jahrhundert eingeführt, Anpassungsprozesse konnten daher nur eingeschränkt stattfinden. Das in der Forstwirtschaft gängige Prinzip der „lokalen Optimalität“ (MORGENSTERN 1996) ist für die Douglasie in Deutschland außer Kraft gesetzt. Erkenntnisse aus dem sehr großen natürlichen Verbreitungsgebiet im Westen Nordamerikas (Nord-Süd-Ausdehnung über 4.000 km, West-Ost-Ausdehnung 1.500 km, LITTLE 1971) sind ebenfalls nicht direkt auf die Anbauggebiete in Deutschland übertragbar, die klimatischen Unterschiede sind zu groß.

Aus anfänglichen Fehlschlägen (Frostschaden, Schüttebefall) beim Anbau in Deutschland (KOWNATZKI et al. 2011, MERKLE 1951, SCHWERDTFEGER 1981) hat man in der Vergangenheit gelernt und zahlreiche Herkunftsversuche zur Prüfung der Anbaueignung nordamerikanischer Douglasienherkünfte angelegt (SCHWAPPACH 1901, SCHWAPPACH 1911). Das auf diesen Versuchsflächen stockende genetische Material ist mittlerweile über mehrere Jahrzehnte unter den hiesigen Bedingungen gewachsen. Heraus kristallisiert hat sich die Anbauempfehlung der „grünen“ Küstenvarietät (*P. menziesii* var. *menziesii*), wohingegen die „blaue“ Inlandsvarietät (*P. menziesii* var. *glauca*) insbesondere aufgrund ihrer Schütteanfälligkeit, aber auch der Anfälligkeit für Spätfröste weniger geeignet ist (z. B. KLEIN-SCHMITT et al. 1991, KONNERT 2009, WELLER 2011).

Bei adäquater Herkunftswahl ist die Douglasie in deutschen Wäldern heute ein aussichtsreicher Kandidat angesichts des sich ändernden Klimas. Eine höhere Trockentoleranz im Vergleich zur Fichte steigert zunehmend ihr Ansehen als Ersatzbaumart (SPELLMANN et al. 2011), die den Rückgang der Fichte und damit die zukünftig breiter werdende Lücke zwischen Nachfrage und Angebot an Nadelholz zumindest teilweise decken kann. Mit einem jährlichen durchschnittlichen Zuwachs von 18,9 m³/ha ist sie die wüchsigste Wirtschaftsbaumart und den heimischen Koniferen deutlich überlegen (THÜNEN-INSTITUT 2015). Laut den Ergebnissen der dritten Bundeswaldinventur (BWI3) stockt die Douglasie bisher nur auf ca. 217.600 ha (ca. 2 % der Waldfläche). Beim Vergleich der letzten Inventurperioden BWI2 (SCHMITZ et al. 2005) und BWI3 (THÜNEN-INSTITUT 2015) zeichnet sich jedoch bereits eine leicht steigende Tendenz ihres Flächenanteils ab. Eine weitere Ausweitung des Anbaus dieser wuchskräftigen Baumart kann zur Steigerung der Produktivität von Wäldern und damit auch zur CO₂-Speicherung beitragen. Ihr Holz zeichnet sich durch eine hohe Festigkeit und Witterungsbeständigkeit aus. Aus ökologischer Sicht verhilft ihr Herzwurzelsystem zu einer höheren Stabilität, eine bessere Zersetzung der Nadelstreu als beispielsweise bei Fichte oder Kiefer verspricht eine höhere Bodenpfleglichkeit. Hinzu kommt die Möglichkeit einer erfolgreichen Mischung mit Buche oder Kiefer (SPELLMANN et al. 2015), wobei ihre gruppen- bis horstweise Einbringung einen deutlichen Beitrag zur Aufwertung von naturverjüngten Buchenbeständen leisten kann. Durch eine höhere

Schattentoleranz in der Jugendphase ist die Ausbringung unter Schirm möglich und als Frostschutz häufig sogar dienlich.

In den USA und Frankreich werden die positiven Eigenschaften der Douglasie durch Züchtung aktiv verbessert (z. B. BASTIEN et al. 2013). In Deutschland hingegen waren züchterische Aktivitäten in den letzten Jahrzehnten begrenzt (LIESEBACH et al. 2013), ein Tatbestand der im Projekt „FitForClim“ durch eine deutschlandweite Zusammenarbeit zur Intensivierung der Züchtungsarbeiten aufgehoben wird. Langfristiges Ziel des Projektes ist die Erzeugung von hochwertigem Vermehrungsgut mit hohem Wuchspotenzial, gepaart mit positiven Formeigenschaften und einer hohen genetischen Vielfalt, welche zukünftig Anpassungsfähigkeit gewährleisten soll. Erstmals werden in „FitForClim“ die über lange Jahre hinweg auf den einzelnen Versuchsflächen erhobenen Daten nicht mehr institutionsintern, sondern deutschlandweit und serienübergreifend zusammengetragen und gemeinsam evaluiert. Ein Ziel der Auswertung ist die Ausweisung von Verwendungszonen. Diese sind baumartenspezifisch auszuweisende, großräumige Gebiete, für die gezielt geeignetes genetisches Material ausgewählt, vegetativ vermehrt und in Zuchtpopulation (Samenplantagen) zusammengestellt werden soll. Als geeignet werden in diesem Zusammenhang wuchsüberlegene, qualitativ hochwertige Einzelbäume, die sogenannten Plusbäume, angesehen. Ihre Nachkommen sollen zukünftig in definierten Verwendungszonen zur Ausbringung empfohlen werden. Im Folgenden wird ein erster Ansatz zur Einteilung der Verwendungszonen anhand klimatischer Unterschiede sowie dessen Validierung mit den Beobachtungen aus Herkunftsversuchen vorgestellt.

2 Material und Methoden

Deutschlandweit besteht ein engmaschiges Netz an Versuchsflächen, mit dem eine Vielzahl von Nachkommenschaften der Douglasie getestet wird (s. Abb. 1). In „FitForClim“ wurden verfügbare Daten dieser Flächen für flächenübergreifende Auswertungen zusammengeführt. Dazu gehören unter anderem Frostresistenz, Überleben und Wachstumsparameter verschiedenen Alters (10-46 Jahre).

Die nordamerikanischen Ursprungsorte der verwendeten Herkünfte wurden mit dem frei verfügbaren Software Paket ClimateWNA (HAMANN et al. 2013) klimatisch charakterisiert, die deutschen Versuchsflächen mit ClimateEU (<http://www.ualberta.ca/~ahamann/data/climateeu.html>), dem Äquivalent für Europa. In Anlehnung an MONTWÉ et al. (2015) wurden die in Tabelle 1 genannten, biologisch relevanten Klimadaten der Normalperiode 1961-1990 extrahiert. Darüber hinaus wurden die gleichen Klimavariablen für ein Raster von 4.600 Punkten extrahiert (ca. 10 km x 7 km), die sich gleichmäßig über Deutschland verteilen.

Zur Einteilung Deutschlands in möglichst homogene großklimatische Räume wurden die für das Deutschlandraster extrahierten Klimaparameter mittels einer Hauptkomponentenanalyse (engl. *Principal Component Analysis*, PCA) zu wenigen aussagekräftigen Linearkombinationen zusammengefasst. Als Näherung für die Tageslänge wurde zusätzliche der Breitengrad in die Analyse miteinbezogen. Zwischen den „Scores“ der ersten zwei Hauptkomponenten wurde eine Distanzmatrix der euklidischen Abstände berechnet. Diese wiederum wurde mittels eines unbeschränkten Clusteransatz (hclust, R CORE TEAM 2015) in klimatisch relativ homogene Regionen gegliedert.



Abbildung 1: Versuchsfächen mit Douglasie im Projektverbund „FitForClim“

Tabelle 1: Liste wachstumsrelevanter Klimavariablen zur Charakterisierung des nordamerikanischen Ursprungs der Herkünfte sowie der Versuchsorte in Deutschland

Temperatur [°C]	Abkürzung
Mittlere Jahresdurchschnittstemperatur	MAT
Mittlere Sommerdurchschnittstemperatur	Tave_sm
Mittlere Temperatur des wärmsten Monats	MWMT
Niederschlag [mm]	
Mittlerer Jahresniederschlag	MAP
Mittlerer Niederschlag in der Vegetationsperiode (Mai – September)	MSP
Mittlerer Niederschlag im trockensten Monat	MDMT
Feuchteindex (WANG et al. 2006)	
Temperatur-Feuchte-Index im Jahr $((MAT+10)/(MAP/1000))$	AHM
Temperatur-Feuchte-Index für die Vegetationsperiode $(MWMT/(MSP/1000))$	SHM

Die resultierende rein auf klimatischen Parametern basierende Zonierung wurde anschließend mit den Ergebnissen aus Herkunftsversuchen validiert. Exemplarisch wird diese Validierung hier für das Norddeutsche Tiefland, sowie den Westen der Mittelgebirgsschwelle vorgestellt. Dabei wurden zwei unterschiedliche Ansätze verfolgt:

- (1) die Maximierung der Anzahl an übereinstimmenden Herkünften und
- (2) die Maximierung der Anzahl an Flächen in Deutschland.

Der erste Ansatz basiert auf dem Vergleich des relativen Höhenwachstums (Alter 12 bzw. 13 und 45) bzw. den Überlebensraten (Alter 12 bzw. 13) eines großen Herkunfts-kollektivs auf einzelnen Flächen. Er wird hier für zwei Flächen des IUFRO-Versuchs von 1973 in Großhansdorf (Dgl 7) und Stralsund (DG 73) vorgestellt. Dazu wurden zunächst für jede Fläche mittels eines Gemischten Modells, in dem die Wiederholung als zufällige Variable berücksichtigt wurde, Herkunftsmittel berechnet. Diese wurden anschließend standardisiert (Z-Score-Transformation), sodass jedes Herkunftsmittel in Einheiten der Standardabweichung von einem Flächenmittel von Null ausgedrückt wird.

Im zweiten Ansatz wurde die Genotyp-Umwelt-Interaktion nach GAPARE et al. (2015) für fünf, auf 13 Flächen der II. Internationalen Douglasienprovenienz-versuchsserie (Anlage 1961) im Westen und Nord-Osten Deutschlands übereinstimmend vorkommende, Herkünfte mit dem Verfahren der Multivariaten Regressionsbäume (engl. *Multivariate Regression Trees*, MRT) gruppiert.

MRT ist eine Clusterprozedur, die die Varianz innerhalb eines Datensatzes (Höhenwachstum) auf Basis der Kriterien in einem anderen Datensatz (Klimabedingungen der Flächen) in Gruppen trennt (DE'ATH 2002). Die ertragskundlich ermittelten Kennwerte für die Oberhöhe (H_{100}) im Alter 38-40 der fünf Herkünfte wurden dafür in einem ersten Schritt ebenfalls pro Fläche standardisiert, anschließend transformiert und in einem weiteren Schritt pro Herkunft standardisiert. Damit repräsentieren die fünf Antwortvariablen die Genotyp-Umwelt-Interaktion der für die Herkünfte gemessenen Oberhöhen.

3 Ergebnisse und Diskussion

3.1 Zonierung auf klimatischer Basis

Die ersten zwei Hauptkomponenten erklären 69 % (PC1) und 18 % (PC2), und damit zusammen 88 % der Gesamtvarianz. Die anschließende unbeschränkte Clusterprozedur resultiert in zwei großräumige klimatisch unterschiedliche Regionen. Der Osten des norddeutschen Tieflandes wird vom Nord-Westen und Süden Deutschlands abgegrenzt (s. Abb. 2, blaue und rote Zone). Resultat ist die westliche (blaue) Zone atlantischer Klimaprägung mit höheren Niederschlägen, geringeren Temperaturextremen und täglichen Temperaturschwankungen und die östliche (rote) Zone kontinentaler Klimaprägung mit geringeren Niederschlägen, trockenen Sommern, geringeren Wintertemperaturen und höheren täglichen Temperaturschwankungen. Bei einer Trennung in drei Cluster, werden in der westlichen (blauen) Zone als nächstes die höheren Lagen abgegrenzt. Die weißen Bereiche entsprechen den Höhenlagen von Eifel, Saarland, Harz, Erzgebirge, Thüringer Wald, Bayerischer Wald, Schwarzwald, Schwäbische Alb oder auch dem Alpenraum. Hier wächst die Douglasie z. T. durchaus, aber sie leidet insbesondere in Nassschneelagen (500-600 m) unter Schneebruch. Deshalb werden diese Bereiche von der züchterischen Bearbeitung ausgeschlossen.

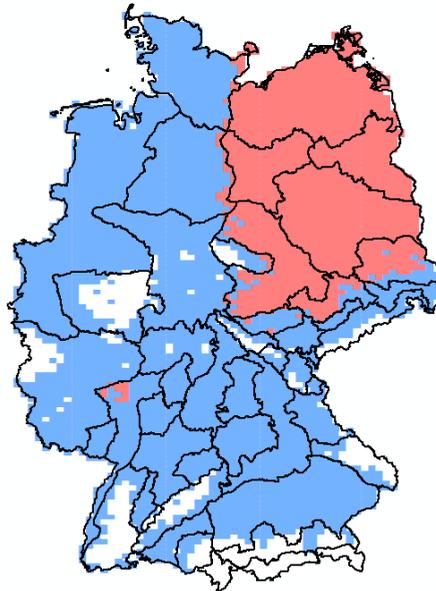
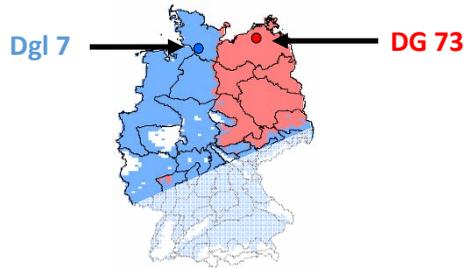
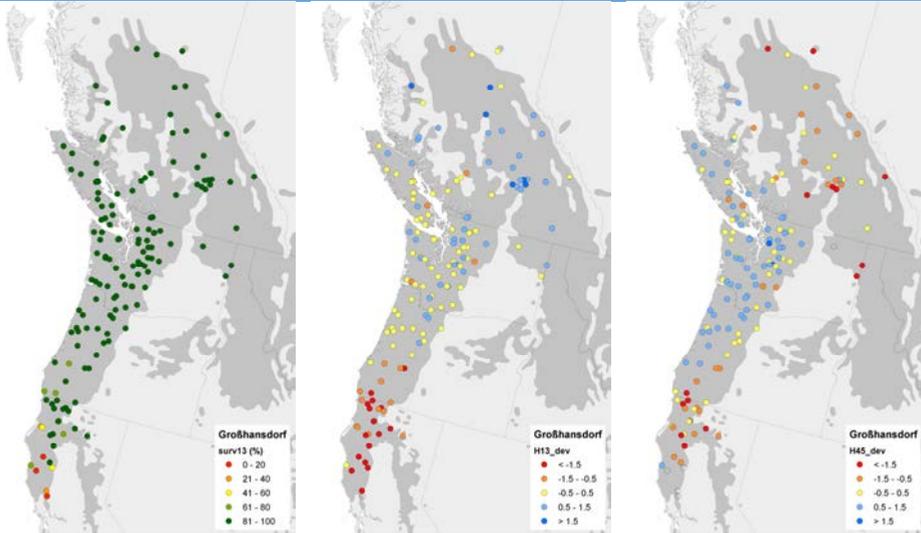


Abbildung 2: Zonierung Deutschlands auf klimatischer Basis. Die schwarzen Linien entsprechen den ökologischen Grundeinheiten.

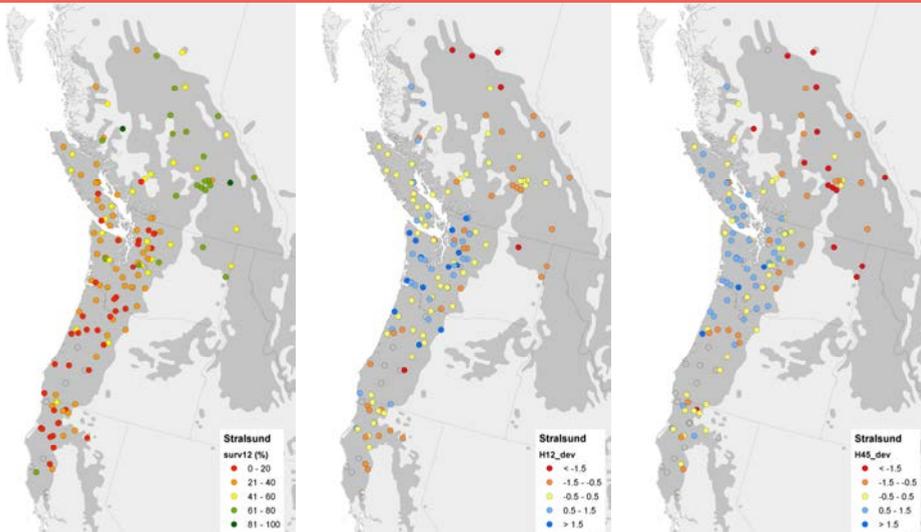
3.2 Validierung mit Daten aus Herkunftsversuchen

Bei Betrachtung des Nordens und Nord-Westens Deutschlands bestätigen Beobachtungen in Herkunftsversuchen, dass die unterschiedlichen klimatischen Bedingungen der beiden Zonen Wachstum und Überleben der Douglasie beeinflussen. Der Validierungsansatz der Maximierung der Herkünfte ist hier exemplarisch für zwei Flächen dargestellt, die jeweils in der blauen bzw. roten Zone angelegt wurden (s. Abb. 3). In ihrer genetischen Zusammensetzung überlappen beide Flächen mit 139 Herkünften. Die Überlebensraten (s. Abb. 3, Karten links) sind in Prozent gegenüber der ursprünglich gepflanzten Individuenzahl ausgedrückt. Rot impliziert ein geringes, grün ein hohes Überleben. Die Darstellungen des Höhenwachstums weisen eine andere Farbgebung auf (s. Abb. 3, Karten in der Mitte und rechts), rote Farben signalisieren eine negative Abweichung vom Flächenmittel, blaue positive Abweichungen und damit eine überlegene Wuchsleistung. Eine Höhenwuchsleistung nahe dem Flächenmittel ist gelb eingefärbt.

Dgl 7 Großhansdorf (Nordwest)



DG 73 Stralsund (Nordost)



Gegenüberliegende Seite:

Abbildung 3: Überlebensrate, Höhenwachstum in der Jugend (12-13 Jahre) und im adulten Stadium (45 Jahre) der gepflanzten Herkünfte auf den Versuchsflächen Dgl 7 Großhansdorf (oben) und DG 73 in Stralsund (unten). Die Herkünfte sind jeweils entsprechend dem Ort ihres nordamerikanischen Ursprungs lokalisiert. Überlebensraten (jeweils links) sind in Prozent dargestellt, Höhenwachstum in der Jugend (jeweils Mitte) und im adultem Stadium (jeweils rechts) als relative Abweichung vom Versuchsflächenmittel. Die Deutschlandkarte zeigt den Untersuchungsraum, die Zonierung aus Abbildung 2 und die Lage der beiden Versuchsflächen.

Auf der Fläche Großhansdorf (s. Abb. 3, obere Reihe) treten bis zum Alter 13 beim Merkmal Überleben fast keine Unterschiede zwischen den Herkünften auf. Lediglich bei einigen Herkünften an der südlichen Spitze des Verbreitungsgebietes der Küstenform in Kalifornien sind mehr als die Hälfte der gepflanzten Individuen ausgefallen. Im Höhenwachstum sind die Herkünfte aus dem Inland Britisch Kolumbiens in der Jugend besonders wüchsig und den Küstenherkünften überlegen. Dieser Effekt nivelliert sich allerdings mit zunehmendem Alter. Mit 45 Jahren zeigen diese Herkünfte ein unterlegenes Höhenwachstum im Vergleich zu denen von der Küste Washingtons und Britisch Kolumbiens. Es kommt zu einem Rangfolgenwechsel, welcher auch auf anderen Versuchsflächen im atlantisch geprägten Klima beobachtet wurde. Dies ist beispielsweise der Fall auf der Fläche Dgl 6 Straßenhaus in Rheinland-Pfalz, die ebenfalls zur IUFRO-Serie von 1973 gehört. Die Wuchsüberlegenheit in der Jugend ist sehr wahrscheinlich durch einen früheren Austrieb zu erklären, welcher für diese Herkünfte beobachtet wurde (z. B. WOLF 2012). Dieser Vorteil wird jedoch durch den Befall durch die Rostige Douglasienschütte (*Rhabdocline pseudotsugae*) revidiert, einer Pilzerkrankung, die verstärkt die Inlandsherkünfte befällt und zu Wachstumseinbußen sowie zum Teil zum Absterben führt (LIESEBACH u. STEPHAN 1995, STEPHAN 1973).

Auf der Fläche in Stralsund (s. Abb. 3, untere Reihe) findet bereits in der Jugend eine deutliche Differenzierung bezüglich des Überlebens statt. Viele Herkünfte der Küstenvarietät leiden unter hoher Mortalität, wohingegen die Herkünfte aus dem Inland etwas besser zurechtkommen. Im Höhenwachstum sind von Anfang an die Küstenherkünfte wuchsüberlegen. Mit zunehmendem Alter gibt es zwar geringe Rangverschiebungen, insgesamt bleibt das Bild der Überlegenheit der Herkünfte der Küste Washingtons und der Westseite der Kaskaden bzw. der Unterlegenheit der Herkünfte aus dem Inland jedoch bestehen.

Exemplarisch wurde mit diesen beiden Flächen gezeigt, dass die variablen klimatischen Bedingungen in Deutschland durchaus einen Einfluss auf Wachstum und Überleben der Douglasie haben. Besonders deutlich wird dies in der Jugendphase. Langfristig betrachtet sind es jedoch sowohl im Westen als auch im Osten Norddeutschlands die Herkünfte von der Küste und der Westseite der Kaskaden, die durch ihr hohes Wuchspotenzial überzeugen (vgl. KONNERT 2009). Im Westen ist die Kulturbegründung mit diesen Herkünften unproblematisch, im Osten hin-

gegen sollte waldbaulich mit besonderer Vorsicht agiert werden, um hohen Ausfällen durch Frostschaden entgegenzuwirken. Die Kulturbegründung unter schützendem Schirm ist daher angebracht.

In einem zweiten Ansatz zur Validierung der klimatischen Zonierung wurde die Maximierung der Anzahl Flächen angestrebt, indem das Wachstum von fünf Herkünften auf insgesamt 13 Flächen der II. Internationalen Provenienzversuchserie verglichen wurde. Ziel war hierbei nicht die Gruppierung der Herkünfte, sondern die Teilung der Flächen in Gruppen, innerhalb derer die fünf Herkünfte ein möglichst ähnliches Wuchsverhalten zeigen. Im vorliegenden Fall erklärt der Kontinentalitätsindex (Differenz zwischen Durchschnittstemperatur des wärmsten Monats und der Durchschnittstemperatur des kältesten Monats) mit 24 % der vorhandenen Variation der Genotyp-Umwelt-Interaktion den größten Anteil der Gesamtvariation. Resultat der Trennung bei einem Indexwert von 17,1 (s. Abb. 4a), ist eine Gruppe mit acht Flächen, die alle in der blauen Zone im Nordwesten liegen, sowie eine zweite Gruppe von fünf Flächen, die sich in der roten Zone des Nordostens befinden (s. Abb. 4b). Die klimatische Einteilung in zwei Verwendungszonen für den Norden Deutschlands wird somit mit diesem Ansatz bestätigt.

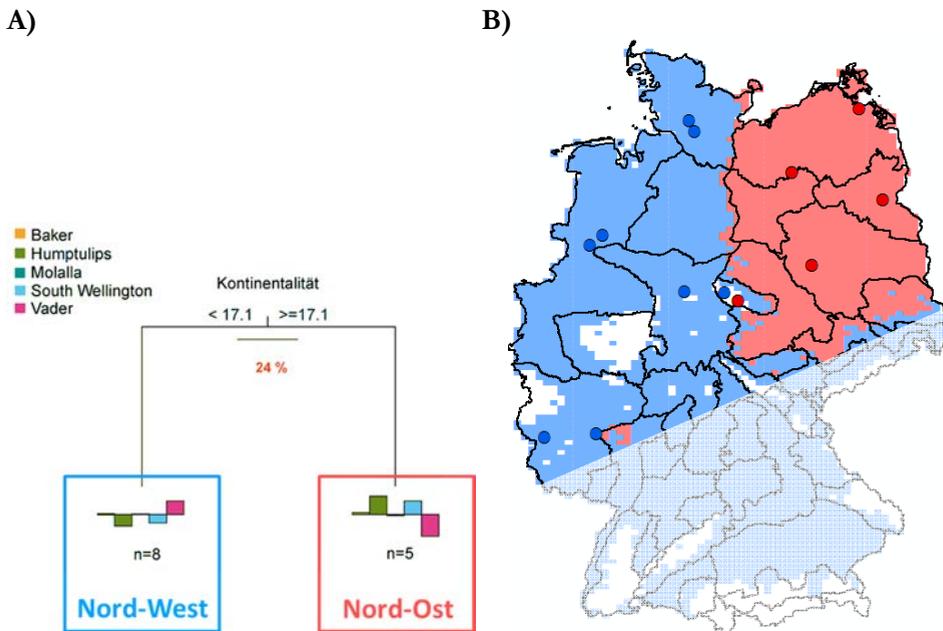


Abbildung 4: A) Der Regressionsbaum der Genotyp-Umwelt-Interaktion trennt 13 Flächen in zwei Gruppen, B) die räumliche Verteilung der MRT-Gruppen bestätigt die klimatische Zonierung. Die schwarzen Linien grenzen die ökologischen Grundeinheiten ab.

4 Umsetzung im Aufbau von Zuchtpopulationen

Die beschriebenen Ergebnisse werden parallel auch zum Aufbau neuer Zuchtpopulationen genutzt. Nach den Kriterien Wüchsigkeit, Stammqualität und Vitalität werden auf Versuchsflächen sowie ergänzend in Beständen Plusbäume ausgewählt. Die Auswertung der vorhandenen Daten von Versuchsflächen bietet hier die Grundlage für die Vorauswahl geeigneter Herkünfte. Dabei werden nach Möglichkeit flächenübergreifende Betrachtungen angestellt, d. h. als idealer Kandidat schneidet eine Herkunft auf räumlich und klimatisch nahen Parallelfächen gleichermaßen gut ab.

Herkünfte, die sich im Vergleich besonders positiv hervorheben, werden gezielt auf der Versuchsfläche aufgesucht und vitale Einzelbäume mit überdurchschnittlicher Leistung und guter Qualität als Plusbäume ausgewählt (s. Abb. 5, links). Jeder Plusbaum wird nach einheitlichen baumartenspezifischen Kriterien beurteilt, die im Projekt auf breiter Basis abgestimmt wurden. Neben den allgemeinen Angaben zu Administration, Lage und Alter werden für jeden Plusbaumkandidaten die quantitativen Merkmale Brusthöhendurchmesser, Baumhöhe, Höhe des Kronenansatzes und der ast- bzw. beulenfreien Stammlänge gemessen. Darüber hinaus werden zur Beurteilung von Qualität und Vitalität die in Tabelle 2 genannten, ordinal skalierten Merkmale aufgenommen. Während der Vegetationsruhe im Winter ernten zertifizierte Baumsteiger Reiser aus den Baumkronen der ausgewählten Bäume, die anschließend durch Pfropfung vegetativ vermehrt werden (s. Abb. 5, rechts). Für alle Plusbäume wird ein genetischer Fingerabdruck erstellt.

Zur Sicherung des genetischen Potenzials werden die erzeugten Pfropflinge in Klonarchiven gesammelt, aus denen in Zukunft Samenplantagen zusammengestellt werden sollen. Langfristig wird so eine Grundlage für die Bereitstellung von hochwertigem Vermehrungsgut geschaffen.



Abbildung 5: Plusbaumauswahl (links) und vegetative Vermehrung durch Pfropfung (rechts) dienen der Sicherung hochwertiger Einzelbäume, die in Zuchtpopulationen zur Erzeugung von leistungsfähigem Vermehrungsgut beitragen

Tabelle 2: Zulässige Ausprägungen ordinal skalierten Merkmale für die Plusbaumauswahl bei Douglasie

Merkmal	Skalenwerte		
<i>Stamm</i>			
Geradschaftigkeit	(1) zweischnüurig	(2) einschnüurig	
Stammform	(1) rund (1:1)	(2) oval (bis 1:1,2)	
Massenleistung	(1) überdurchschnittlich	(2) durchschnittlich	
Beulen	(1) keine	(2) wenige	
Rinde	(1) fein	(2) normal	(3) grob
<i>Krone</i>			
Vitalität	(1) 0-10 % Nadelverlust	(2) 10-35 % Nadelverlust	
Kronenform	(1) breit	(2) mittel	(3) schmal
<i>Beastung</i>			
Aststärke	(1) fein	(2) normal	(3) grob*
Aststellung	(1) waagrecht	(2) geneigt (110°/70°)	
Astdichte	(1) gering	(2) mittel	
Astung	(1) ja	(2) nein	
<i>Soziale Stellung</i>			
Baumklasse	(1) vorherrschend	(2) herrschend	(3) mitherrschend
<i>Taxonomie</i>			
Varietät	(1) <i>P. menziesii</i> var. <i>menziesii</i>	(2) <i>P. menziesii</i> var. <i>glauca</i>	

* I. d. R. führt die Ausprägung grober Äste zum Ausschluss des Einzelbaumes. Ausnahmen können bei Randbäumen gemacht werden, sofern die weiteren Bäume desselben Prüfgliebes im Bestand eine feine bzw. normale Aststärke aufweisen.

5 Schlussfolgerung

Die auf Basis von klimatischen Bedingungen vorgenommene Einteilung Deutschlands in großräumige Verwendungszonen konnte in dieser Arbeit für den Nordbereich erfolgreich validiert werden. Beobachtungen von Wachstum und Überleben in Herkunftsversuchen bestätigen die Trennung in eine atlantisch geprägte Zone im Westen und eine zweite kontinental geprägte im Osten. Auf Gesamtdeutschland bezogen hat die Einteilung in zwei Zonen aktuell noch einen vorläufigen Charakter, ihre Validierung ist für den Süden weiter fortzuführen. Der Einbezug weiterer Flächen mit ähnlicher Prüfgliedausstattung und Messzeitpunkten im Süden Deutschlands ist ein nächster Schritt zur Ausweisung der Verwendungszonen.

Literatur

- AITKEN, S. N.; YEAMAN, S.; HOLLIDAY, J. A.; WANG, T.; CURTIS-MCLANE, S. (2008): Adaptation, migration or extirpation: climate change outcomes for tree populations. *Evolutionary Applications* 1, 1, 95-111
- BASTIEN, J.-C.; SANCHEZ, L.; MICHAUD, D. (2013): Douglas-Fir (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco). In: L. PÂQUES (Hrsg.): *Forest Tree Breeding in Europe: Current State-of-the-Art and Perspectives*. Springer Science+Business Media, Dordrecht
- DE'ATH, G. (2002): Multivariate regression trees: a new technique for modeling species-environment relationships. *Ecology* 83, 4, 1105-1117
- GAPARE, W. J.; IVKOVIĆ, M.; LIEPE, K. J.; HAMANN, A.; LOW, C. B. (2015): Drivers of genotype by environment interaction in radiata pine as indicated by multivariate regression trees. *Forest Ecology and Management* 353, 21-29
- HAMANN, A.; WANG, T. L.; SPITTLEHOUSE, D. L.; MURDOCK, T. Q. (2013): A comprehensive, high-resolution database of historical and projected climate surfaces for Western North America. *Bulletin of the American Meteorological Society* 94, 9, 1307-1309
- KLEINSCHMIT, J.; SVOLBA, J.; WEISGERBER, H.; RAU, H.; DIMPLMEIER, R.; RUETZ, W.; FRANKE, A. (1991): Ergebnisse des IUFRO-Douglasien-Herkunftsversuches in West-Deutschland im Alter 20. *Forst und Holz* 46, 9, 236-242
- KONNERT, M. (2009): Genetische Aspekte und Herkunftsfragen bei der Douglasie. In: ENGEL, J. (Red.): *Die Douglasie im norddeutschen Tiefland*. Eberswalde: Landesbetrieb Forst Brandenburg, Landeskompetenzzentrum Forst Eberswalde
- KOWNATZKI, D.; KRIEBITZSCH, W.-U.; BOLTE, A.; LIESEBACH, H.; SCHMITT, U.; ELSASSER, P. (2011): Zum Douglasienanbau in Deutschland: ökologische, waldbauliche, genetische und holzbiologische Gesichtspunkte des Douglasienanbaus in Deutschland und den angrenzenden Staaten aus naturwissenschaftlicher und gesellschaftspolitischer Sicht. Johann Heinrich von Thünen-Institut, Bundesforschungsinstitut für Ländliche Räume, Wald und Fischerei Braunschweig
- LIESEBACH, M.; DEGEN, B.; GROTEHUSMANN, H.; JANBEN, A.; KONNERT, M.; RAU, H.-M.; SCHIRMER, R.; SCHNECK, D.; SCHNECK, V.; STEINER, W. (2013): Strategie zur mittel- und langfristigen Versorgung mit hochwertigem forstlichem Vermehrungsgut durch Züchtung in Deutschland. Johann Heinrich von Thünen-Institut, Bundesforschungsinstitut für Ländliche Räume, Wald und Fischerei Braunschweig
- LIESEBACH, M. u. STEPHAN, B. (1995): Growth performance and reaction to biotic and abiotic factors of douglas fir progenies (*Pseudotsuga menziesii* [MIRB.] Franco). *Silvae Genetica* 44, 5, 303-311
- LITTLE, E. L. (1971): *Atlas of United States trees: volume 1. Conifers and important hardwoods*. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Washington (DC), USA
- MERKLE, R. (1951): Über die Douglasien-Vorkommen und die Ausbreitung der Adelopus-Nadelschütte in Württemberg-Hohenzollern. *Allgemeine Forst- und Jagdzeitung* 122, 161-191
- MONTWÉ, D.; SPIECKER, H.; HAMANN, A. (2015): Five decades of growth in a genetic field trial of Douglas-fir reveal trade-offs between productivity and drought tolerance. *Tree Genetics & Genomes* 11, 2, 1-11
- MORGENSTERN, E. K. (1996): *Geographic Variation in Forest Trees: Genetic Basis and Application of Knowledge in Silviculture*. University of British Columbia Press, Vancouver, British Columbia, Canada
- R CORE TEAM (2015): R: A language and environment for statistical computing, R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>
- SCHMITZ, F.; POLLEY, H.; SCHWITZGEBEL, F. (2005): *Die zweite Bundeswaldinventur-BWI2: Der Inventurbericht*. Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV), Bonn

- SCHWAPPACH, A. (1901): Die Ergebnisse der in den Preußischen Staatsforsten ausgeführten Anbauversuche mit fremdländischen Holzarten. Zeitschrift für Forst- und Jagdwesen, 33, 137-169, 195-225 und 261-292
- SCHWAPPACH, A. (1911): Die weitere Entwicklung der Versuche mit fremdländischen Holzarten in Preußen. Mitteilungen der deutschen dendrologischen Gesellschaft 20, 3-37
- SCHWERDTFEGER, F. (1981): Waldkrankheiten. Paul Parey, München, 486 S.
- SPELLMANN, H.; ALBERT, M.; SCHMIDT, M.; SUTMÖLLER, J.; OVERBECK, M. (2011): Waldbauliche Anpassungsstrategien für veränderte Klimaverhältnisse. AFZ-Der Wald 11, 19-23
- SPELLMANN, H.; WELLER, A.; BRANG, P.; MICHIELS, H.-G.; BOLTE, A. (2015): Douglasie (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco). In: VOR, T.; SPELLMANN, H.; BOLTE A. u. AMMER, C. (Hrsg.): Potenziale und Risiken eingeführter Baumarten. Universitätsverlag Göttingen, Göttingen, 187-217
- STEPHAN, B. R. (1973): Über Anfälligkeit und Resistenz von Douglasien-Herkünften gegenüber *Rhabdocline pseudotsugae* *Silvae Genetica* 22, 5-6, 150-153
- THÜNEN-INSTITUT (2015): Dritte Bundeswaldinventur - Ergebnisdatenbank <https://bwi.info>; Auftragskürzel: 77Z1JI_L235of_2012_bi, Archivierungsdatum: 2014-6-10 16:7:59.927, Überschrift: Waldfläche (gemäß Standflächenanteil) [ha] nach Land und Baumartengruppe (rechnerischer Reinbestand), Filter: Jahr=2012 (abgerufen 2015)
- WANG, T.; HAMANN, A.; SPITTLEHOUSE, D. L. U.; AITKEN, S. N. (2006): Development of scale-free climate data for Western Canada for use in resource management. *International Journal of Climatology* 26, 3, 383-397
- WELLER, A. (2011): Prüfung der Anbaueignung von 38 autochthonen bzw. nichtautochthonen Douglasienherkünften (*Pseudotsuga menziesii* [Mirb.] Franco) in Bezug auf ihre Wuchsleistung und qualitative Entwicklung: Ergebnisse einer waldwachstumskundlichen Auswertung langfristig beobachteter Versuchsflächen der II. Internationalen Douglasien-Provenienzversuchsserie von 1961 in Nordwestdeutschland. Cuvillier, Göttingen, Germany, 274 S.
- WOLF, H. (2012): Austrieb und Reaktion auf Trockenstress von Bestandesnachkommen der Douglasie (*Pseudotsuga menziesii* [Mirb.] Franco) aus Deutschland im Vergleich zu Provenienzen aus Nordamerika – Erste Ergebnisse. *Forstarchiv* 10, 2, 75-84
- YING, C. C.; YANCHUK, A. D. (2006): The development of British Columbia's tree seed transfer guidelines: Purpose, concept, methodology, and implementation. *Forest Ecology and Management* 227, 1-13

Korrespondierende Autorin:

Katharina J. Liepe
Thünen-Institut für Forstgenetik
Sieker Landstraße 2
D-22927 Großhansdorf
katharina.liepe@thuenen.de
www.thuenen.de/fg

Dr. Mirko Liesebach
Thünen-Institut für Forstgenetik